

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 701 666 B1

(51) Int. Cl.: G01M 15/14 (2006.01)
G01M 15/00 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 01345/10

(22) Anmeldedatum: 23.08.2010

(43) Anmeldung veröffentlicht: 28.02.2011

(30) Priorität: 28.08.2009 US 12/549,670

(24) Patent erteilt: 31.03.2015

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.03.2015

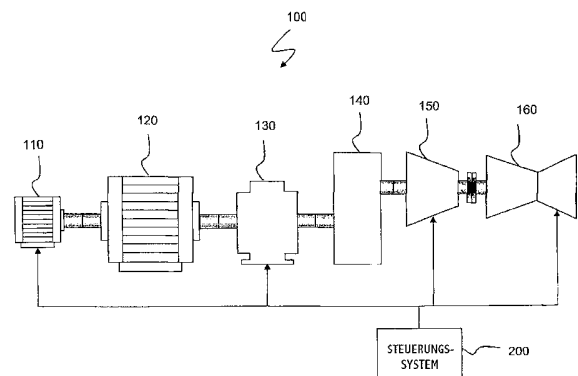
(73) Inhaber:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Christian Michael Hansen,
Greenville, South Carolina 29615 (US)
Douglas Giles Moody,
Greenville, South Carolina 29615 (US)
Karl Dean Minto, Schenectady, New York 12345 (US)

(74) Vertreter:
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4
8008 Zürich (CH)

(54) Mechanischer Antriebsstrang zum Testen von Verdichtervorrichtungen im Originalmassstab.

(57) Es wird ein mechanischer Antriebsstrang (100) zum Testen einer Verdichtervorrichtung (150) im Originalmassstab offengelegt. Der Antriebsstrang (100) enthält einen Elektromotor (120), ein Getriebe (140) und eine Gasturbine (160). Die Verdichtervorrichtung (150) ist mit dem Antriebsstrang (100) zwischen dem Getriebe (140) und der Gasturbine (160) in Wirkverbindung bringbar. Der Antriebsstrang (100) enthält ferner einen Drehmomentwandler (130) zum Übertragen von Drehmoment von dem Elektromotor (120) an die Verdichtervorrichtung (150). Der Antriebsstrang (100) ist dafür konfiguriert, eine Verdichtervorrichtung (150) im Originalmassstab über den gesamten Drehzahlbereich und Lastbetriebsbereich zu testen, was eine vollständige Kennfelderstellung des Verdichters vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei Volllast, Teillast (Absenkvorgang) und Teildrehzahlzuständen ermöglicht. Der Antriebsstrang (100) kann auch zum Testen einer Verdichtervorrichtung (150) oder einer Gasturbine (160) über den vollen Betriebsbereich für die Verdichtervorrichtung (150) oder die Gasturbine (160) genutzt werden, ohne dass die Gasturbine (160) mit dem Stromnetz am Stromerzeugungsort verbunden sein muss.



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Offenlegung betrifft allgemein Gasturbinen und speziell eine mechanische Antriebsstranganordnung zum Testen von Verdichtervorrichtungen im Originalmassstab.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Gasturbinen werden im kommerziellen Betrieb in grossem Umfang zur Energieerzeugung eingesetzt. Eine Gasturbine enthält typischerweise einen im vorderen Bereich angeordneten Verdichter, eine oder mehrere Brennkammern im mittleren Bereich und eine Turbine im hinteren Bereich. Der Verdichter kann mehrere an einem Rotor angebrachte Stufen mit Verdichterschaufeln enthalten. Umgebungsluft tritt als Arbeitsfluid in den Eingang des Verdichters ein, und die Drehung der Verdichterschaufeln verdichtet progressiv das Arbeitsfluid. Der Verdichter kann Einlassführungsschaufeln (IGVs) und verstellbare Statorleitschaufeln (VSVs) enthalten, welche zum Steuern des Stroms der Umgebungsluft in dem Verdichter verwendet werden können.

[0003] Ein Teil des verdichteten Arbeitsfluids wird aus dem Verdichter durch Entnahmeöffnungen für eine andere Nutzung entnommen, und der Rest des Arbeitsfluids verlässt den Verdichter und strömt zu den Brennkammern. Das Arbeitsfluid vermischt sich mit Brennstoff in den Brennkammern, und das Gemisch verbrennt unter Erzeugung von Verbrennungsgasen mit hoher(m) Temperatur, Druck und Drehzahl. Die Verbrennungsgase verlassen die Brennkammer und strömen zu der Turbine, wo sie unter Erzeugung von Arbeit expandieren.

[0004] Während des Auslegungszyklus muss für eine neue Verdichtervorrichtungsauslegung typischerweise ein Validierungstest und Kennfelderstellung ausgeführt werden, um festzustellen, ob die Verdichtervorrichtungsauslegung qualitätskritische Standards erfüllt. Beispielsweise können verschiedene Tests durchgeführt werden, um den Verdichterschaufelblatt-Dauerzustand und eine Übergangs-Aeromechanik zu bestimmen. Als ein weiteres Beispiel können Verdichterkennfelder für den Verdichter bei verschiedenen unterschiedlichen Wellendrehzahlen und Lastzuständen erzeugt werden. Die Verdichterkennfelder können dazu genutzt werden, Pumpsicherheitsabstände für die Verdichtervorrichtung sowie den aerodynamischen Auslegungspunkt für die Verdichter zu bestimmen.

[0005] Aufgrund des hohen Wellenleistungsbedarfs ist es oft schwierig, den Validierungstest und die Kennfelderstellung über den vollen Betriebsbereich einer Verdichtervorrichtung im Originalmassstab durchzuführen. Beispielsweise ist eine Gasturbine nicht selbstlaufend, bis sie einen relativ hohen Prozentsatz der vollen Wellendrehzahl erreicht. Somit kann es schwierig sein, ein Teildrehzahlkennfeld einer Verdichtervorrichtung oder Gasturbine zu erhalten, weil die Gasturbine entweder ausserhalb ihres Betriebsbereichs oder ihrer selbsterhaltenden Drehzahl arbeitet. Zusätzlich kann eine Gasturbine oft nicht ausreichend Startleistung zum Starten einer Verdichtervorrichtung beitragen.

[0006] Validierungstests und Kennfelderstellung einer Verdichtervorrichtung werden oft unter Anwendung von Verdichtervorrichtungen in verkleinertem Massstab durchgeführt. Derartige Verdichtervorrichtungen in verkleinertem Massstab können von 1/3 bis 1/5 des Massstabs einer Verdichtervorrichtung im Originalmassstab reichen. Die Auslegung einer Verdichtervorrichtung in verkleinertem Massstab muss üblicherweise sorgfältig erledigt werden, sodass Schaufelblatt-Befestigungs- und zugeordnete Dämpfungseffekte nicht beeinträchtigt werden. Das Testen von Verdichtervorrichtungen in verkleinertem Massstab kann auch eine Notwendigkeit erzeugen, Leistungsmessungen zu korrigieren, um beispielsweise Reynoldszahlen-Effekte, Schaufelspitzenabstand und Wärmeausdehnungsdifferenzen zu berücksichtigen. Ferner geht die Auslegung einer Einrichtung in verkleinertem Massstab üblicherweise der Auslegung des Gegenstückes im Originalmassstab voraus, was spezielle Ressourcen für die Auslegung, Produktdefinition und Beschaffung erfordert. Tatsächlich kann die Notwendigkeit, eine Einrichtung in verkleinertem Massstab auszulegen, ca. 2 Jahre zu dem gesamten Auslegungszyklus eines neuen Produktes beitragen.

[0007] Verschiedene Techniken sind auch zum Testen einer Gasturbine bekannt. Beispielsweise ist es bekannt, eine Wasserbremse oder andere Lastelemente zum Simulieren verschiedener Lastzustände für eine Gasturbine während eines Gasturbinentests zu verwenden. Jedoch ist ein derartiger Test auf eine Hochleistungs-Kennfeldbestimmung begrenzt, weil erhöhte Brennstoffdurchsatzanforderungen und Turbinentemperaturen die Grenzwerte der Turbinenhardware überschreiten können. Eine Teildrehzahl-Kennfelderstellung unter Anwendung dieser Technik kann auch deshalb nicht erzielbar sein, weil die Gasturbine entweder ausserhalb ihres Betreibbarkeitsbereiches oder unterhalb der Selbsterhaltungsdrehzahl arbeitet.

