

(11) **CH 709 033 A2**



Beschreibung

QUERVERWEIS AUF EINE VERBUNDENE ANMELDUNG

[0001] Diese Anmeldung nimmt die Priorität der französischen Patentanmeldung mit der Anmeldenummer 1363398 und dem Titel «Système et procédé de test d'une machine tournante» (System und Verfahren zum Testen einer Rotationsmaschine), eingereicht am 23. Dezember 2013 in Anspruch, deren Offenbarung in ihrer Gesamtheit durch Bezugnahme aufgenommen wird.

HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG

[0002] Das Gebiet der Offenbarung bezieht sich im Allgemeinen auf Rotationsmaschinen und genauer auf das Testen von Rotationsmaschinen, zum Beispiel einer Gasturbine, die im Rahmen einer elektrischen Energie erzeugenden Einrichtung einen Generator drehend antreibt, der mit einem elektrischen Energieverteilungsnetzwerk verbunden ist.

[0003] Zumindest einige bekannte Vorschriften legen der Verbindung und der Synchronisation von Rotationsmaschinen mit einem verbundenen Elektrizitätsverteilungsnetzwerk Einschränkungen auf. Diese Vorschriften werden manchmal als «Gridcode» bezeichnet. Solche Vorschriften existieren für jedes Land oder für geographische Zonen.

[0004] Die Vorschriften erlauben die Entwicklung, die Instandhaltung und die Verwendung von koordinierten, effizienten und ökonomischen Elektrizitätsübertragungssystemen. Ausserdem sichern sie die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Verteilungsnetzwerken und Elementen, die damit verbunden sind, für das Land oder die geographische Zone, für die sie anwendbar sind.

[0005] Die Vorschriften oder «Spezifikationen des Elektrizitätsverteilungsnetzwerksmanagers» basieren auf technischen Aspekten betreffend die Verbindungen von verschiedenen Elementen mit dem Netzwerk, aber auch auf den Betrieb und die Verwendung eines Transportnetzwerks und insbesondere elektrischen Leitungen und elektrischen Einrichtungen, die mit dem Verteilungsnetzwerk verbunden sind.

[0006] Die Vorschriften können spezifizieren, dass die Benutzer dafür verantwortlich sind, die für die Planung und die Verwendung des Netzwerks notwendigen Daten bereitzustellen, wie etwa Elektrizitätsnachfragevorhersagen, Verfügbarkeit von Ausrüstungen zur Erzeugung von elektrischer Energie und Daten, die für die Instandhaltung von grossen Elektrizitätsgeneratoranordnungen festgelegt sind.

[0007] Zusätzlich zu den technischen Ausführungsaspekten eines Netzwerks, kann der «Gridcode» sehr spezifische Betriebskriterien definieren.

[0008] Zum Beispiel kann er die Festlegung der Nennfrequenz des Netzwerks betreffen, sowie die Frequenzabweichungen, die in Bezug auf diese Nennfrequenz zugelassen sind.

[0009] Zum Beispiel ist die nominale Netzwerkfrequenz in Frankreich 50 Hz und muss innerhalb den Grenzen von 49,5 bis 50,5 Hz gesteuert werden. Für andere Länder ist die Nennfrequenz 60 Hz und muss zwischen 59,5 und 60,5 Hz liegen.

[0010] Ausserdem muss jede Netzwerkeinrichtung eine aktive Leistungsreserve für das Netzwerk bereitstellen, die allgemein als «Primärreserve» bezeichnet wird, um an der Primärfestlegung der Netzwerkfrequenz mitzuwirken. Zum Beispiel kann diese Reserve gleich einem Prozentanteil der maximalen Leistung sein. Daher hat jede elektrische energieerzeugende Einheit, die an der Festlegung der Netzwerkfrequenz mitwirkt, einen angemessenen Spielraum von verfügbarer Leistung. Beim Verbinden von elektrischen Netzwerken, entspricht das gesamte Primärnetzwerk der Menge von allen Primärreserven von allen Einheiten, die an der Primärfestlegung der Frequenz mitwirken.

[0011] Die Primärreserve erlaubt das Wiedererlangen des Gleichs zwischen der Erzeugung und dem Verbrauch und stellt aus den verschiedenen Komponenten, die die Primärfestlegung der Frequenz ermöglichen, die Komponente mit der kürzesten Antwortzeit dar. Tatsächlich muss in Kontinentaleuropa ein Teil der Primärreserve in weniger als 15 Sekunden mobilisiert werden und die gesamte Reserve in weniger als 30 Sekunden.

[0012] Ausserdem sind die Elektrizitätserzeugungseinheiten mit Drehzahlregelungen ausgestattet, die es erlauben, ihre Leistung entsprechend der Drehzahl der rotierenden Maschine und folglich der Netzwerkfrequenz anzupassen. Der mobilisierte Teil der Primärreserve steht mit der Differenz aus der aktuellen Momentandrehzahl, der durch die gemessene Frequenz f angegeben wird, und der Nennzahl, die der Nennfrequenz f_0 entspricht, in einem Verhältnis gemäss folgender Beziehung:

$$\delta = \lambda(f - f_0)$$

wobei λ die Leistungseinstellung der Einheit angibt.

