



(10) **DE 10 2010 061 289 B4** 2025.01.30

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 061 289.8**
(22) Anmeldetag: **16.12.2010**
(43) Offenlegungstag: **30.06.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **30.01.2025**

(51) Int Cl.: **G01N 29/14 (2006.01)**
G01M 15/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
12/644,327 22.12.2009 US

(73) Patentinhaber:
General Electric Technology GmbH, Baden, CH

(74) Vertreter:
**Rüger Abel Patentanwälte PartGmbH, 73728
Esslingen, DE**

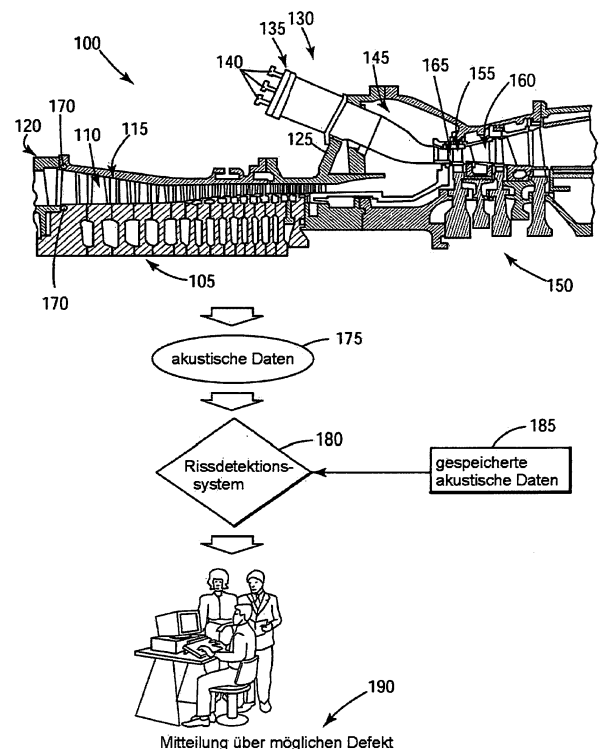
(72) Erfinder:
**Kinzie, Kevin W., Greenville, S.C., US; Shieh,
Chingwei M., Schenectady, N.Y., US; Lee, Dongjai,
Greenville, S.C., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	41 27 395	A1
US	2002 / 0 059 831	A1
US	2002 / 0 157 471	A1
JP	S62- 22 060	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zur Detektion eines Risses auf einer Turbomaschinenschaufel**

(57) Hauptanspruch: Verfahren (400) zum Detektieren eines möglichen Risses an einer Schaufel (110, 115), die sich in einem Verdichterabschnitt (105) einer Turbomaschine (100) befindet, wobei das Verfahren (400) aufweist: Bereitstellen einer Turbomaschine (100), die aufweist: einen Verdichterabschnitt (105), wobei der Verdichterabschnitt (105) mehrere Schaufeln (110, 115) aufweist; und eine akustische Detektionsvorrichtung (170), die eingerichtet ist, um den Verdichterabschnitt (105) zu überwachen, während die Turbomaschine (100) arbeitet, wobei die akustische Detektionsvorrichtung (170) akustische Daten (410) empfängt, die die mehreren Schaufeln (110, 115) betreffen; Verwenden der akustischen Daten, um eine akustische Signatur zu generieren (420), die den mehreren Schaufeln (110, 115) entspricht; Abrufen einer in Beziehung stehenden akustischen Signatur von einer Speichervorrichtung (430); Vergleichen der akustischen Signatur mit der in Beziehung stehenden akustischen Signatur (420, 430); und Feststellen, ob die akustische Signatur innerhalb eines zulässigen Bereiches liegt (420); wobei eine Feststellung, dass die akustische Signatur außerhalb des zulässigen Bereiches liegt, eine Wahrscheinlichkeit eines Risses an wenigstens einer der mehreren Schaufeln (110, 115) anzeigt; dadurch gekennzeichnet, dass die in Beziehung stehende akustische Signatur von wenigstens einer anderen Turbomaschine (100) und/oder einer Flotte von Turbomaschinen abgeleitet ist.



Beschreibung**HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein einen Verdichterabschnitt einer Turbomaschine und insbesondere ein Verfahren zum Detektieren eines möglichen Risses auf einer Schaufel des Verdichterabschnitts.

[0002] Turbomaschinen, wie beispielsweise, jedoch nicht darauf beschränkt, luftatmende Verbrennungsturbinen, weisen einen Verdichterabschnitt mit mehreren Laufschaufeln auf, die in mehreren Rotorstufen angeordnet sind. Während eines normalen Betriebs kann die Spitzengeschwindigkeit dieser Laufschaufeln bei Schall- oder Überschallgeschwindigkeiten liegen. Ein Riss in einer Schaufel kann die gesamte Turbomaschine ernsthaft beschädigen, falls sich diese Schaufel während eines normalen Betriebs ablöst.

[0003] Derzeit bekannte Verfahren zur Rissdetektion werden normalerweise durch einen statischen Inspektionsprozess vorgenommen, während die Turbomaschine außer Betrieb ist. Jedoch erfordern diese Verfahren die Abschaltung der Turbomaschine. Hier sind die Turbinenmaschinenbetreiber eher abgeneigt, den Betrieb der Turbomaschine anzuhalten.