[0008] Der Validierungstest und die Kennfeldermittlung an Gasturbinen und Verdichtervorrichtungen können am Stromerzeugungsort unter Verbindung mit dem Stromnetz ausgeführt werden. Jedoch kann ein Frequenzabweichungs-(Teildrehzahl)-Test einer Gasturbine oder Verdichtervorrichtung nicht unter Verbindung mit dem Stromnetz durchgeführt werden. Ferner führt der Test einer Gasturbine oder Verdichtervorrichtung am Stromerzeugungsort oft zu Unannehmlichkeiten für den Stromerzeuger und setzt Grenzen für die Fähigkeit zum Redesign, falls der Validierungstest oder die Verdichterkennfeldermittlung ein mögliches Problem mit der Gasturbine oder der Verdichtervorrichtung aufdecken.

[0009] Somit besteht ein Bedarf nach einer Einrichtung und einem Verfahren, das dazu genutzt werden kann, eine Verdichtervorrichtung in Originalgrösse über dem gesamten Drehzahl- und Lastbetriebsbereich zu testen, was eine vollständige

dige Kennfeldermittlung des Verdichters vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss, Teillast (Lastabsenkung) und Teildrehzahlzuständen ermöglicht. Es besteht auch ein Bedarf nach einer Einrichtung und einem Verfahren, das dazu genutzt werden kann, eine Verdichtervorrichtung oder eine Gasturbine über dem vollständigen Betriebsbereich für die Verdichtervorrichtung oder die Gasturbine zu testen, ohne die Gasturbine und Verdichtervorrichtung an der Stromerzeugungsstelle mit dem Stromnetz verbinden zu müssen.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0010] Die vorliegende Erfindung ist auf einen Antriebsstrang zum Testen einer Verdichtervorrichtung in Originalgrösse gerichtet. Der Antriebsstrang enthält einen Elektromotor, eine Gasturbine, einen Drehmomentwandler und ein Getriebe, das in Wirkverbindung mit dem Drehmomentwandler verbunden ist. Die Verdichtervorrichtung ist zwischen dem Elektromotor und der Gasturbine mit dem Antriebsstrang in Wirkverbindung bringbar, während der Drehmomentwandler und das Getriebe in den Antriebsstrang zwischen dem Elektromotor und der in Wirkverbindung bringbaren Verdichtervorrichtung eingebunden sind. Der Antriebsstrang ist dafür konfiguriert, die in Wirkverbindung bringbare Verdichtervorrichtung über einen vollen Betriebsbereich für die in Wirkverbindung bringbare Verdichtervorrichtung anzutreiben.

[0011] Verschiedene Hinzufügungen oder Modifikationen können an dieser exemplarischen Ausführungsform der Erfindung ausgeführt werden.

[0012] Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Testen einer Verdichtervorrichtung in Originalgrösse mittels eines erfindungsgemässen Antriebsstrangs. Das Verfahren beinhaltet die Bereitstellung eines Antriebsstranges, der einen Elektromotor, einen Drehmomentwandler, ein Getriebe und eine Gasturbine aufweist. Das Verfahren beinhaltet ferner das betriebsfähige Verbinden der Verdichtervorrichtung mit dem Antriebsstrang zwischen dem Getriebe und der Gasturbine. Das Verfahren beinhaltet ferner die Simulation eines Betriebszustandes für die Verdichtervorrichtung unter Anwendung des Antriebsstrangs und das Erzeugen von Testdaten auf der Basis der Simulation des Betriebszustandes.

[0013] Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden besser durch Bezugnahme auf die nachstehende Beschreibung und die beigefügten Ansprüche verständlich. Die beigefügten Zeichnungen, welche enthalten sind und einen Teil dieser Beschreibung darstellen, veranschaulichen Ausführungsformen der Erfindung und dienen zusammen mit der Beschreibung zur Erläuterung der Prinzipien der Erfindung.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0014] Eine vollständige und ausführbare Offenlegung der vorliegenden Erfindung, die sich an den Fachmann auf diesem Gebiet richtet, ist in der Beschreibung dargestellt, welche auf die beigefügten Figuren Bezug nimmt, in welchen:

- Fig. 1 eine Konzept-Blockdarstellung eines Antriebsstrangs gemäss einer exemplarischen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bereitstellt;
- Fig. 2 ein Diagramm bereitstellt, das einen vollständigen Arbeitsbereich für eine exemplarische Gasturbine und Verdichtervorrichtung bereitstellt;
- Fig. 3 ein exemplarisches Verdichterkennfeld für eine exemplarische Verdichtervorrichtung bereitstellt;
- Fig. 4–7 Konzept-Blockdarstellungen bereitstellen, die unterschiedliche Betriebsmodi für die exemplarische Antriebsstranganordnung gemäss exemplarischen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bereitstellen.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0015] Es wird nun detaillierter Bezug auf Ausführungsformen der Erfindung genommen, wovon eines oder mehrere Beispiele in den Zeichnungen dargestellt sind. Jedes Beispiel wird im Rahmen einer Erläuterung der Erfindung und nicht einer Einschränkung der Erfindung bereitgestellt. Tatsächlich dürfte es für den Fachmann ersichtlich sein, dass verschiedene Modifikationen und Varianten in der vorliegenden Erfindung ohne Abweichung von dem Schutzzumfang oder dem Erfindungsgedanken der Erfindung vorgenommen werden können. Beispielsweise können als Teil einer Ausführungsform dargestellte und beschriebene Merkmale bei einer weiteren Ausführungsform genutzt werden, um noch eine weitere Ausführungsform zu ergeben.

[0016] Die vorliegende Offenlegung ist auf ein System und ein Verfahren zum Testen einer Verdichtervorrichtung im Originalmassstab über einen vollständigen Bereich von Wellendrehzahlen und Lastzuständen gerichtet.

[0017] Fig. 1 stellt eine Konzept-Blockdarstellung eines Antriebsstrangs 100 gemäss einer exemplarischen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bereit. Gemäss Darstellung kann der Antriebsstrang 100 einen Motorstarter 110, einen Elektromotor 120, einen Drehmomentwandler 130, ein Getriebe 140, eine Verdichtervorrichtung 150 und eine Gasturbine 160 enthalten, welche alle in einem einzigen Linienstrang verbunden sind. Die Komponenten des Antriebsstrangs 100 können miteinander unter Verwendung beliebiger Wellenkupplungsvorrichtungen oder Techniken gekoppelt sein. Der Antriebsstrang 100 kann ein Steuerungssystem 200 zum Steuern verschiedener Aspekte und Parameter der Komponenten des Antriebsstrangs 100 enthalten.

[0018] Gemäss Darstellung ist eine Verdichtervorrichtung 150 zwischen einem Getriebe 140 und einer Gasturbine 160 am Antriebsstrang 100 verbunden. Eine 60-Hz-Gasturbine (3600 Upm nominelle volle Wellendrehzahl) kann zum Testen eines 60-Hz-Verdichters verwendet werden. Eine 50-Hz-Gasturbine (3000 Upm nominelle volle Wellendrehzahl) kann zum Testen eines 50-Hz-Verdichters verwendet werden. Die Gasturbine 160 ist nicht selbst erhaltend, bis sie einen relativ hohen Prozentsatz ihrer vollen Wellendrehzahl erreicht, und ist nicht in der Lage, Startleistung zum Starten des Antriebsstranges 100 beizutragen.

[0019] Somit wird ein Elektromotor 120 dazu verwendet, ein Startdrehmoment an den Antriebsstrang 100 zu liefern. Der Elektromotor 120 kann durch einen Startermotor 110 gesteuert werden oder kann durch das Steuerungssystem 200 gesteuert werden.