[0013] Bei einem 50-Hz-Netzwerk ist es nicht nur erforderlich, die Leistungsantwort der Elektrizitätserzeugungseinheiten als Funktion der Zeit bei einer konstanten Drehzahl der Rotationsmaschine, mit der die Elektrizitätserzeugungseinheit ausgerüstet ist, zu kennen, sondern auch das Leistungsvermögen zur Begrenzung der Frequenzabweichung über der Zeit bei instationären Drehzahlen.

[0014] Insbesondere erzeugt ein Ansteigen des Anteils der Leistung, die durch erneuerbare Energien bereitgestellt wird, und Fluktuationen in der Elektrizitätsnachfrage in kleinen elektrischen Netzwerken die Notwendigkeit zur Erhöhung der

dynamischen Antwort von Kombikraftwerken bei voller Last oder bei Teillast, sowie zur Überprüfung der Antwortzeit der Erzeugungseinheiten des elektrischen Netzwerks.

[0015] Daher werden Tests in elektrischen Netzwerken ausgeführt, um die aktuelle Leistungsfähigkeit der Elektrizitätserzeugungseinheiten zu zeigen, auf Schwankungserscheinungen zu antworten. Es ist jedoch notwendig, dass diese Tests unter sehr genauen Bedingungen ausgeführt werden. In der Praxis sind Tests in aktuellen Netzwerken aufgrund der Betriebszustände des Netzwerkes schwierig. Tatsächlich erlaubt diese Art von Test keine Testausführungen unter Last ausserhalb der Nennfrequenz des Netzwerkes, wenn diese nicht bewusst herabgesetzt wurde. Es ist auch nicht möglich, Tests in einem grossen Massstab auszuführen, ohne die Netzwerkbenutzer zu beeinträchtigen. Ausserdem müssen Risiken, die mit jeglichen Testfehlern zusammenhängen und damit eventuelle Störungen oder Ausfälle in der Versorgung für alle Benutzer in Bezug auf die Vorteile berücksichtigt werden, die das Ausführen des Tests mit sich bringt.

[0016] Ferner erfordert diese Art von Test erhebliche Ressourcen was elektrische Energie, Brennstoff und Zusatzfluide (zum Beispiel, aber nicht beschränkend Öl und Kühlmittel) anbelangt. Auch die Zeit, die benötigt wird, um Tests vorzubereiten und auszuführen kann erheblich sein. Lärmbelästigungen sollten auch beachtet werden, wenn die Testeinrichtungen in der Nähe von Städten oder bevölkerten Gegenden angeordnet sind.

[0017] Deswegen verwenden einige bekannte Gasturbinenhersteller Prüfstände, um das Verhalten der Turbinen zu testen.

[0018] In diesem Zusammenhang beschreibt das US Patent Nr. 3 598 208 die Verwendung einer hydraulischen Bremse um das Verhalten einer Gasturbine zu testen. Tatsächlich erlaubt es die Verbindung einer Turbine mit einer hydraulischen Bremse der Turbine bei der Nennfrequenz des Netzwerkes oder bei einer geringeren oder höheren Frequenz zu arbeiten, im Unterschied zu der Verbindung der Turbine mit einem elektrischen Netzwerk über einen Generator.

[0019] Ausserdem kann die Leistung der Welle einer Gasturbine, die mit einem Generator gekoppelt ist, mit einem Kraftmesser oder durch eine hydraulische Bremse gemessen werden, entweder durch eine direkte Messung des Drehmoments zwischen der Leistungsturbine und der angetriebenen Einrichtung oder der Leistung am Generatorausgang oder durch indirekte Messung, Berechnung der Leistung des Gasturbinenkompressors.

[0020] Ferner beschreibt die US-Offenlegungsschrift Nr. 2003/0011 199 die Ventilregelung, um eine in einen Kompressor einer Gasturbine eintretende Luftströmung zu regeln, um deren Drehzahl zu regeln, beispielsweise durch Beaufschlagung eines einstellbaren Ventils, wenn die Frequenz kleiner ist als die Nennfrequenz des Netzwerkes, um eine graduelle Änderung der Frequenz zu erhalten, bis die Nennfrequenz erreicht ist.

[0021] Ausserdem beschreibt die US-Offenlegungsschrift Nr. 2007/0271 929 ein Verfahren zur Synchronisierung der Drehzahl einer Gasturbine mit der Frequenz eines Verteilungsnetzwerkes durch Regelung des Betriebs eines Kompressors, um die durch die Turbine erzeugte Leistung zu regeln.

[0022] Im Europäischen Patent Nr. 2 378 085 wird eine Regeleinrichtung dazu verwendet, um das Drehmoment einer Turbine als Antwort auf eine Frequenzabweichung auf dem elektrischen Verteilungsnetzwerk zu ändern.

[0023] Ferner beschreibt das US-Patent Nr. 8 191 410 einen Prüfstand, bei dem ein Kompressor durch eine Gasturbine angetrieben wird, um ein Kennfeld für das Kompressionsverhältnis und korrigierte Luftströmungen zu erzeugen, das die Ermittlung von korrigierten Drehzahlkurven und Grenzzuständen für das Kompressorumpfen bei Volllast und bei Teillast erlaubt.

[0024] Schliesslich beschreibt das US-Patent Nr. 8 452 515 die Simulation des Verhaltens eines Gasturbinenkompressors.