[0004] DE 41 27 395 A1 beschreibt ein Verfahren und System zum Detektieren eines möglichen Risses an einer Turbinenschaufel, die die Merkmale der Oberbegriffe der unabhängigen Ansprüche 1 und 5 aufweisen. Es wird durch eine Klangprobe ein Schallspektrum der Turbinenschaufel am Turbinengehäuse erzeugt und aufgenommen und mit einem gespeicherten Bezugsspektrum vom Ursprungszustand der Turbine verglichen.

[0005] US 2002 / 0 059 831 A1 beschreibt ein System und Verfahren zur akustischen Inspektion eines beschauften Laufrads, wobei eine Schaufel des in Rotation versetzten Laufrads einer mechanischen Anregung ausgesetzt wird, aus der aufgenommenen akustischen Antwort ein elektrisches Signal generiert und daraus durch FFT eine Frequenzantwort ermittelt wird, charakteristische Frequenzen der Frequenzantwort mit denen einer idealen Frequenzantwort verglichen werden und als Ergebnis des Vergleichs Fehler, z.B. Risse, in der Schaufel detektiert werden.

[0006] US 2002 / 0 157 471 A1 beschreibt ein System und Verfahren zur Überwachung des Zustands einer Wärmeschutzbeschichtung auf Leit- oder Laufschaufeln einer Turbine durch Überwachung der Änderung der Amplitude der elektrischen Signale, die von empfangenen akustischen Signalen erhalten werden, im Zeitbereich und/oder durch Überwa-

chung der Änderung der Amplitude der Schallwellen bei speziellen Frequenzen mittels eines Spektrumanalysators.

[0007] JP S62- 22 060 A beschreibt ein System und Verfahren zur Detektion von Rissen in einer Turbinenlaufschaufel auf der Basis von aufgenommenen Schallwellen und eines Vergleichs mit normalen oder standardgemäßen Messwerten.

[0008] Es besteht weiterhin ein Bedarf nach einem verbesserten Verfahren zur Detektion eines Risses an der Laufschaufel. Das Verfahren sollte in der Lage sein, einen möglichen Riss zu detektieren, während die Turbomaschine arbeitet, wodurch der Turbomaschine ermöglicht wird, zwischen außer Betrieb durchgeführten Inspektionen bezüglich einer Rissbildung an der Schaufel länger zu arbeiten.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0009] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Detektion eines möglichen Risses an einer Schaufel, die in einem Verdichterabschnitt einer Turbomaschine angeordnet ist, geschaffen, wobei das Verfahren aufweist: Bereitstellen einer Turbomaschine, die aufweist: einen Verdichterabschnitt, wobei der Verdichterabschnitt mehrere Laufschaufeln aufweist, und eine akustische Detektionsvorrichtung, die eingerichtet ist, um den Verdichterabschnitt zu überwachen, während die Turbomaschine arbeitet, wobei die akustische Detektionsvorrichtung akustische Daten empfängt, die die mehreren Schaufeln betreffen; Verwenden der akustischen Daten, um eine akustische Signatur, die den mehreren Schaufeln entspricht, zu erzeugen; Abrufen einer in Beziehung stehenden akustischen Signatur von einer Speichervorrichtung; Vergleichen der akustischen Signatur mit einer in Beziehung stehenden akustischen Signatur; und Feststellen, ob die akustische Signatur innerhalb eines zulässigen Bereiches liegt; wobei eine Feststellung, dass die akustische Signatur außerhalb des zulässigen Bereiches liegt, eine Wahrscheinlichkeit eines Risses an wenigstens einer der mehreren Laufschaufeln anzeigt. Gemäß der Erfindung ist die in Beziehung stehende akustische Signatur von wenigstens einer anderen Turbomaschine und/oder einer Flotte von Turbomaschinen abgeleitet.

[0010] In einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein System zur Detektion des Vorliegens eines Risses an einer Laufschaufel innerhalb einer Gasturbine geschaffen, wobei das System aufweist: eine Gasturbine, die mehrere Laufschaufeln aufweist; eine akustische Detektionsvorrichtung, die eingerichtet ist, um den Betrieb der Gasturbine zu überwachen, wobei die akustische Detektionsvorrichtung akustische Daten empfängt, die die mehreren Schaufeln betreffen, und benachbart zu dem Ver-

dichterabschnitt angeordnet ist; ein Steuersystem, wobei das Steuersystem die Schritte ausführt: Verwenden der akustischen Daten, um eine akustische Signatur, die den mehreren Schaufeln entspricht, zu erzeugen; Abrufen einer in Beziehung stehenden akustischen Signatur von einer Speichervorrichtung; Vergleichen der akustischen Signatur mit einer in Beziehung stehenden akustischen Signatur; und Feststellen, ob die akustische Signatur innerhalb eines zulässigen Bereiches liegt. Gemäß der Erfindung ist die in Beziehung stehende akustische Signatur von wenigstens einer anderen Gasturbine und/oder einer Flotte von Gasturbinen abgeleitet.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 zeigt eine schematisierte Darstellung einer Umgebung, in der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung arbeiten kann.