[0020] Der Elektromotor 120 kann entweder ein synchroner Elektromotor oder ein Induktionsmotor mit variabler Drehzahl sein. Wenn der Elektromotor 120 ein Induktionsmotor mit variabler Drehzahl ist, kann ein Leistungselektroniksystem dazu genutzt werden, das Drehmoment und die Drehzahlabgabe des Induktionsmotors mit variabler Drehzahl zu steuern. Ein derartiges Leistungselektroniksystem kann als Teil des Startermotors 110 enthalten sein, oder kann von dem Motorstarter 110 getrennt sein. In weiteren Ausführungsformen kann das Leistungselektroniksystem Teil des Steuerungssystems 200 sein.

[0021] Der Elektromotor 120 kann auch ein Synchronmotor sein, wie z.B. ein grosser vierpoliger Synchronmotor, der für eine sehr hohe Ausgangsleistung bemessen ist. Beispielsweise kann der Elektromotor 120 ein vierpoliger Synchronmotor mit 58 MW und 1800 Upm sein. Ein elektrischer Synchronmotor kann ständig bei der maximal angegebenen Drehzahl für den Motor arbeiten. In einer Ausführungsform kann der Synchronmotor mit einer variablen Frequenzansteuerung versehen sein, um die gewünschte Wellendrehzahl und das Drehmoment an die Verdichtervorrichtung 150 zu liefern. In weiteren Ausführungsformen können ein Drehmomentwandler 130 und ein Getriebe 140 verwendet werden, um die gewünschte Wellendrehzahl und das Drehmoment an die Verdichtervorrichtung 150 zu liefern.

[0022] Der Drehmomentwandler 130 wird dazu genutzt, Drehmoment und Wellendrehzahl von dem Elektromotor 120 an die Verdichtervorrichtung 150 zu übertragen. Der Drehmomentwandler 130 kann jede Einrichtung für die Übertragung von Drehmoment und Drehzahl von dem Elektromotor 120 an die Verdichtervorrichtung 150 verwenden, wie z.B. einen Viskosekupplungs-Drehmomentwandler. Beispielsweise kann der Drehmomentwandler 130 ein Viskosekupplungs-Drehmomentwandler mit variabler Drehzahlübertragung sein.

[0023] Im Allgemeinen ist, je niedriger die Ausgangswellendrehzahl des Drehmomentwandlers 130 ist, das Abgabedrehmoment des Drehmomentwandlers 130 umso grösser. Die Abgabeleistung des Drehmomentwandlers 130 kann von verschiedenen Betriebsparametern des Drehmomentwandlers 130 abhängen. Beispielsweise kann in einer Ausführungsform der Drehmomentwandler 130 ein Viskosekupplungs-Drehmomentwandler sein, dessen Ausgangswellendrehzahl und Drehmoment von der Menge des in dem Drehmomentwandler verwendeten Betriebsfluids abhängt. Auf diese Weise können die Wellendrehzahl und das an die Verdichtervorrichtung 150 gelieferte Drehmoment durch Verändern der Betriebsparameter des Drehmomentwandlers 130 gesteuert werden. Beispielsweise können in einer Ausführungsform die Gasturbine 160 und die Verdichtervorrichtung 150 von dem Antriebsstrang 100 abgekoppelt werden, indem das Arbeitsfluid aus dem Drehmomentwandler 130 abgelassen wird.

[0024] Das Getriebe 140 wird dazu genutzt, um das maximale Drehmoment und den maximalen Wirkungsgrad aus dem Drehmomentwandler 130 an die Verdichtervorrichtung 150 zu liefern. Das Getriebe 140 kann beispielsweise ein Industriegetriebe mit einem Getriebeverhältnis sein, das ausreicht, um die Ausgangsdrehzahl des Drehmomentwandlers 130 auf die Drehzahl der Verdichtervorrichtung 150 und der Gasturbine 160 umzuwandeln. Der Fachmann dürfte unter Anwendung der hierin bereitgestellten Offenlegungen erkennen, dass jedes geeignete Getriebeverhältnis zum Umwandeln der Ausgangsdrehzahl des Drehmomentwandlers 130 auf die Drehzahl der Verdichtervorrichtung 150 verwendet werden kann, ohne von dem Schutzzumfang der vorliegenden Offenlegung abzuweichen.

[0025] Die Verdichtervorrichtung 150 ist in Wirkverbindung mit dem Antriebsstrang 100 zwischen dem Getriebe 140 und der Gasturbine 160 verbunden. Der Antriebsstrang 100 ist dafür konfiguriert, die Verdichtervorrichtung 150 über den gesamten Betriebsdrehzahl- und Lastbereich der Verdichtervorrichtung 150 anzutreiben. Beispielsweise ist der Antriebsstrang 100 dafür konfiguriert, die Verdichtervorrichtung 150 über den gesamten Betriebsdrehzahl- und Lastbereich anzutreiben, was eine vollständige Kennfelderfassung des Verdichterverhaltens vom Kaltstart bis Strömungsabriss bei Vollast-, Teillast- (Absenkbetrieb) und Teildrehzahlzuständen ermöglicht.

[0026] Das (in Fig. 1 dargestellte) Steuerungssystem 200 wird zum Steuern der Wellendrehzahl und zum Steuern der Lastzustände verwendet. Beispielsweise kann das Steuerungssystem 200 die Wellendrehzahl durch Variieren der Parameter des Drehmomentwandlers 130 steuern. Als ein weiteres Beispiel kann das Steuerungssystem 200 die Lastzustände durch Anpassen der Einlassführungsleitschaukeln (IGVs) und der verstellbaren Statorleitschaukeln (VSVs) steuern, um den Umgebungsluftstrom in die Verdichtervorrichtung zu steuern. Das Steuerungssystem 200 kann auch den Durchsatz steuern, mit welchem Brennstoff an die Gasturbine 160 geliefert wird. Der Fachmann dürfte unter Anwendung der hierin bereitgestellten Lehren erkennen, dass verschiedene weitere Betriebsparameter durch das Steuerungssystem 200 zum Steuern von Last und Wellendrehzahlzuständen angepasst werden können, ohne von dem Schutzzumfang der vorliegenden Offenlegung abzuweichen.

[0027] Unter Bezugnahme auf Fig. 2 wird nun der vollständige Betriebsbereich einer exemplarischen Verdichtervorrichtung und einer Gasturbine im Detail beschrieben. Fig. 2 stellt im Wesentlichen die Wellendrehzahl einer Verdichtervorrichtung und einer Gasturbine in Abhängigkeit von dem Massenstrom durch die Verdichtervorrichtung und die Gasturbine dar. Gemäss Darstellung enthält die Kurve zwei unterschiedliche typische Gasturbinenbetriebsbereiche: (1) Den Volldrehzahl-Dauerzustands-Betriebsbereich; und (2) den Übergangsbetriebsbereich bei Teildrehzahl.

[0028] Der Volldrehzahlbetriebsbereich tritt auf, wenn die Verdichtervorrichtung und die Gasturbine bei ca. 100% der vollen Nennwellendrehzahl für die Verdichtervorrichtung und die Gasturbine arbeiten, wie z.B. innerhalb $\pm 5\%$ der vollen Nennwellendrehzahl für den Verdichter und der Gasturbine. Die volle Nennwellendrehzahl für eine 60-Hz-Gasturbine entspricht ca. 3600 Upm der mechanischen Drehzahl. Die volle Nennwellendrehzahl für eine 50-Hz-Gasturbine entspricht ca. 3000 Upm der mechanischen Drehzahl.

[0029] So wie hierin verwendet, soll der Begriff mechanische Drehzahl (N_m) die tatsächliche Drehzahl der Welle der Verdichtervorrichtung und der Gasturbine bezeichnen. Der Begriff berichtigte Drehzahl (N_c) soll die temperaturberichtigte Drehzahl der Welle der Verdichtervorrichtung oder der Gasturbine bezeichnen. Zusätzlich soll zu jedem Zeitpunkt, wenn ein Prozentsatz der Drehzahl in der vorliegenden Offenlegung angegeben wird, ein derartiger Prozentsatz der Drehzahl einen Prozentsatz der vollen Nennwellendrehzahl bezeichnen. Beispielsweise sollen 50% mechanische Drehzahl anzeigen, dass die tatsächliche Drehzahl der Welle ca. 50% der vollen Nennwellendrehzahl für die Gasturbine oder die Verdichtervorrichtung ist.