KURZE BESCHREIBUNG

[0025] Bei einem Aspekt wird ein System zum Testen einer Rotationsmaschine bereitgestellt. Das System enthält eine variable Last, die mit einer durch die Rotationsmaschine angetriebenen Welle verbunden ist, sowie einen Regler, der dazu eingerichtet ist, die Rotationsmaschine und die variable Last in einer geschlossenen Regelschleife zu regeln. Eine Veränderung in einem Lastwert der variablen Last verursacht eine Veränderung in der durch die Rotationsmaschine erzeugten Leistung. Der Regler ist ferner dazu eingerichtet, eine Antwortzeit zu bestimmen, die erforderlich ist, um die durch die Rotationsmaschine erzeugte Leistung und die durch die variable Last verbrauchte Leistung auszugleichen.

[0026] Bei einem anderen Aspekt wird ein Verfahren zum Testen einer Rotationsmaschine bereitgestellt. Das Verfahren enthält das Verbinden einer variablen Last mit einer von einer Rotationsmaschine angetriebenen Welle und das Regeln der Rotationsmaschine und der variablen Last in einer geschlossenen Regelschleife. Eine Veränderung in einem Lastwert der variablen Last verursacht eine Veränderung in einer durch die Rotationsmaschine erzeugten Leistung. Das Verfahren enthält auch das Bestimmen einer Antwortzeit, die notwendig ist, um die durch die Rotationsmaschine erzeugte Leistung und eine von der variablen Last verbrauchte Leistung auszugleichen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0027]

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines Gasturbinentestsystems;

Fig. 2 ist eine graphische Darstellung von beispielhaften Betriebsparametern des Gasturbinentestsystems aus Fig. 1;

Fig. 3 ist eine schematische Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Gasturbinentestsystems; und

Fig. 4 ist eine schematische Ansicht eines dritten Ausführungsbeispiels eines Gasturbinentestsystems.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0028] Die Ausführungsbeispiele eines Systems und eines Verfahrens, die hierin beschrieben sind, vereinfachen das Testen einer Rotationsmaschine, insbesondere einer Gasturbine, ohne das Ausführen eines Tests der Rotationsmaschine in einem elektrischen Netzwerk.

[0029] Daher vereinfachen und reduzieren die hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele die mit der Ausführung eines Tests einer solchen Rotationsmaschine verbundenen Risiken sowie die Ressourcen und die Zeitdauer, die zur Ausführung eines solchen Tests erforderlich sind.

[0030] Die hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen ein Rotationsmaschinentestsystem bereit, das eine fest mit der durch die Rotationsmaschine angetriebenen Welle verbundene variable Last, einen Regler, der in der Lage ist, eine Regelung der Rotationsmaschine und ihrer variablen Last in einer geschlossenen Regelschleife auszuführen, so dass die Lastveränderungen derselben eine Veränderung der durch die Rotationsmaschine erzeugten Last verursachen, sowie Mittel zur Bestimmung der Antwortzeit aufweist, die erforderlich ist, um die durch die Rotationsmaschine erzeugte Leistung und die durch die variable Last verbrauchte Leistung auszugleichen.

[0031] Daher erlauben die hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele das Verhalten einer Rotationsmaschine als Antwort auf eine Anforderung oder einen Vorfall innerhalb eines elektrischen Netzwerks, mit dem sie verbunden ist, zu ermitteln.

[0032] Ferner wird man feststellen, dass die Verwendung einer variablen Last das Simulieren eines Ereignisses in einem isolierten Netzwerk erlaubt, um die Leistungsfähigkeit der Rotationsmaschine zu testen, auf dieses Ereignis während Übergangsphasen zu antworten.

[0033] Ausserdem ermöglichen die hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele eine Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Rotationsmaschine Leistung für eine vorbestimmte Zeitdauer bei aktuellen Betriebszuständen ausserhalb ihres Nenn-drehzahlbereiches bereitzustellen.

[0034] Entsprechend einem Aspekt, ist die variable Last mit dem Regler gekoppelt, der die Veränderung des Lastwertes der variablen Last bestimmt.

[0035] Im Ausführungsmodus stellen die hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele Einrichtungen zur Messung der Drehzahl der Welle bereit, die mit dem Regler gekoppelt sind, und das Ausgleichen der produzierten und der verbrauchten Leistungen wird aus der gemessenen Drehzahl der Welle ermittelt.

[0036] Vorteilhafterweise weist die variable Last einen Kompressor mit Eingangsmitteln zum Einstellen der zugelassenen Luftströmung in den Einlass des Kompressors auf.

[0037] Wenn die variable Last ein Kompressor ist, kann der Regler ein Kompressor-Last-Kennfeld basierend auf der durch den Einlass des Kompressors zugelassenen Luftströmung enthalten. Dies wird Details des Lastwertes der variablen Last für eine gegebene Änderung in der in den Kompressor eintretenden Luftströmung bereitstellen.

[0038] Das Kennfeld kann im Voraus durch Simulation oder empirische Tests erhalten werden. Dadurch wird ein Referenzpunkt für den zu erreichenden Lastausgleich bereitgestellt, ohne dass zusätzliche Messmittel erforderlich sind.

[0039] Alternativ kann die variable Last einen Wechselstromgenerator aufweisen, der über einen Trennschalter mit einer ohmschen Last verbunden ist.

[0040] Die variable Last kann auch einen Wechselstromgenerator aufweisen, der über einen Trennschalter mit einem eine mechanische Last antreibendem Motor gekoppelt ist.