Fig. 2 zeigt eine schematisierte Querschnittsdarstellung eines Beispiels einer umlaufenden Schaufel des in **Fig. 1** veranschaulichten Verdichterabschnitts.

Fig. 3 zeigt ein Diagramm, das ein Beispiel einer Frequenzantwortkurve veranschaulicht, die entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt wurde.

Fig. 4 zeigt ein Blockschaltbild, das ein Verfahren zur Überwachung eines Verdichters einer Turbomaschine entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0011] Die vorliegende Erfindung weist den technischen Effekt der Überwachung einer arbeitenden Turbomaschine hinsichtlich der Möglichkeit eines Risses an einer Laufschaufel einer Turbomaschine auf. Die Turbomaschine kann die Form einer luftatmenden Verbrennungsturbine, wie beispielsweise, jedoch nicht darauf beschränkt, einer Hochleistungsgasturbine, einer aeroderivativen Gasturbine, eines Flugtriebwerks oder eines sonstigen Motors, Triebwerks oder einer sonstigen Maschine oder Anlage, die einen Verdichter aufweist, und dergleichen, haben. Außerdem ist obwohl Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in Bezug auf eine Gasturbine beschrieben sind, die Anwendung der vorliegenden Erfindung nicht auf eine Gasturbine beschränkt. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können auf andere Maschinen angewandt werden, die mehrere Laufschaufeln aufweisen, die hierin gegebenenfalls nicht beschrieben sind. Obwohl Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in Bezug auf eine Laufschaufel eines Verdichterabschnitts in einer Turbomaschinenanwendung der vorliegenden Erfindung beschrieben sind, ist die

vorliegende Erfindung nicht auf eine Turbomaschine beschränkt, die einen Verdichterabschnitt mit mehreren Laufschaufeln aufweist. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können auf Turbomaschinen, die keinen Verdichterabschnitt aufweisen, wie beispielsweise, jedoch nicht darauf beschränkt, auf eine Dampfturbine oder dergleichen, angewandt werden.

[0012] Beispielhafte Ausführungsformen sind hierin detailliert beschrieben. Jedoch sind spezifische strukturelle und funktionelle Einzelheiten, wie sie hierin offenbart sind, lediglich für die Zwecke der Beschreibung beispielhafter Ausführungsformen repräsentativ. Beispielhafte Ausführungsformen können jedoch in vielen alternativen Formen realisiert sein und sollten nicht als lediglich auf die hierin angegebenen Ausführungsformen beschränkt aufgefasst werden.

[0013] Während beispielhafte Ausführungsformen verschiedene Modifikationen und alternative Formen aufnehmen können, sind deren Ausführungsformen in den Figuren als ein Beispiel veranschaulicht und hierin in Einzelheiten beschrieben. Es sollte jedoch verstanden werden, dass keine Absicht besteht, die beispielhaften Ausführungsformen auf die speziellen offenbarten Formen zu beschränken, sondern dass die beispielhaften Ausführungsformen im Gegenteil alle Modifikationen, Äquivalente und Alternativen mit umfassen sollen, die in den Rahmen der beispielhaften Ausführungsform fallen.

[0014] Es ist zu verstehen, dass, obwohl die Ausdrücke „erste(r,s)“, „zweite(r,s)“, etc. hierin verwendet werden können, um verschiedene Elemente zu beschreiben, diese Elemente durch diese Ausdrücke nicht beschränkt sein sollten. Diese Ausdrücke werden lediglich dazu verwendet, ein Element von einem anderen zu unterscheiden. Z.B. könnte ein erstes Element als ein zweites Element bezeichnet werden, und in ähnlicher Weise könnte ein zweites Element als ein erstes Element bezeichnet werden, ohne dass von dem Rahmen der beispielhaften Ausführungsformen abgewichen wird. In dem hierin verwendeten Sinne umfasst der Ausdruck „und/oder“ jedes Element und alle Kombinationen von einem oder mehreren der zugehörigen aufgezählten Elemente.

[0015] Die hierin verwendete Terminologie dient lediglich der Beschreibung bestimmter Ausführungsformen und soll für die beispielhaften Ausführungsformen nicht beschränkend sein. Wie hierin verwendet, sollen die Singularformen „ein“, „eine“ und „der“, „die“ und „das“ auch die Pluralformen umfassen, sofern aus dem Kontext nicht deutlich das Gegenteil hervorgeht. Es ist ferner zu verstehen, dass die Ausdrücke „aufweist“, „aufweisend“, „enthält“ und/oder „enthaltend“, wie sie hierin verwendet werden, das Vorhandensein der angegebenen Merkmale, Ganz-

zahlen, Schritte, Operationen, Elemente und/oder Komponenten spezifizieren, das Vorhandensein oder die Aufnahme eines oder mehrerer weiterer Merkmale, Ganzzahlen, Schritte, Operationen, Elemente, Komponenten und/oder deren Gruppen nicht ausschließen.