[0030] Gemäss Darstellung enthält der volle Drehzahlbetriebsbereich zwei Grenzbetriebspunkte: (1) volle Drehzahl/volle Last (FSFL); und (2) volle Drehzahl/keine Last (FSNL). Ein Antriebsstrang gemäss exemplarischen Ausführungsformen der vorliegenden Offenlegung kann die an die Gasturbine und die Verdichtervorrichtung angelegte Last zwischen FSFL und FSNL durch Anpassen verschiedener Betriebsparameter der Verdichtervorrichtung und der Gasturbine anpassen. Beispielsweise kann das (in Fig. 1 dargestellte) Steuerungssystem 200 des Antriebsstranges 100 die Einlassführungsleitschaukeln (IGVs) und die verstellbaren Statorleitschaukeln (VSVs) anpassen, um den Strom der Umgebungsluft in der Verdichtervorrichtung 150 zu steuern. Das Steuerungssystem 200 kann auch den Durchsatz steuern, mit welchem der Gasturbine 160 Brennstoff zugeführt wird. Der Fachmann auf diesem Gebiet dürfte unter Anwendung der hierin gebotenen Lehren erkennen, dass verschiedene weitere Betriebsparameter durch das Steuerungssystem 200 angepasst werden können, ohne von dem Schutzzumfang der vorliegenden Offenlegung abzuweichen. Durch Anpassen verschiedener Betriebsparameter kann der Antriebsstrang 100 Betriebszustände über den vollen Bereich der Lastzustände von FSNL bis FSFL für eine Verdichtervorrichtung simulieren. Ein Test bei einer Leistung niedriger als FSFL ist als Leistungsabsenkttest bekannt.

[0031] Des Weiteren ist in Fig. 2 ein Teildrehzahlbetrieb der Gasturbine und der Verdichtervorrichtung in dem Übergangsbetriebsabschnitt dargestellt. Ein Antriebsstrang gemäss exemplarischen Ausführungsformen der vorliegenden Offenlegung kann Betriebszustände in dem Teildrehzahlabschnitt von Fig. 2 simulieren, indem die von dem Antriebsstrang an die Verdichtervorrichtung angelegte Drehzahl angepasst wird. Wichtig ist, dass ein Antriebsstrang gemäss Ausführungsformen der vorliegenden Offenlegung die Verdichtervorrichtung und die Gasturbine für längere Zeitdauer bei einer Teildrehzahl halten kann, sodass Validierungstests im «Dauerzustand» und Verdichter kennfelder unter Anwendung von Teildrehzahlzuständen erzeugt werden können.

[0032] Der Antriebsstrang gemäss Ausführungsformen der vorliegenden Offenlegung kann zum Erzeugen von Verdichterkennfeldern für unterschiedliche Betriebszustände für einen Verdichter in Originalgrösse verwendet werden. Fig. 3 stellt ein typisches Verdichterkennfeld dar, welches eine Kurve des Druckverhältnisses in Abhängigkeit von dem Durchsatz ist. Gemäss Darstellung enthält das Verdichterkennfeld eine Strömungsabrisskennlinie 305 und eine Betriebskennlinie 310. Die Strömungsabrisskennlinie 305 zeigt die Druckverhältnisse an, bei welchen sich die Strömung von den Laufschaufeln trennt und die Richtung umkehrt, und stellt den absoluten Grenzwert der Verdichtervorrichtung bei einer gegebenen Drehzahl dar. Die Betriebskennlinie 310 stellt zulässige Kombinationen von Druckverhältnis und Strömung dar und ist so gewählt, dass sie einen gewünschten Strömungsabriss sicherheitsabstand bereitstellt. Der Strömungsabriss sicherheitsabstand ist der relative Bereich zulässiger Verdichterverhältnisse für die Verdichtervorrichtung unter gegebenen Betriebszuständen.

[0033] Das in Fig. 3 dargestellte exemplarische Verdichterkennfeld enthält ferner mehrere Drehzahlkennlinien 320. Die Drehzahlkennlinien 320 veranschaulichen verschiedene Betriebspunkte vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss des Verdichters bei unterschiedlichen berichtigten Wellendrehzahlen. An dem Schnittpunkt der berichtigten Drehzahlkennlinien von 100% und der Betriebskennlinie 310 befindet sich der aerodynamische Auslegungspunkt 330. Während des Auslegungszyklus sind die Verdichterkennfelder bei der Ermittlung des Verdichterbetriebsverhaltens, des Wirkungsgrades, eines gewünschten Strömungsabriss sicherheitsabstandes und des aerodynamischen Auslegungspunktes 330 für eine Verdichtervorrichtung nützlich.

[0034] Ein Antriebsstrang gemäss Ausführungsformen der vorliegenden Offenlegung kann zum Erzeugen von Verdichterkennfelddaten für eine Vielfalt von unterschiedlichen Drehzahl- und Lastzuständen verwendet werden. Beispielsweise kann der Antriebsstrang zum Erzeugen von Volllast-Drehzahlkennlinien vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei ca. 85% bis ca. 115% berichtigter Drehzahl für die Verdichtervorrichtung oder jede andere berichtigte Drehzahl oder Bereich berichtigter Drehzahl dazwischen verwendet werden. Der Antriebsstrang kann auch zum Erzeugen von Teildrehzahl-Drehzahlkennlinien vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei ca. 20% bis ca. 85% berichtigter Drehzahl, bei ca. 20% bis ca. 85% berichtigter Drehzahl für die Verdichtervorrichtung, wie z.B. 80% berichtigter Drehzahl, bei ca. 70% berichtigter

Drehzahl, bei ca. 60% richtiger Drehzahl, bei ca. 50% richtiger Drehzahl, bei ca. 40% richtiger Drehzahl, bei ca. 50% richtiger Drehzahl, bei ca. 30% richtiger Drehzahl, oder jeder anderen beliebigen Drehzahl oder Drehzahlbereich dazwischen verwendet werden.

[0035] Der Antriebsstrang kann auch zum Erzeugen verschiedener Leistungsabsenkungs-Drehzahlkennlinien von Vollast auf Nulllastzustände, wie z.B. ca. 80% Last, 60% Last, 40% Last oder jede beliebige andere Last vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei ca. 85% bis ca. 115% richtiger Drehzahl für die Verdichtervorrichtung, wie z.B. bei ca. 100% richtiger Drehzahl, bei ca. 105% richtiger Drehzahl, bei ca. 110% richtiger Drehzahl, bei ca. 97,5% richtiger Drehzahl, bei ca. 95% richtiger Drehzahl, ca. 90% richtiger Drehzahl, oder ca. 85% richtiger Drehzahl, oder bei jeder anderen beliebigen Drehzahl oder Drehzahlbereich dazwischen verwendet werden.

[0036] Weitere Testdaten können aus den unter Verwendung des Antriebsstrangs 100 simulierten Betriebszuständen erzeugt werden. Eine nicht-ausschliessende Liste allgemeiner kritischer Qualitätsstandards umfasst: Schaufelblatt-Dauerzustands-Aeromechanik; Schaufelblatt-Übergangsaeromechanik; IGV- und VSV-Auslegungspunktverhalten und Optimierung; IGV- und VSV-Absenkverhalten und Optimierung; Stufeneigenschaftsdefinition über einen Bereich von Umgebungstemperatur und VSV-Einstellungen; IGV/VSV- und Abzweigströmungsabrissvermeidung beim Start; Schaufelblattaeromechanik-Empfindlichkeit gegenüber Abzweigventilpositionen; Schaufelblattabstandsmessungen; Verhalten auf der Basis einer Start-IGV/VSV-Optimierung; und Wellendrehmomentmessungen. Jede(r) von den vorstehenden Validierungstests und den Kennfelderermittlungen kann durchgeführt werden, während der Antriebsstrang verschiedene Betriebszustände für die Verdichtervorrichtung simuliert.