[0041] Entsprechend einem Ausführungsbeispiel weist die Rotationsmaschine eine Gasturbine auf und das System enthält Einrichtungen, um die Brennstoffströmung zum Betreiben der Gasturbine einzustellen, die durch den Regler gesteuert werden.

[0042] Das Testsystem kann auch Einrichtungen zur Steuerung der Fluidströmung zu der Gasturbine aufweisen, die durch den Regler betätigt werden.

[0043] Entsprechend einem zweiten Aspekt ist ein Testverfahren für eine Rotationsmaschine bereitgestellt, das das Verbinden einer variablen Last mit einer durch die Maschine angetriebenen Welle, das Regeln der Rotationsmaschine und seiner variablen Last in einer geschlossenen Regelschleife, derart, dass die Lastveränderung derselben eine Veränderung in der durch die Rotationsmaschine erzeugten Leistung verursacht, und das Ermitteln der Antwortzeit aufweist, die erforderlich ist, so dass die durch die Rotationsmaschine erzeugte Leistung und die durch die Last verbrauchte Leistung gleich sind.

[0044] Die Referenzkapazität der variablen Last, die zum Ausgleich zwischen der erzeugten Leistung und der verbrauchten Leistung erreicht werden sollte, kann von dem vorherbestimmten Kennfeld der Kompressorlast entsprechend zu der zugelassenen Luftströmung durch den Kompressoreinlass ermittelt werden.

[0045] Bei einem Aspekt ist die variable Last eine bei veränderlicher Drehzahl rotierende Last und der Ausgleich zwischen der erzeugten Leistung und der verbrauchten Leistung wird aus der Messung der Drehzahl der Welle ermittelt.

[0046] Zum Beispiel ist eine Gruppe von Lastveränderungswerten, die gemessenen Antwortzeiten der Rotationsmaschine zugeordnet sind, in einem Kennfeld gespeichert.

[0047] Vorteilhafterweise ist die rotierende Last ein Kompressor, dem Mittel zum Vorgeben der durch den Einlass des Kompressors zugelassenen Luftströmung zugeordnet sind, aufweisend zumindest ein Regelventil. Das Kennfeld speichert Ventileinstellungen und zugeordnete Drehzahlwerte.

[0048] Für jede Veränderung einer Ventileinstellung kann eine Amplitude und eine Frequenz der variablen Last ermittelt werden.

[0049] Fig. 1 ist eine schematische Ansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines Gasturbinentestsystems. In dem Ausführungsbeispiel ist das Testsystem dazu eingerichtet, eine Antwort einer Rotationsmaschine 1, in diesem Beispiel einer Gasturbine 1, folgend auf die Simulation eines Ereignisses in einem Netzwerk, das zu einer Frequenzveränderung führt, zu bestimmen. Die Gasturbine 1 enthält einen Kompressor 2, eine Expansionsturbine 3 und ein Verbrennungssystem 4.

[0050] Das Verbrennungssystem 4 ist mit einer Brennstoffzufuhrleitung 5 und einer Wasserzufuhrleitung 6 in Verbindung, von denen jede mit einem entsprechenden Regelventil 7 bzw. 8 ausgestattet ist.

[0051] Die Wassereinspritzung ist allgemein dazu verwendet, die Turbinenkapazität zu erhöhen oder das Emissionsniveau von NOx oder CO zu steuern.

[0052] Bei dem veranschaulichten Ausführungsbeispiel sind die Regelventile 7 und 8 durch einen Regler 10 in der Art gesteuert, dass eine Leistung der Gasturbine 1 durch Beaufschlagung des Brennstoffströmungsregelventils 7 und des Wasserströmungsregelventils 8 geregelt wird.

[0053] Ausserdem enthält das System eine variable Last 11, die an einer angetriebenen Welle 12 befestigt ist, die mit der Welle 12 der Gasturbine über eine Kopplung 14 verbunden ist.

[0054] Bei dem veranschaulichten Ausführungsbeispiel ist die variable Last 11 ein Kompressor, der zumindest ein Einstellventil 15 aufweist, das dazu eingerichtet ist, die Luftströmung (Pfeile F) die an einem Einlass des Kompressors der variablen Last zugelassen ist, zu regeln.

[0055] Daher kann zum Beispiel durch Verändern eines Winkels der Einstellventile 15 in dem Einlass des Kompressors der variablen Last, die verbrauchte Leistung durch den Kompressor der variablen Last verändert werden.

[0056] Wenn der Lastwert daher verändert wird, ändert sich die Drehzahl und die rotierende Maschine 1 muss auf die Veränderung des Lastwertes antworten, als ob es ein in einem elektrischen Verteilungsnetzwerk auftretendes Ereignis wäre.

[0057] Bei dem veranschaulichten Ausführungsbeispiel wird das Einstellen des zumindest einen Einstellventils 15 durch den Regler über einen Aktuator 16 gesteuert.

[0058] Der Regler 16 enthält sämtliche geeignete Hardware und ist dazu programmiert, die Rotationsmaschine 1 durch Ausführung einer geeigneten statischen Regelung zu regeln, gemäss der die produzierte Leistung automatisch an die verbrauchte Leistung angepasst wird, während eine statische Frequenzabweichung aufgrund von Veränderungen in der produzierten Leistung oder der verbrauchten Leistung belassen wird.