[0016] Es sollte ferner beachtet werden, dass in einigen alternativen Realisierungen die erwähnten Funktionen/Wirkungen in einer anderen Reihenfolge, als in den Figuren erwähnt, erfolgen könnten. Z.B. können zwei aufeinanderfolgende Funktionen/Wirkungen gemäß den Figuren im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden, oder sie können manchmal je nach der umfassten Funktionalität bzw. den umfassten Operationen in der umgekehrten Reihenfolge ausgeführt werden.

[0017] Es wird nun auf die Figuren Bezug genommen, in denen verschiedene Bezugszeichen überall in den verschiedenen Ansichten gleiche Teile bezeichnen. **Fig. 1** zeigt eine schematisierte Darstellung einer Umgebung, in der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung arbeiten kann. Die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können eine Turbomaschine 100 aufweisen, die akustische Daten 175 erzeugt, die von einem Rissdetektionssystem 180 empfangen werden. Gespeicherte akustische Daten 185 können ebenfalls zu dem Rissdetektionssystem 180 gesandt werden, das eine Meldung oder Mitteilung 190 über die Möglichkeit eines Risses an wenigstens einer Laufschaufel des Verdichterabschnitts 105 liefern kann.

[0018] In **Fig. 1** enthält die Turbomaschine in Form einer Gasturbine 100: einen Verdichterabschnitt 105; ein Verbrennungssystem 130 und einen Turbinenabschnitt 150. Allgemein enthält der Verdichterabschnitt 105 mehrere stationäre Leitschaufeln 110 und Laufschaufeln 115, die strukturiert sind, um an dem Einlassabschnitt 125 angesaugte Luft zu verdichten. Der Verdichterabschnitt 105 kann ferner wenigstens eine akustische Detektionsvorrichtung 170 enthalten. Hier kann die akustische Detektionsvorrichtung 170 als ein nicht beschränkendes Beispiel die Form eines Mikrofons oder einer sonstigen eine Schallwelle erfassenden Vorrichtung einnehmen. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können auf einen Verdichterabschnitt 105 angewandt werden, der bei einem Bläser(Fan)- oder einem Turbofan-Abschnitt integriert ist (in **Fig. 1** nicht veranschaulicht).

[0019] Der Verbrennungsabschnitt 130 kann mehrere Rohrbrennkammern 135 (wobei lediglich eine einzelne veranschaulicht ist), mehrere Brennstoffdüsen 140 und mehrere Übergangsabschnitte 145 (wobei lediglich ein einzelner veranschaulicht ist) enthalten. Die mehreren Rohrbrennkammern 135 können mit einer (nicht veranschaulichten) Brenn-

stoffquelle verbunden sein. Innerhalb jeder Rohrbrennkammer 135 wird komprimierte Luft von dem Verdichterabschnitt 105 empfangen und mit einem von der Brennstoffquelle empfangenen Brennstoff vermischt. Das Luft- und Brennstoff-Gemisch wird gezündet und erzeugt ein Arbeitsfluid. Das Arbeitsfluid strömt im Wesentlichen von dem hinteren Ende der mehreren Brennstoffdüsen 140 in stromabwärtiger Richtung durch den Übergangsabschnitt 145 hindurch in den Turbinenabschnitt 150 hinein.

[0020] Der Turbinenabschnitt 150 kann mehrere umlaufende Komponenten 155, mehrere stationäre Komponenten 160 und mehrere Radzwischenraumbereiche 165 enthalten. Allgemein wandelt der Turbinenabschnitt 150 das Arbeitsfluid in ein mechanisches Drehmoment um, das verwendet wird, um eine (nicht veranschaulichte) Last anzutreiben.

[0021] **Fig. 2** zeigt einen schematisierten Querschnitt, der ein Beispiel einer Laufschaufel 115 des in **Fig. 1** veranschaulichten Verdichterabschnitts 105 veranschaulicht. **Fig. 2** liefert allgemeine Informationen in Bezug auf bestimmte dimensionale Eigenschaften einer typischen Laufschaufel 115, die sich innerhalb einer Stufe des Verdichterabschnitts 105 befinden kann. Der Querschnitt veranschaulicht einen Abschnitt der Laufschaufel 115 in der Nähe der radial äußeren Spitze, der Schallgeschwindigkeit oder Überschallgeschwindigkeiten erfährt. Der Winkel θ repräsentiert einen Staffelungswinkel der Laufschaufel 115 in dem speziellen veranschaulichten Abschnitt. Der Staffelungswinkel liegt zwischen der wahren Sehne 119 in dem Abschnitt und der Drehachse X-X der Gasturbine 100. Wie veranschaulicht, kennzeichnet „t“ die Dicke an einer Stelle 120 und stellt die Vorderkantendicke des Abschnitts dar. Die Stelle 120 ist eine Stelle an der Laufschaufel 115, die für die Schaufeldicke, an dem der Luftstrom 117 angreift, kennzeichnend ist.