[0037] Unter Bezugnahme auf die Fig. 4–7 werden nun verschiedene Betriebsarten für den Antriebsstrang 100 zum Simulieren unterschiedlicher Betriebszustände über den gesamten Drehzahl- und Lastbetriebsbereich für die Verdichtervorrichtung 150 beschrieben. Unter Nutzung der hierin bereitgestellten Offenlegungen wird der Fachmann erkennen, dass die nachstehend diskutierten Betriebsarten in jeder Reihenfolge oder auch nicht ohne Abweichung von dem Schutzzumfang der vorliegenden Offenlegung durchgeführt werden können.

[0038] Eine erste Betriebsart, die zum Simulieren von Betriebszuständen für die Verdichtervorrichtung 150 genutzt werden kann, ist in Fig. 4 dargestellt. Gemäss Darstellung enthält der Antriebsstrang 100 einen Elektromotor 120, einen Drehmomentwandler 130, ein Getriebe 140, eine Verdichtervorrichtung 150 und eine Gasturbine 160. In dieser Betriebsart ist die Gasturbine 160 von dem Antriebsstrang 100 abgekoppelt. Die Gasturbine 160 kann von dem Antriebsstrang 100 durch Lösen einer exemplarischen Wellenkupplung 155 abgekoppelt werden. In dieser Betriebsart wird der Elektromotor 120 dafür genutzt, die Verdichtervorrichtung 150 auf Teildrehzahl-Dauerzustände zur Kennfelderstellung und für Tests des Verdichters anzutreiben. Beispielsweise kann der Elektromotor 120 die Verdichtervorrichtung 150 auf eine richtige Drehzahl in dem Bereich von ca. 30% bis ca. 85% richtiger Drehzahl, wie z.B. ca. 50% richtiger Drehzahl, ca. 60% richtiger Drehzahl, ca. 70% richtiger Drehzahl oder ca. 80% richtiger Drehzahl oder irgendeiner beliebigen anderen richtigen Drehzahl oder einem Bereich von richtigen Drehzahlen dazwischen antreiben. Testdaten, die bei derartigen Betriebszuständen für den Antriebsstrang 100 erzeugt werden, können zum Erfassen eines Teildrehzahl-Drehzahlkennlinienfeldes vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei richtigen Drehzahlen in dem Bereich von ca. 30% bis ca. 85% richtiger Drehzahl, wie z.B. ca. 50% richtiger Drehzahl, ca. 60% richtiger Drehzahl, ca. 70% richtiger Drehzahl oder ca. 80% richtiger Drehzahlen oder irgendeiner beliebigen anderen richtigen Drehzahl oder einem Bereich von richtigen Drehzahlen dazwischen dienen.

[0039] Eine zweite Betriebsart, die zum Simulieren von Betriebszuständen für die Verdichtervorrichtung 150 verwendet werden kann, ist in Fig. 5 dargestellt. In dieser Betriebsart ist die Gasturbine 160 mit dem Antriebsstrang 100 gekoppelt. Wie dargestellt, steht die Wellenkupplung 155 mit den entsprechenden Wellen für die Verdichtervorrichtung 150 und die Gasturbine 160 in Eingriff. In diesem Betriebsmodus wird der Elektromotor 120 dafür verwendet, die Verdichtervorrichtung 150 auf einen Teildrehzahl-Dauerzustand zur Kennfelderstellung und für Tests des Verdichters anzutreiben. Die Gasturbine wird unbefeuert betrieben, sodass sie als eine Last für die Verdichtervorrichtung 150 wirkt. Auf diese Weise kann die Verdichtervorrichtung 150 bei Niedrigdrehzahlzuständen betrieben werden, wie z.B. bei richtigen Drehzahlen in dem Bereich von ca. 20% bis ca. 50% richtiger Drehzahl. Die unbefeuerte Gasturbine 160 stellt eine Last bereit, um eine übermässige Beschleunigung der Verdichtervorrichtung 150 aufgrund der grossen Motorleistung des Elektromotors 120 und des an den Drehmomentwandler 130 angelegten hohen Drehmomentes bei niedrigen Wellendrehzahlzuständen zu verhindern. Während des zweiten Betriebsmodus für den Antriebsstrang 100 erzeugte Testdaten können zum Erfassen von Teildrehzahl-Drehzahlkennlinien vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei richtigen Drehzahlen in dem Bereich von ca. 20 bis ca. 50% richtiger Drehzahl, wie z.B. bei ca. 30% richtiger Drehzahl oder ca. 40% richtiger Drehzahl oder einer beliebigen anderen Drehzahl oder einem Bereich von richtigen Drehzahlen dazwischen dienen.

[0040] Eine dritte Betriebsart, die zum Simulieren von Betriebszuständen für die Verdichtervorrichtung 150 verwendet werden kann, ist in Fig. 6 dargestellt. In dieser Betriebsart ist die Gasturbine 160 mit der Verdichtervorrichtung 150 gekoppelt, sodass alle Komponenten in dem Antriebsstrang 100 miteinander gekoppelt sind. Der Elektromotor 120 wird bei voller Drehzahl betrieben und die Gasturbine 160 (gemäss Darstellung bei dem Pfeil 165) in üblicher Weise befeuert. Dieser Betriebsmodus ermöglicht einen Test der Verdichtervorrichtung bei Übergangsdrehzahlen, Über- und Unterdrehzahltests bei FSNL-Zuständen und allen anderen Belastungszuständen. Sowohl die Gasturbine 160 als auch der Elektromotor 120 tragen Drehmoment zum Antreiben der Verdichtervorrichtung 150 bei.

[0041] Während der dritten Betriebsart können der Elektromotor 120 und die Gasturbine 160 Drehmoment an die Verdichtervorrichtung 150 zum Antreiben des Verdichters auf ca. 85% bis ca. 115% berichtigter Drehzahl liefern. Die während der dritten Betriebsart für den Antriebsstrang 100 erzeugten Testdaten können zum Erfassen einer Volllastdrehzahl-Kennlinie vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei berichtigten Drehzahlen in dem Bereich von ca. 85% bis ca. 115% berichtigter Drehzahl, wie z.B. bei ca. 100% berichtigter Drehzahl, bei ca. 105% berichtigter Drehzahl, bei ca. 110% berichtigter Drehzahl, bei ca. 97,5% berichtigter Drehzahl, bei ca. 95% berichtigter Drehzahl, ca. 90% berichtigter Drehzahl, oder ca. 85% berichtigter Drehzahl, oder bei jeder anderen beliebigen Drehzahl oder Drehzahlbereich dazwischen dienen. Während der dritten Betriebsart erzeugte Testdaten können auch zum Erfassen von Leistungsabsenkungs-Drehzahlkennlinien von Volllast auf Nulllastzustände, wie z.B. bei ca. 80% Last, 60% Last, 40% Last oder jeder beliebigen anderen Last vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei ca. 85% bis ca. 115% berichtigter Drehzahl für die Verdichtervorrichtung, wie z.B. bei ca. 100% berichtigter Drehzahl, bei ca. 105% berichtigter Drehzahl, bei ca. 110% berichtigter Drehzahl, bei ca. 97,5% berichtigter Drehzahl, bei ca. 95% berichtigter Drehzahl, ca. 90% berichtigter Drehzahl, oder ca. 85% berichtigter Drehzahl, oder bei jeder(m) anderen beliebigen Drehzahl oder Drehzahlbereich dazwischen dienen.