[0059] Ausserdem ist der Regler dazu eingerichtet, eine isochrone Leistungsregelung durch proportionale Veränderungen der Lastkapazität 11 als Funktion der Differenz zwischen der aktuellen Frequenz und einer Nennfrequenz, entsprechend einer Nenndrehzahl, auszuführen, um Frequenzänderungen oder Wellendrehzahländerungen einzuschränken.

[0060] Fig. 2 ist eine grafische Darstellung eines beispielhaften Betriebs des oben beschriebenen Gasturbinentestsystems. Die gestrichelte Linie C1 stellt den Lastwert oder die Kapazität dar, die durch variable Last 11 verursacht wird, die Kurve C3 stellt die durch die Rotationsmaschine 1 erzeugte Leistung dar und die Kurve C2 stellt die an der Welle gemessene Drehzahländerung des Systems dar.

[0061] In der ersten Phase I wird das Testsystem durch graduelles Erhöhen der Last der Rotationsmaschine 1 und der Drehzahl der variablen Last 11 auf seinen Ausgangsbetriebspunkt gebracht.

[0062] Sobald das System an dem Ausgangspunkt I stabil ist, wird die isochrone Regelung der Last unterbrochen. Mit anderen Worten, wird im Falle einer Veränderung der Produktion oder des Verbrauchs nur der statische Regler der Rotationsmaschine 1 die Leistungsfähigkeit einstellen, um einen Ausgleich zwischen der erzeugten und der verbrauchten Leistung sicherzustellen.

[0063] In der nachfolgenden Phase II beaufschlagt der Regler 10 die Einstellventile 15, um eine Veränderung eines vorbestimmten Lastwertes oder Nennleistungspunktes zu erzeugen, die durch Einstellung der durch den Einlass des Kompressors der variablen Last 11 zugelassenen Luftströmung erreicht wird. Wie in Fig. 2 veranschaulicht, verursacht das Beaufschlagen der Einstellventile 15 in der Phase II eine Veränderung des Lastwertes (Kurve C1) der variablen Last aus Fig. 1, was eine Veränderung in der Leistungsanforderung der Rotationsmaschine 1 bewirkt. Tatsächlich muss die Rotationsmaschine 1 unter der statischen Regelung ihre Kapazität (C3) erhöhen und der Regler beaufschlagt die Regelventile und/oder 8, um die durch die Gasturbine 1 bereitgestellte Leistung (Kurve C3) zu erhöhen.

[0064] Während dieser Phase führt die Erhöhung des Lastwertes zu einer Verringerung der Drehzahl, was eine Verringerung der Frequenz des Netzwerkes simuliert (C2).

[0065] Tatsächlich führt die Unausgeglichenheit zwischen der verbrauchten Leistung und der produzierten Leistung zu einer Veränderung der kinetischen Energie, die zwischen der Rotationsmaschine 1 und der variablen Last 11 ausgetauscht wird. Die Rotationsmaschine wird reagieren, um die erzeugte Leistung und die verbrauchte Leistung auszugleichen.

[0066] Es wird festzustellen sein, dass die durch den Regler 10 ausgeführte Regelung, das heisst die Veränderung der Luftströmung in den Einlass der variablen Last 11 und die durch die Rotationsmaschine 1 abgegebene Leistung, durch die variable Last verbrauchte Leistung ausgeglichen sind, basierend auf einem gemessenen Strom, der durch den Wechselstromgenerator bereitgestellt wird, eine Regelung in einem geschlossenen Regelkreis ist. Der mathematische Ausdruck, der die Beziehung zwischen dem Drehmoment und der Drehzahländerung in diesem geschlossenen System beschreibt, ist wie folgt:

$$J \frac{\delta\omega}{\delta t} = C_{ig} - C_c$$

wobei:

J das Trägheitsmoment ist;

$\delta\omega/\delta t$ die Drehzahländerung ist;

C_{ig} das Drehmoment der Gasturbine ist; und

C_c das Drehmoment der variablen Last ist.

[0067] Wenn folglich das Drehmoment der variablen Last C_c ansteigt, bis der Ausdruck $C_{ig}-C_c$ negativ wird, wird die Drehzahländerung negativ, was zu einer Abnahme der Drehgeschwindigkeit der Wellen 12 und 13 führt.

[0068] Es wird auch verstanden werden, dass die Veränderung der erzeugten mechanischen Energie die Veränderung der verbrauchten mechanischen Energie zu dem Zeitpunkt erreicht, wenn die Ableitung der Drehzahl der Welle oder die «Wellendrehzahländerung» gleich Null ist, d.h.

$$\frac{\delta\omega}{\delta t} = 0$$

[0069] Folglich wird, wie in Fig. 2 veranschaulicht, ein Ausgleich zwischen der erzeugten Leistung und der verbrauchten Leistung bei einem minimalen Frequenzwert im Fall einer positiven Veränderung des Verbrauchs erreicht. Entsprechend wird ein Ausgleich der Leistung für einen maximalen Frequenzwert in dem Fall einer negativen Änderung des Verbrauchs erreicht (nicht dargestellt).

[0070] Das Testsystem enthält einen Drehzahlsensor 18 (in Fig. 1 dargestellt), der mit den Wellen 12, 13 funktionsgekoppelt und dazu eingerichtet ist, die Drehzahl der Wellen 12 und 13 zu messen. Der Regler 10 verwendet den Drehzahlsensor 18, um eine direkte Messung der Drehzahl der Maschinen zu erhalten. Basierend auf der Tatsache, dass der Ausgleich der erzeugten Leistung und der verbrauchten Leistung bei einer veränderungsfreien Wellendrehzahl erreicht ist, kann der Regler 10 daher den Punkt der kinetischen Stabilität ermitteln. Der Regler 10 ist dazu eingerichtet, die Antwortzeit der Rotationsmaschine 1 bis zu dem Punkt der kinetischen Stabilität durch direkte Messung der Drehzahl der Maschinen messen, was den Erhalt einer präzisen Messung der Antwortzeit ermöglicht.