[0022] Wenn die Laufschaufeln 115 bei Überschallgeschwindigkeiten der Spitze betrieben werden, werden Schockwellen erzeugt. Die Schockwellen sind das Ergebnis kleiner Unterschiede in der Geometrie benachbarter Laufschaufeln 115. Die Schockwellen erzeugen eine akustische Signatur, die gewöhnlich als mehrere reine Töne (MPT, Multiple Pure Tones) bezeichnet wird. Eine akustische MPT-Signatur wird durch akustische Töne erzeugt, die bei ganzzahligen Vielfachen der Wellendrehzahl erzeugt werden. Die Amplitude dieser akustischen Töne ist für den speziellen Staffelungswinkel jeder Laufschaufel 115 innerhalb jeder Stufe des Verdichterabschnitts 105 eindeutig.

[0023] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ergeben ein Verfahren zum Feststellen, ob sich der Staffelungswinkel verändert, was möglicherweise das Vorliegen eines Risses an der Laufschaufel

fel 115 anzeigen kann. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können die MPT-Signatur des Verdichterabschnitts 105 überwachen und eine Veränderung der MPT-Signatur automatisch detektieren. Diese Veränderung kann anzeigen, dass sich der Staffelungswinkel wenigstens einer Laufschaufel 115 verändert, was darauf hindeutet, dass ein Riss in der Laufschaufel 115 entsteht. Ausführungsformen dieses Verfahrens können den Verdichterabschnitt 105 überwachen, während die Gasturbine 100 arbeitet.

[0024] Fig. 3 zeigt ein Diagramm 300, das ein Beispiel einer Frequenzantwortkurve veranschaulicht, die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt wurde. Fig. 3 veranschaulicht, wie eine MPT-Signatur gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt werden kann. Die Frequenzbandamplitude 305 repräsentiert die Schockwellendaten, die bei einem 1/3-Oktave-Bandpegel aufgenommen wurden. Die akustische Signatur 310 repräsentiert die Schockwellendaten, die unter einem schmäleren Spektrum der Frequenzbandamplitude aufgenommen wurden. Diese Schockwellen können sich stromaufwärts durch den Einlassabschnitt 125 ausbreiten und die akustische Signatur 310 ergeben. Das schmalere Frequenzbandamplitudenspektrum, das einer spezifischen akustischen Signatur 310 zugeordnet ist, kann Schmalbandtöne liefern, die für Veränderungen des Staffelungswinkels äußerst empfindlich sind. Die Frequenzbandamplitude 305 und die akustische Signatur 310 sind gewöhnlich für geometrische Schwankungen zwischen Schaufeln und den Staffelungswinkel unter den Laufschaufeln 115 eindeutig.

[0025] Die vorliegende Erfindung kann in Echtzeit eine MPT-Bezugssignatur für eine neue oder „gesunde“ (einwandfreie) Gasturbine 100 erzeugen, während die Gasturbine 100 arbeitet. Veränderungen gegenüber dieser MPT-Bezugssignatur können für eine Veränderung der Geometrie und des Staffelungswinkels der Laufschaufel 115 kennzeichnend sein. Während ein Riss entsteht, kann sich die Auslenkung der Spitze der Laufschaufel 115 verändern, wodurch sich die MPT-Signatur verändert.

[0026] Wie verständlich ist, kann die vorliegende Erfindung als ein Verfahren, System oder Computerprogrammprodukt realisiert werden. Demgemäß kann die vorliegende Erfindung die Form einer vollständig in Hardware realisierten Ausführungsform, einer vollständig in Software realisierten Ausführungsform (einschließlich Firmware, residenter Software, Mikrocode etc.) oder einer Ausführungsform einnehmen, die Software- und Hardwaremerkmale miteinander kombiniert, wobei alle hierin allgemein als „Schaltung“, „Modul“ oder „System“ bezeichnet werden. Ferner kann die vorliegende Erfindung die Form eines Computerprogrammproduktes auf

einem computernutzbaren Speichermedium einnehmen, das einen in dem Medium eingebetteten computernutzbaren Programmcode aufweist. In dem hierin verwendeten Sinne sind die Ausdrücke „Software“ und „Firmware“ gegeneinander austauschbar und umfassen jedes Computerprogramm, das in einem Speicher zur Ausführung durch einen Prozessor, einschließlich eines RAM-Speichers, ROM-Speichers, EPROM-Speichers, EEPROM-Speichers und eines nicht flüchtigen RAM (NVRAM)-Speichers, gespeichert ist. Die vorstehenden Speicherarten sind lediglich beispielhaft und hinsichtlich der Arten von Speichern, die zur Speicherung eines Computerprogramms verwendet werden können, nicht beschränkend.