[0042] Eine vierte Betriebsart, die zum Simulieren von Betriebszuständen für die Verdichtervorrichtung 150 und der Gasturbine 160 verwendet werden kann, ist in Fig. 7 dargestellt. In dieser Betriebsart wird der Antriebsstrang 100 dazu genutzt, Drehmoment an die Verdichtervorrichtung 150 und die Gasturbine 160 anzulegen, sodass der Verdichtervorrichtung und die Gasturbine bei ca. 85% bis ca. 110% berichtigter Drehzahl arbeiten. Der Verdichtervorrichtung 150 und die Gasturbine 160 werden dann von dem Antriebsstrang 100 abgekoppelt, sodass die Verdichtervorrichtung 150 als ein Lastelement genutzt wird und die Gasturbine 160 der Prüfgegenstand ist. Der Verdichtervorrichtung 150 und die Gasturbine 160 können von dem Antriebsstrang 100 beispielsweise abgekoppelt werden, indem Betriebsfluid aus dem Drehmomentwandler 130 abgelassen wird. Der Pfeil 135 von Fig. 7 zeigt die Abkopplung der Gasturbine 160 und der Verdichtervorrichtung 150 von dem Elektromotor 120 an.

[0043] Die vierte Betriebsart für den Antriebsstrang 100 kann zum Testen einer neuen oder vorhandenen Gasturbine verwendet werden. Die Verdichtervorrichtung 150 dient als Lastelement für die Gasturbine, was einen Test der Gasturbine 160, einschliesslich des Verdichters, Verbrennungssystems und der Heissgaspfadhardware bei allen Lastzuständen, einschliesslich Frequenzabweichung (Unterdrehzahl und Überdrehzahl) unter Belastung ermöglicht. Beispielsweise können die nachstehenden exemplarischen Testdaten in Bezug auf die Gasturbine während der vierten Betriebsart erzeugt werden: Turbinenschaufelblatt-Aeromechanik; Turbinenschaufelblatt-Wärmeprofile; Abstände; Brennkammervalidierung; Validierung der Verdichterschaufelblätter; Verdichterleistungsverifikation; und Wellendrehmomentmessungen.

[0044] Die vierte Betriebsart bietet viele Vorteile für den Test einer neuen oder bestehenden Gasturbinenkonstruktion. Beispielsweise ist ein Frequenzabweichungstest unter Belastung an einem Stromerzeugungsort möglich, da die Gasturbine und der Generator mit dem elektrischen Netz synchronisiert sind. Ferner kann der Test einer Gasturbine an einem Stromerzeugungsort dem Stromerzeuger erhebliche betriebliche Belastungen oder Einschränkungen auferlegen. Zusätzlich kann der Test der Gasturbine in dem Turbinenentwicklungszyklus früher erfolgen, als es an einem Stromerzeugungsort möglich wäre, und kann mögliche Probleme, die ein Redesign oder Umstellung von Fertigungszyklen erforderlich machen können, frühzeitiger erkennen.

[0045] Weitere Validierungstestdaten, die während jedes Betriebsmodus erzeugt werden können, können beliebige von den nachstehenden betreffen: Schaufelblatt-Dauerzustands-Aeromechanik; Schaufelblatt-Übergangsaeromechanik; IGV- und VSV-Auslegungspunktverhalten und Optimierung; IGV- und VSV-Absenkverhalten und Optimierung; Stufeneigenschaftsdefinition über einen Bereich von Umgebungstemperatur und VSV-Einstellungen; IGV/VSV- und Abzweigströmungsabrissvermeidung beim Start; Schaufelblattaeromechanik-Empfindlichkeit gegenüber Abzweigventilpositionen; Schaufelblattabstandsmessungen; Verhalten auf der Basis einer Start-IGV/VSV-Optimierung; und Wellendrehmomentmessungen.

[0046] Der Erfindungsgegenstand der vorliegenden Offenlegung stellt die Fähigkeit zum Test einer Verdichtervorrichtung im Originalmassstab über dem gesamten Drehzahl- und Lastbetriebsbereich bereit, was eine vollständige Verdichterkennfelderstellung vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei Volllast, Teillast (Leistungsabsenkung) und Teillastzuständen ermöglicht. Die Schaufelblatt-Aeromechanik kann für alle Betriebszustände einschliesslich Frequenzabweichungs-(Teildrehzahl)-Betriebszuständen ermittelt werden, die typischerweise nicht Teil eines Gasturbinentests sind. Der vorliegende Erfindungsgegenstand vereinfacht die Auslegung, indem der Schritt der Auslegung eines Verdichters in verkleinertem Massstab für den Validierungstest und die Kennfelderstellung überbrückt wird. Das Design- und Beschaffungsteam kann somit seine Ressourcen einer Auslegung des Verdichterschaufelblattes widmen, das als das Endprodukt verwendet wird, was Zeit und Ressourcen spart.

[0047] Es wird ein mechanischer Antriebsstrang 100 zum Testen einer Verdichtervorrichtung 150 im Originalmassstab offengelegt. Der Antriebsstrang 100 enthält einen Elektromotor 120, ein Getriebe 140 und eine Gasturbine 160. Die Verdichtervorrichtung 150 ist mit dem Antriebsstrang 100 zwischen dem Getriebe 140 und der Gasturbine 160 in Wirkverbindung bringbar. Der Antriebsstrang 100 enthält ferner einen Drehmomentwandler 130 zum Übertragen von Drehmoment von dem Elektromotor 120 an die Verdichtervorrichtung 150. Der Antriebsstrang 100 ist dafür konfiguriert, eine Verdichtervorrichtung 150 im Originalmassstab über den gesamten Drehzahlbereich und Lastbetriebsbereich zu testen, was eine vollständige Kennfelderstellung des Verdichters vom Kaltstart bis zum Strömungsabriss bei Volllast, Teillast (Absenkvor-

gang) und Teildrehzahlzuständen ermöglicht. Der Antriebsstrang 100 kann auch zum Testen einer Verdichtervorrichtung 150 oder einer Gasturbine 160 über den vollen Betriebsbereich für die Verdichtervorrichtung 150 oder die Gasturbine 160 genutzt werden, ohne dass die Gasturbine 160 mit dem Stromnetz am Stromerzeugungsort verbunden sein muss.

Bezugszeichenliste

[0048]

- 100 Antriebsstrang
- 110 Motorstarter
- 120 Elektromotor
- 130 Drehmomentwandler
- 135 Pfeil
- 140 Getriebe
- 150 Verdichtervorrichtung
- 155 Wellenkupplung
- 160 Gasturbine
- 165 befeuerte Gasturbine
- 200 Steuerungssystem
- 305 Strömungsabrisskennlinie
- 310 Betriebskennlinie
- 320 Drehzahlkennlinien
- 330 aerodynamischer Auslegungspunkt

Patentansprüche

1. Antriebsstrang (100) zum Testen einer Verdichtervorrichtung (150), aufweisend:
einen Elektromotor (120); eine Gasturbine (160); einen Drehmomentwandler (130); und
ein Getriebe (140), das in Wirkverbindung mit dem Drehmomentwandler (130) verbunden ist;
wobei die Verdichtervorrichtung (150) zwischen dem Elektromotor (120) und der Gasturbine (160) mit dem Antriebsstrang (100) in Wirkverbindung bringbar ist, wobei der Drehmomentwandler (130) und das Getriebe (140) in den Antriebsstrang (100) zwischen dem Elektromotor (120) und der in Wirkverbindung bringbaren Verdichtervorrichtung (150) eingebunden sind, und wobei der Antriebsstrang (100) dafür konfiguriert ist, die in Wirkverbindung bringbare Verdichtervorrichtung (150) über einen vollen Betriebsbereich für die in Wirkverbindung bringbare Verdichtervorrichtung (150) anzutreiben.
2. Verfahren zum Testen einer Verdichtervorrichtung (150) im Originalmassstab mittels eines Antriebsstrangs (100) gemäss Anspruch 1, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:
Bereitstellen eines Antriebsstrangs (100) mit einem Elektromotor (120), einem Drehmomentwandler (130), einem Getriebe (140) und einer Gasturbine (160);
Verbinden der Verdichtervorrichtung (150) mit dem Antriebsstrang (100) zwischen dem Getriebe (140) und der Gasturbine (160) in Wirkverbindung;
Simulieren eines Betriebszustandes für die Verdichtervorrichtung (150) unter Anwendung des Antriebsstranges (100);
und
Erzeugen von Testdaten auf der Basis der Simulation des Betriebszustandes.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Simulationsschritt eines Betriebszustandes die Schritte aufweist:
Abkoppeln der Gasturbine (160) von dem Antriebsstrang (100); und
Übertragen von Drehmoment an die Verdichtervorrichtung (150), um die Verdichtervorrichtung (150) bei einer Teildrehzahl zu betreiben.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Testdaten zum Erfassen eines Teildrehzahl-Drehzahlkennlinienfeldes bei berechtigten Drehzahlen in dem Bereich von 85% bis 110% berechtigter Drehzahl für die Verdichtervorrichtung (150) dienen.

5. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Simulationsschritt eines Betriebszustandes die Schritte aufweist:
Koppeln der Gasturbine (160) mit der Verdichtervorrichtung (150);
Übertragen von Drehmoment an die Verdichtervorrichtung (150), um die Verdichtervorrichtung (150) bei Teildrehzahl zu betreiben; und
Betreiben der Gasturbine (160) in einem nicht befeuerten Zustand, so dass die Gasturbine (160) als eine Last für die Verdichtervorrichtung (150) arbeitet.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Testdaten zum Erfassen eines Teildrehzahl-Drehzahlkennlinienfeldes bei berechtigten Drehzahlen in dem Bereich von 30% bis 50% berechtigter Drehzahl für die Verdichtervorrichtung (150) dienen.
7. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Simulationsschritt eines Betriebszustandes die Schritte aufweist:
Koppeln der Gasturbine (160) mit der Verdichtervorrichtung (150);
Befeuern der Gasturbine (160);
Übertragen von Drehmoment an die Verdichtervorrichtung (150), sodass die Verdichtervorrichtung (150) bei 85% bis 110% berechtigter Drehzahl arbeitet; und
Variieren der an die Verdichtervorrichtung (150) angelegten Last unter Verwendung eines Steuerungssystems (200), das für die Variierung der Parameter der Verdichtervorrichtung (150) und der Gasturbine (160) angepasst ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Testdaten zum Erfassen von Leistungsabsenkungs-Drehzahlkennlinien bei berechtigten Drehzahlen in dem Bereich von 85% bis 110% berechtigter Drehzahl für die Verdichtervorrichtung (150) dienen.
9. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Simulationsschritt eines Betriebszustandes die Schritte aufweist:
Koppeln der Gasturbine (160) mit der Verdichtervorrichtung (150);
Übertragen von Drehmoment an die Verdichtervorrichtung (150), um die Verdichtervorrichtung (150) von 85% bis 110% berechtigter Drehzahl zu betreiben; und
Abkoppeln der Verdichtervorrichtung (150) und der Gasturbine (160) von dem Antriebsstrang (100).