[0071] Es wird festzustellen sein, dass das Testsystem, das beschrieben wurde, die Veränderung des Lastwertes der variablen Last 11 durch Beaufschlagung der Einstellventile 15 des Kompressors der variablen Last steuert. Das System misst und speichert die Werte der Antwortzeit, die notwendig ist, um den Ausgleich zwischen der erzeugten Leistung und der verbrauchten Leistung für unterschiedliche Einstellungen der Einstellventile 15 zu erhalten. Die Antwortzeitwerte werden dann in einem Kennfeld gespeichert, das die Ermittlung einer Leistungsänderung der Last 11 entsprechend einer Winkeländerung der Einstellventile 15 in dem Einlass des Kompressors der variablen Last ermöglicht.

[0072] Es wird auch festzustellen sein, dass in den nachfolgenden Phasen III, IV, V und VI die kinetische Energie des Kompressors der variablen Last graduell wieder hergestellt und die durch die Rotationsmaschine erzeugte Leistung graduell um die verbrauchte Leistung geregelt wird.

[0073] Es versteht sich, dass die Offenbarung nicht auf das vorstehend beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt ist.

[0074] Tatsächlich ist Fig. 3 eine schematische Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Gasturbinentestsystems. In Fig. 3 haben Elemente, die mit denen aus Fig. 1 identisch sind, dieselben Bezugszeichen. Die Gasturbine, die

wie zuvor einen mit einer Turbine 3 gekoppelten Kompressor 2 aufweist, kann mit einer variablen Last 11 gekoppelt sein, die einen Wechselstromgenerator 20 aufweist, der über einen Trennschalter 23 mit einem Motor 21 gekoppelt ist. Der Motor 21 ist mit einer mechanischen Last 23 gekoppelt. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel besteht eine Beziehung zwischen der mechanischen Leistung, die den Motor antreibenden Welle und der durch die Rotationsmaschine 1 erzeugten elektrischen Leistung.

[0075] Das veranschaulichte Ausführungsbeispiel ermöglicht das Simulieren des Verhaltens eines Elektrizitätserzeugungssystems, das mit einem Generator gekoppelt ist, der von einer erneuerbaren Energiequelle versorgt wird. Daher erlaubt das veranschaulichte Ausführungsbeispiel die Simulation des Effekts eines plötzlichen Verlusts von erneuerbarer Energie, unterbrochen durch die Natur, wie etwa Windenergie.

[0076] Fig. 4 ist eine schematische Ansicht eines dritten Ausführungsbeispiels eines Gasturbinentestsystems. In Fig. 4 tragen Elemente, die identisch sind mit solchen aus Fig. 1, dieselben Bezugszeichen. Bei dem veranschaulichten Ausführungsbeispiel enthält die variable Last einen Wechselstromgenerator 24, der über einen Trennschalter 26 mit einem Widerstand 25 gekoppelt ist.

[0077] Bei dem veranschaulichten Ausführungsbeispiel wird der Ausgleich erreicht, denn die elektrische Leistung des Wechselstromgenerators 24 gleich ist wie die von dem Widerstand 25 verbrauchte elektrische Leistung. Es wird festzustellen sein, dass der Austausch zwischen dem Wechselstromgenerator und dem Widerstand hier ausschliesslich elektrisch ist, so dass der Ausgleich der erzeugten und der verbrauchten Leistung durch die Messung des von dem Wechselstromgenerator bereitgestellten Stroms ermittelt werden kann.

[0078] Die Ausführungsbeispiele eines Systems und eines Verfahrens, wie sie hierin beschreiben sind, stellen einen Vorteil beim Ermöglichen des Tests einer Rotationsmaschine, insbesondere einer Gasturbine, zur Verfügung ohne das Ausführen eines Tests der Maschine in einem elektrischen Netzwerk. Daher vereinfachen und reduzieren die hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele, die Risiken, die mit dem Ausführen eines solchen Tests von einer solchen Rotationsmaschine verknüpft sind sowie die Ressourcen und die erforderliche Dauer solch einen Test durchzuführen.

[0079] Die hierin beschriebenen Verfahren und Systeme sind nicht auf hierin beschriebene spezifische Ausführungsbeispiele beschränkt. Zum Beispiel können Komponenten jedes Systems und/oder Schritte jedes Verfahrens unabhängig und separat von anderen hierin beschriebenen Komponenten und/oder Schritten verwendet und/oder ausgeführt werden. Ausserdem kann jede Komponente und/oder jeder Schritt auch mit anderen Einrichtungen und Verfahren verwendet und/oder ausgeführt werden.