[0027] Es kann jedes beliebige geeignete computerlesbare Medium verwendet werden. Das computernutzbare oder computerlesbare Medium kann z.B. jedoch nicht darauf beschränkt, ein System, ein Gerät, eine Vorrichtung oder ein Ausbreitungsmedium auf elektronischer, magnetischer, optischer, elektromagnetischer, Infrarot- oder Halbleiter-Basis sein. Mehr spezielle Beispiele (eine nicht erschöpfende Auflistung) von computerlesbaren Medien würden das Folgende umfassen: eine elektrische Verbindung mit einem oder mehreren Drähten, eine tragbare Computerdiskette, eine Festplatte, einen Direktzugriffsspeicher (RAM), einen Festwertspeicher (ROM), einen löschbaren programmierbaren Nur-Lese-Speicher (EPROM oder Flash-Speicher), einen Lichtwellenleiter, einen tragbaren Kompaktdisk-Nur-Lese-Speicher (CD-ROM), eine optische Speichervorrichtung, ein Übertragungsmedium, wie beispielsweise diejenigen, die das Internet oder ein Intranet unterstützen, oder eine magnetische Speichervorrichtung. Es ist zu beachten, dass das computernutzbare oder computerlesbare Medium sogar Papier oder ein sonstiges geeignetes Medium sein könnte, auf dem das Programm aufgedruckt ist, da das Programm z.B. über optisches Scannen des Papiers oder sonstigen Mediums elektronisch erfasst, anschließend kompiliert, interpretiert oder ansonsten in einer geeigneten Weise, falls erforderlich, verarbeitet und anschließend in einem Computerspeicher gespeichert werden kann. In dem Kontext dieser Druckschrift kann ein computernutzbare oder computerlesbare Medium jedes beliebige Medium sein, das das Programm zur Verwendung durch oder in Verbindung mit dem System, Gerät oder der Vorrichtung zur Ausführung von Instruktionen enthalten, speichern, übertragen, ausbreiten oder transportieren kann.

[0028] Der Ausdruck Prozessor, wie er hierin verwendet wird, bezeichnet zentrale Verarbeitungseinheiten, Mikroprozessoren, Mikrocontroller, Schaltungen mit reduziertem Befehlssatz (RISC), anwendungsspezifische integrierte Schaltungen (ASICs), Logikschaltungen und beliebige sonstige

Schaltungsanordnungen oder Prozessoren, die in der Lage sind, die hierin beschriebenen Funktionen auszuführen.

[0029] Der Computerprogrammcode zur Ausführung der Operationen gemäß der vorliegenden Erfindung kann in einer objektorientierten Programmiersprache, wie beispielsweise Java7, Smalltalk oder C++ oder dergleichen, geschrieben sein. Jedoch kann der Computerprogrammcode zur Ausführung der Operationen gemäß der vorliegenden Erfindung auch in herkömmlichen prozeduralen Programmiersprachen, wie beispielsweise der Programmiersprache „C“ oder einer ähnlichen Sprache, geschrieben sein. Der Programmcode kann vollständig auf dem Benutzercomputer, teilweise auf dem Benutzercomputer, als eigenständiges Softwarepaket, teilweise auf dem Benutzercomputer und teilweise auf einem entfernten Computer oder vollständig auf dem entfernten Computer ausgeführt werden. In dem letzteren Fall kann der entfernte Computer mit dem Benutzercomputer über ein Lokalbereichsnetzwerk (LAN) oder ein Weitbereichsnetzwerk (WAN) verbunden sein, oder die Verbindung kann mit einem externen Computer (z.B. über das Internet unter Verwendung eines Internetdienstleisters) geschaffen sein.

[0030] Die vorliegende Erfindung ist nachstehend unter Bezugnahme auf die Flussdiagrammdarstellungen und/oder Blockdiagramme der Verfahren, Vorrichtungen (Systeme) und Computerprogrammprodukte gemäß Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Es versteht sich, dass jeder Block der Flussdiagrammdarstellungen und/oder Blockdiagramme und Kombinationen der Blöcke in den Flussdiagrammdarstellungen und/oder Blockdiagramme durch Computerprogrammstrukturen implementiert sein kann. Diese Computerprogrammstrukturen können einem Prozessor eines Universalzweckcomputers, eines Spezialzweckcomputers oder einer anderen programmierbaren Datenverarbeitungsvorrichtung zugeführt werden, um eine Maschine zu erzeugen, so dass die Instruktionen, wenn sie durch den Prozessor des Computers oder eine sonstige programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt werden, Mittel zur Implementierung der Funktionen/Wirkungen, die in dem Flussdiagramm und/oder dem Block oder den Blöcken des Blockschaltsbilds spezifiziert sind, erzeugen.

[0031] Diese Computerprogrammstrukturen können ferner in einem computerlesbaren Speicher abgespeichert sein. Diese Instruktionen können einen Computer oder eine sonstige programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung anweisen, in einer bestimmten Weise zu funktionieren. Dies so, dass die in dem computerlesbaren Speicher gespeicherten Instruktionen einen Herstellungsgegenstand erzeugen, der Instruktionsmittel enthält, die die in dem Flussdiagramm und/oder dem Block oder den

Blöcken des Blockschaltsbilds spezifizierten Funktionen/ Wirkungen implementieren. Die Computerprogrammstrukturen können ferner auf einen Computer oder eine sonstige programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung geladen werden. Diese Instruktionen können die Durchführung einer Reihe von Betriebsschritten auf dem Computer oder einer sonstigen programmierbaren Vorrichtung bewirken, um einen computerimplementierten Prozess zu erzeugen. Hier ergeben die Instruktionen, die auf dem Computer oder der sonstigen programmierbaren Vorrichtung ausgeführt werden, Schritte zur Implementierung der in dem Flussdiagramm und/oder den Blockschaltsbildblöcken spezifizierten Funktionen/Wirkungen.