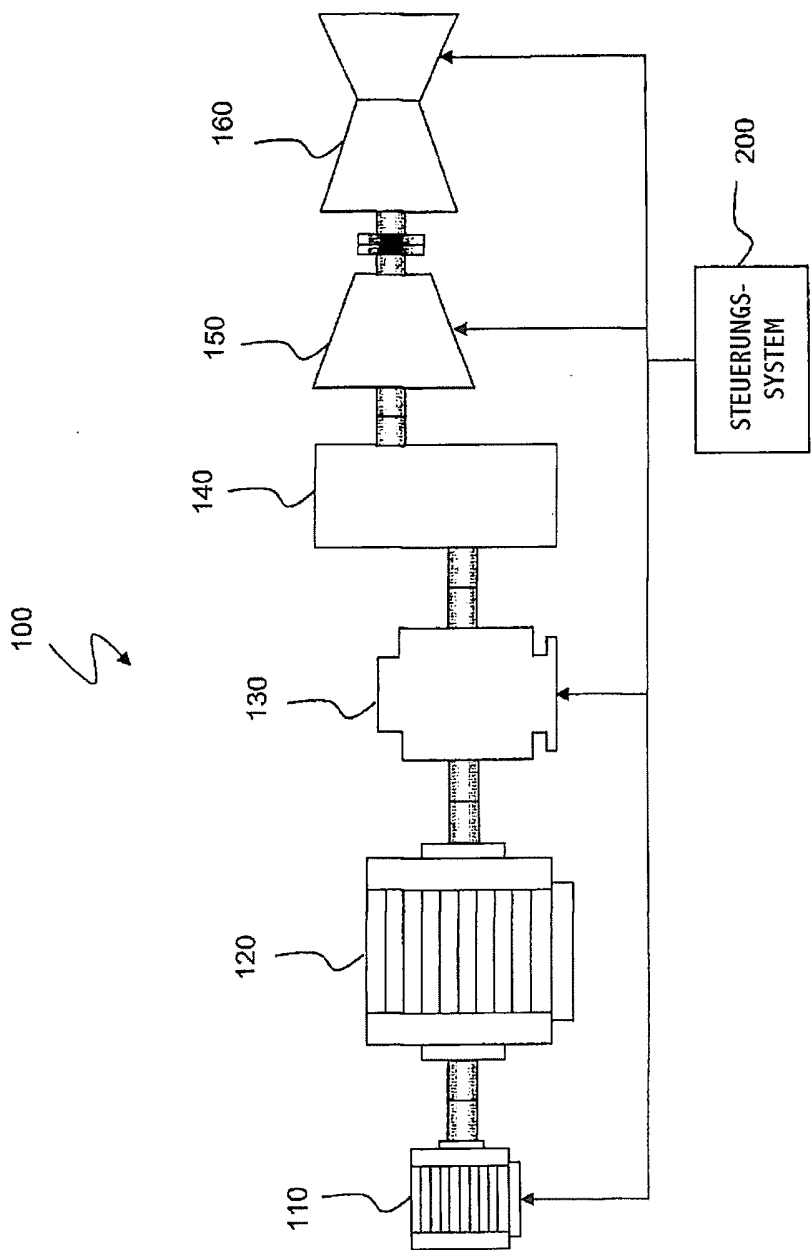


Fig. 1

BETRIEBBSBEREICH

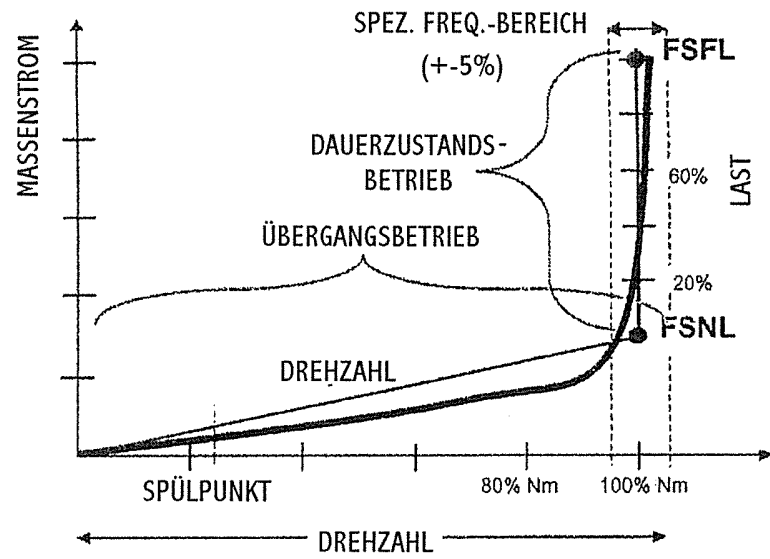


Fig. 2

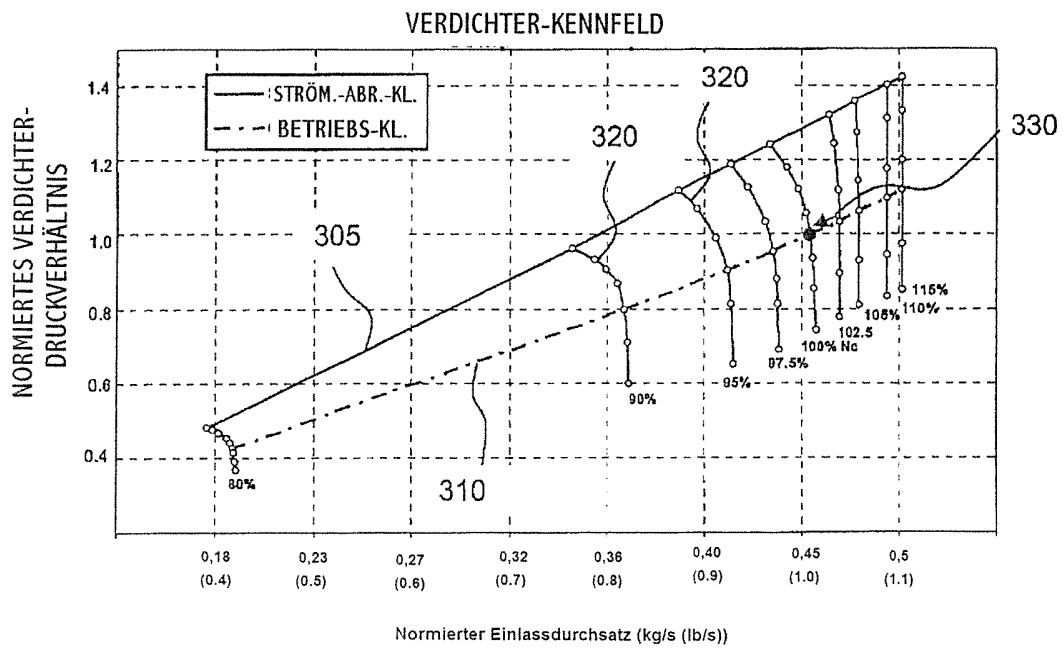


Fig. 3

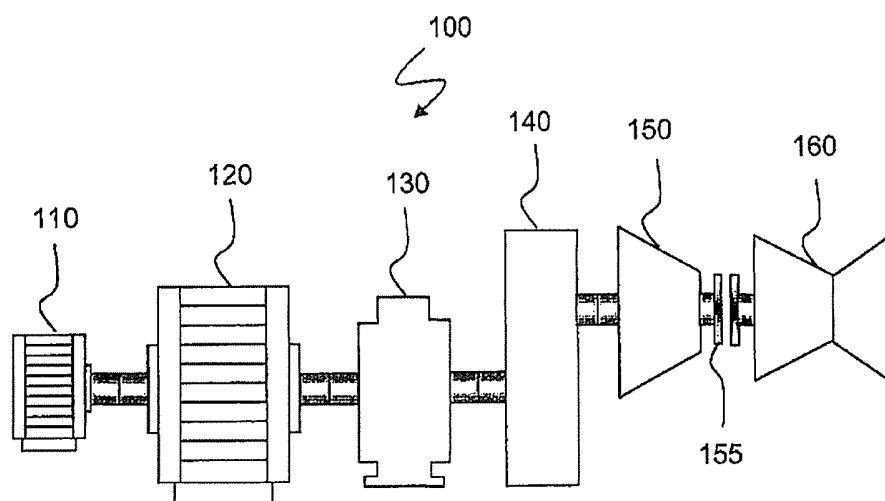


Fig. 4

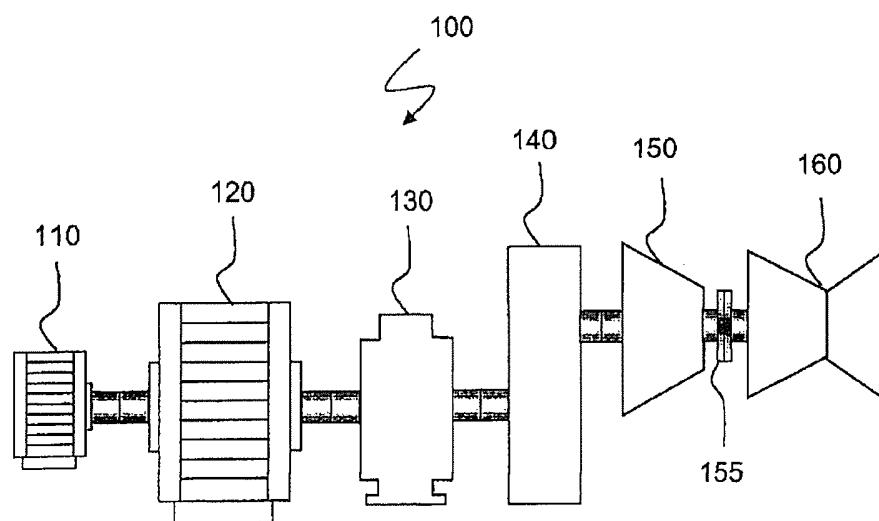


Fig. 5

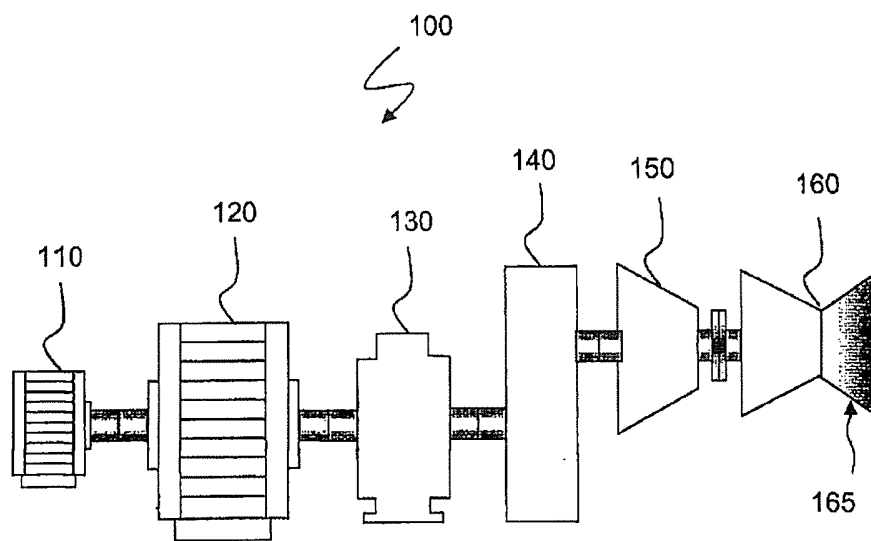


Fig. 6

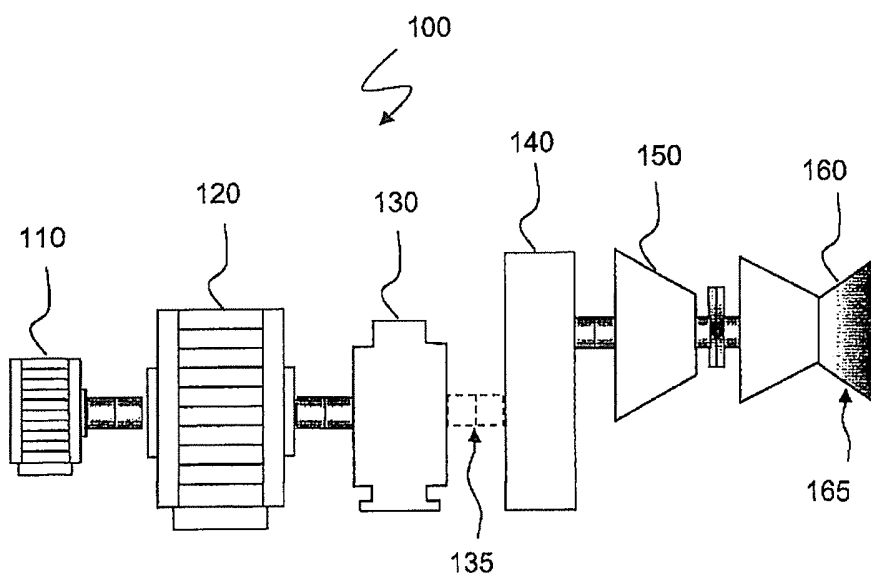


Fig. 7