[0080] Während die Offenbarung gemäss verschiedener spezifischer Ausführungen beschrieben wurde, werden Fachleute erkennen, dass die Offenbarung mit Modifikationen innerhalb des Erfindungsgedankens und des Schutzbereichs der Ansprüche ausgeführt werden kann. Obwohl spezifische Merkmale der verschiedenen Ausführungsbeispiele der Offenbarung in einigen Zeichnungen und nicht in anderen dargestellt sind, ist dies nur der Einfachheit halber. Ferner sind Bezugnahme auf «ein Ausführungsbeispiel» in der vorstehenden Beschreibung nicht dazu gedacht, als das Vorhandensein von zusätzlichen Ausführungsbeispielen ausschliessend interpretiert zu werden, die die genannten Merkmale auch aufweisen. In Übereinstimmung mit den Prinzipien der Offenbarung, kann jedes Merkmal einer Zeichnung in Kombination mit jedem Merkmal einer anderen Zeichnung in Bezug genommen und/oder beansprucht werden.

[0081] Ein System zum Testen einer Rotationsmaschine 1 enthält eine variable Last 11, die mit einer durch die Rotationsmaschine angetriebenen Welle 12, 13 gekoppelt ist und einen Regler 10, der dazu eingerichtet ist, die Rotationsmaschine und die variable Last in einer geschlossenen Schleife zu regeln. Eine Veränderung im Lastwert der variablen Last 11 verursacht eine Veränderung, in der durch die Rotationsmaschine 1 erzeugten Leistung. Der Regler 10 ist ferner dazu eingerichtet, eine Antwortzeit zu ermitteln, die erforderlich ist, um die von der Rotationsmaschine 1 erzeugte Leistung und eine durch die variable Last 11 verbrauchte Leistung auszugleichen.

Bezugszeichenliste

[0082]

Rotationsmaschine (Gasturbine)	1
Kompressor	2
Turbine	3
Verbrennungssystem	4
Brennstoffzufuhrleitung	5
Wasserzufuhrleitung	6
Regelventil	7
Wasserströmungsregelventil	8

Regler	10
Variable Last	11
Welle (der variablen Last)	12
Welle (der Gasturbine)	13
Kopplung	14
Wenigstens ein Einstellventil	15
Aktuator	16
Drehzahlsensor	18
Wechselstromgenerator	20
Motor	21
Trennschalter	22
Mechanische Last	23
Wechselstromgenerator	24
Widerstand	25
Trennschalter	26

Patentansprüche

1. System zum Testen einer Rotationsmaschine, wobei das System aufweist:
eine variable Last (11), die mit einer Welle (12, 13) verbunden ist, die durch die Rotationsmaschine angetrieben ist; und
einen Regler (10), der dazu eingerichtet ist die Rotationsmaschine und die variable Last (11) in einer geschlossenen Regelschleife zu regeln, so dass eine Veränderung in einem Lastwert der variablen Last (11) eine Veränderung in einer durch die Rotationsmaschine erzeugten Leistung verursacht, wobei der Regler (10) ausserdem dazu eingerichtet ist, eine Antwortzeit zu ermitteln, die notwendig ist, um die durch die Rotationsmaschine erzeugte Leistung und eine durch die variable Last verbrauchte Leistung auszugleichen.
2. System nach Anspruch 1, wobei der Regler (10) ausserdem dazu eingerichtet ist, die Variation des Lastwertes der variablen Last (11) zu steuern und/oder zu regeln.
3. System nach Anspruch 1 oder 2, ausserdem aufweisend einen Sensor (18), der mit der Rotationsmaschine funktionsgekoppelt ist, wobei der Sensor dazu eingerichtet ist, eine Drehzahl der Welle zu messen, wobei der Regler ausserdem dazu eingerichtet ist, basierend auf der gemessenen Drehzahl zu ermitteln, ob die durch die Rotationsmaschine erzeugte Leistung und die durch die variable Last verbrauchte Leistung ausgeglichen sind.
4. System nach einen der vorhergehenden Ansprüche, wobei die variable Last (11) einen Kompressor aufweist, der zumindest ein Einstellventil (15) aufweist, das dazu eingerichtet ist, eine Luftströmung durch einen Einlass des Kompressors der variablen Last zu regulieren.
5. System nach Anspruch 4, wobei der Regler (10) ausserdem dazu eingerichtet ist, das zumindest eine Einstellventil (15) einzustellen, um die Veränderung in dem Lastwert der variablen Last (11) zu steuern.
6. System nach Anspruch 4 oder 5, wobei der Regler (10) ein Kompressor-Last-Kennfeld aufweist, das Einstellungen des zumindest einen Einstellventils (15) und zugehörige Lastwerte der variablen Last speichert; und wobei das Kompressor-Last-Kennfeld vorzugsweise ausserdem zugehörige Wellendrehzahlwerte speichert.
7. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die variable Last einen Wechselstromgenerator (24) aufweist, der mit einer ohmschen Last (25) über einen Trennschalter (26) verbunden ist.
8. Das System nach Anspruch 7, wobei der Regler ausserdem dazu eingerichtet ist, basierend auf einem gemessenen, von dem Wechselstromgenerator bereitgestellten Strom zu ermitteln, ob die durch die Rotationsmaschine erzeugte Leistung und die durch die variable Last verbrauchte Leistung ausgeglichen sind.
9. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die variable Last einen Wechselstromgenerator (20) aufweist, der mit einem Motor (21) über einen Trennschalter (22) verbunden ist, wobei der Motor dazu eingerichtet ist, eine mechanische Last (23) anzutreiben.
10. Verfahren zum Testen einer Rotationsmaschine, wobei das Verfahren aufweist:

CH 709 033 A2

Verbinden einer variablen Last mit einer durch die Rotationsmaschine angetriebenen Welle;
Regeln der Rotationsmaschine und der variablen Last in einer geschlossenen Regelschleife, wobei eine Veränderung in einem Lastwert der variablen Last eine Veränderung in der durch die Rotationsmaschine erzeugten Leistung bewirkt; und
Ermitteln einer Antwortzeit, die erforderlich ist, um die durch die Rotationsmaschine erzeugte Leistung und eine durch die variable Last verbrauchte Leistung auszugleichen.