[0032] Erneut bezugnehmend auf die Figuren zeigt **Fig. 4** ein Blockschaltsbild, das ein Verfahren 400 zur Überwachung eines Verdichters einer Turbomaschine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann ein Bediener ein Steuersystem verwenden, um den Betrieb gemäß dem Verfahren 400 über eine grafische Benutzeroberfläche (GUI, Graphical User Interface) oder dergleichen zu überwachen oder zu steuern.

[0033] Eine Ausführungsform des Verfahrens 400 kann wenigstens einen Algorithmus enthalten, der die folgenden Schritte ausführen kann. Wie beschrieben, kann jeder Verdichterabschnitt 105 eine eindeutige MPT-Signatur aufweisen. Der Algorithmus kann zunächst die MPT-Bezugssignatur des Verdichterabschnitts 105 festsetzen. Dieser Schritt sollte erfolgen, wenn der Verdichterabschnitt 105 sich in einem neuen oder einem „gesunden“ (einwandfreien) Zustand befindet. Während die Turbomaschine 100 arbeitet, kann die akustische Detektionsvorrichtung 170 die akustische Signatur kontinuierlich überwachen, und ein Prozessor kann anschließend das akustische Frequenzspektrum unter Erzeugung der MPT-Bezugssignatur berechnen.

[0034] Als nächstes kann der Algorithmus die Echtzeit-MPT-Signatur mit einer MPT-Bezugssignatur vergleichen. Danach kann der Algorithmus das Schmalband- oder Proportional-Oktave-Bandfrequenzspektrum bestimmen. Anschließend kann der Algorithmus die einzelnen Frequenzkomponenten bestimmen. Danach kann die Amplitude jeder Frequenzkomponente mit der Amplitude der zugehörigen Bezugs-Frequenzkomponente verglichen werden. Falls die Amplitude der Frequenzkomponente beginnt, um einen vorbestimmten Schwellenwert abzuweichen, kann hier eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung den Bediener benachrichtigen, dass die Möglichkeit einer Rissentstehung besteht.

[0035] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann der Vergleich der Frequenzkomponenten auf einer Band-zu-Band-Basis oder durch Vergleichen einer Gruppe benachbarter Bänder erfolgen. In einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann der Vergleich eine Betrachtung eines großen Frequenzbereichs und eine Erfassung von Veränderungen in der gesamten Spektralform enthalten.

[0036] Eine Ausführungsform des Verfahrens 400 kann die folgenden Schritte durchführen. In Schritt 410 kann das Verfahren 400 die akustischen Daten von wenigstens einer akustischen Detektionsvorrichtung empfangen. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die akustische Detektionsvorrichtung in dem Einlassabschnitt des Verdichterabschnitts angeordnet sein. Wie beschrieben, kann die akustische Detektionsvorrichtung die Form eines Mikrofons oder einer Schallwellenerfassungsvorrichtung aufweisen. Die akustische Detektionsvorrichtung kann in der Lage sein, die akustischen Daten zu empfangen. Außerdem kann die akustische Detektionsvorrichtung in der Lage sein, die akustischen Daten mittels eines elektrischen Signals oder dergleichen zu dem Steuersystem zu übertragen.

[0037] In Schritt 420 kann das Verfahren 400 die in Schritt 410 übertragenen momentanen akustischen Daten empfangen. Als nächstes kann eine akustische Signatur, wie beispielsweise, jedoch nicht darauf beschränkt, eine MPT-Signatur, erzeugt werden. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann das Verfahren 400 die neu erzeugte MPT-Signatur in einer lokalen Speichervorrichtung und/oder in einer entfernten Speichervorrichtung abspeichern.

[0038] In Schritt 430 kann das Verfahren 400 frühere akustische Daten, wie beispielsweise, jedoch nicht darauf beschränkt, eine zu Schritt 420 gesonderte MPT-Signatur, übertragen. Gemäß der vorliegenden Erfindung sind die früheren akustischen Daten aus einer anderen Gasturbine und/oder einer Flotte von Gasturbinen abgeleitet. Anschließend kann das Verfahren 400 einen Algorithmus einsetzen, der die MPT-Signaturen von der arbeitenden Maschine und den in Schritt 430 übermittelten früheren akustischen Daten analysiert und miteinander vergleicht.

[0039] In Schritt 440 kann das Verfahren 400 bestimmen, ob eine Mitteilung erzeugt werden sollte. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die Mitteilung anzeigen, dass die momentane MPT nicht innerhalb eines gewünschten Bereiches der Bezugs-MPT liegt, was für einen möglichen Riss in einer Laufschaufel hinweisend ist. Falls eine Mitteilung generiert werden sollte, kann das Verfahren 400 anschließend zum Schritt 450 fortschreiten;

ansonsten kann das Verfahren 400 zum Schritt 420 zurückkehren, in dem der Überwachungsprozess sich fortsetzen kann.