FIG.1

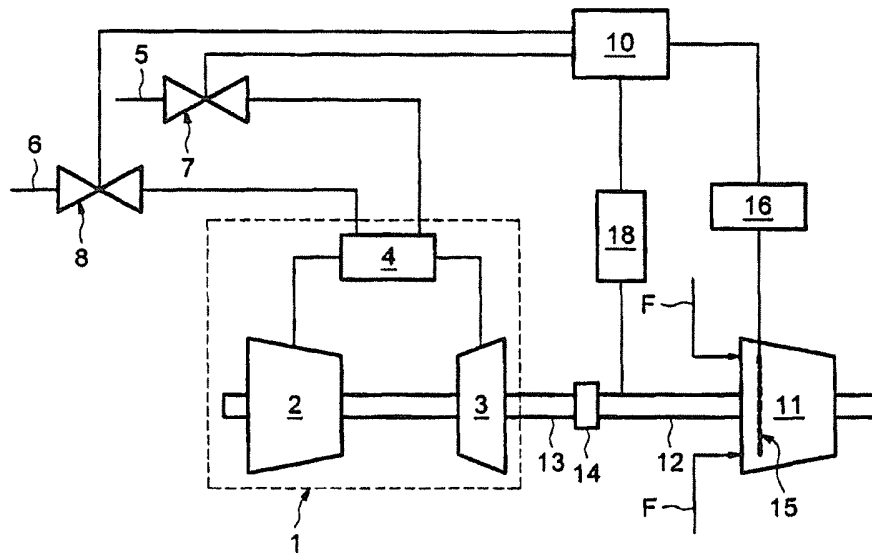


FIG.2

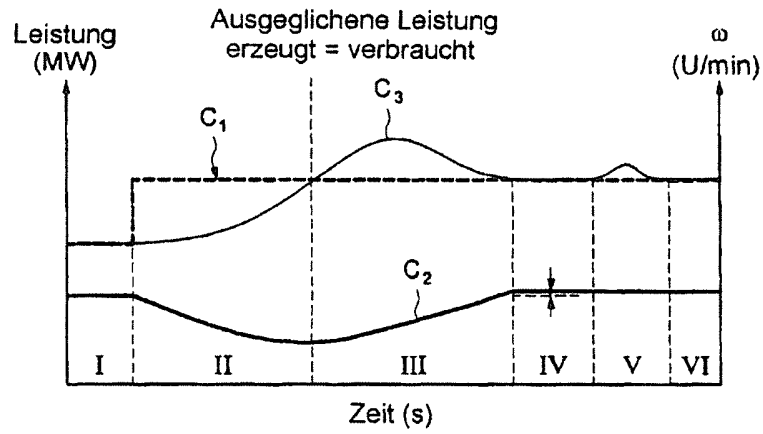
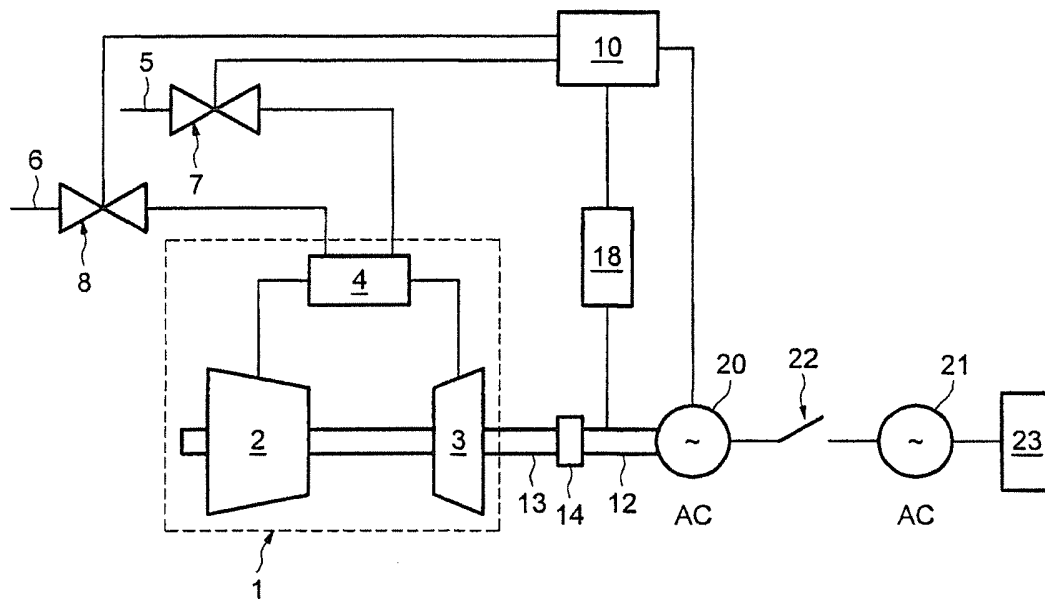


FIG.3FIG.4