[0040] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die Gasturbine bei einem Fernüberwachungs- und -diagnosesystem (RMD-System, Remote Monitoring and Diagnostic System) integriert sein. Hier kann das RMD-System die akustischen Daten empfangen und kann den Betreiber der Gasturbine unmittelbar kontaktieren und ihm dadurch eine direkte Mitteilung über einen möglichen Riss geben.

[0041] In Schritt 450 kann das Verfahren 400 die Mitteilung generieren. Hier kann die Mitteilung in Form eines akustischen und/oder visuellen Alarms oder in einer sonstigen üblicherweise benutzten Kommunikationsform erfolgen.

[0042] Wie beschrieben, können Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eine Echtzeitüberwachung des Verdichterabschnitts hinsichtlich der Möglichkeit einer Rissbildung an einer Laufschaufel ergeben. Die vorliegende Erfindung erfordert keine Abschaltung einer Gasturbine und kann automatisiert werden, um einen Alarm automatisch auszugeben, falls die akustische Signatur des Verdichters sich in einer Weise verändert, die der Rissbildung an einer Laufschaufel entspricht.

[0043] Wie ein Fachmann auf dem Gebiet verstehen wird, können die weit unterschiedlichen Merkmale und Konfigurationen, wie sie vorstehend in Bezug auf die verschiedenen beispielhaften Ausführungsformen beschrieben sind, ferner wahlweise angewandt werden, um weitere mögliche Ausführungsformen gemäß der vorliegenden Erfindung zu bilden. Fachleute auf dem Gebiet werden ferner verstehen, dass all mögliche Varianten der vorliegenden Erfindung nicht angegeben oder im Detail erläutert sind, selbst wenn alle Kombinationen und alle möglichen Ausführungsformen von den verschiedenen nachstehenden Ansprüchen umfasst sind oder ansonsten einen Teil der vorliegenden Anmeldung bilden sollen. Außerdem werden Fachleute auf dem Gebiet aus der vorstehenden Beschreibung verschiedener beispielhafter Ausführungsformen der Erfindung Verbesserungen, Veränderungen und Modifikationen erkennen. Derartige Verbesserungen, Veränderungen und Modifikationen innerhalb der Fachkenntnisse sollen durch die beigefügten Ansprüche mit umfasst sein. Ferner sollte es offensichtlich sein, dass das Vorstehende lediglich die beschriebenen Ausführungsformen des vorliegenden Anmeldegegenstandes anbetrifft und dass daran zahlreiche Veränderungen und Modifikationen vorgenommen werden können, ohne von dem Rahmen und Schutzbereich des Anmeldegegenstandes, wie er durch die folgen-

den Ansprüche definiert ist, und dessen Äquivalenten abzuweichen.

[0044] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können eine Echtzeitüberwachung eines Verdichterabschnitts 105 zur Feststellung der Möglichkeit einer Rissbildung an einer Schaufel 110, 115 ermöglichen. Die vorliegende Erfindung erfordert keine Abschaltung der Maschine 100. Die vorliegende Erfindung kann konfiguriert sein, um automatisch einen Alarm auszulösen, falls die akustische Signatur des Verdichterabschnitts 105 sich in einer Weise verändert, die der Rissbildung an einer Schaufel 110, 115 entspricht.

Teilleiste:

100	Turbomaschine
105	Verdichterabschnitt
110	stationäre Schaufel
115	umlaufende Schaufel, Laufschaufel
117	Luftstrom
119	Sehne
120	Stelle
125	Einlassabschnitt
130	Verbrennungssystem
135	Rohrbrennkammer
140	Brennstoffdüse
145	Übergangsabschnitt
150	Turbinenabschnitt
155	umlaufende Komponente
160	stationäre Komponente
165	Radzwischenraumbereich
170	akustische Detektionsvorrichtung
175	akustische Daten
180	Rissdetektionssystem
185	gespeicherte akustische Daten
190	Mitteilung über möglichen Defekt
300	Diagramm
305	Frequenzbandamplitude
310	akustische Signatur
400	Verfahren

Patentansprüche

1. Verfahren (400) zum Detektieren eines möglichen Risses an einer Schaufel (110, 115), die sich in einem Verdichterabschnitt (105) einer Turboma-

schine (100) befindet, wobei das Verfahren (400) aufweist:

Bereitstellen einer Turbomaschine (100), die aufweist: einen Verdichterabschnitt (105), wobei der Verdichterabschnitt (105) mehrere Schaufeln (110, 115) aufweist; und eine akustische Detektionsvorrichtung (170), die eingerichtet ist, um den Verdichterabschnitt (105) zu überwachen, während die Turbomaschine (100) arbeitet, wobei die akustische Detektionsvorrichtung (170) akustische Daten (410) empfängt, die die mehreren Schaufeln (110, 115) betreffen;

Verwenden der akustischen Daten, um eine akustische Signatur zu generieren (420), die den mehreren Schaufeln (110, 115) entspricht;

Abrufen einer in Beziehung stehenden akustischen Signatur von einer Speichervorrichtung (430);

Vergleichen der akustischen Signatur mit der in Beziehung stehenden akustischen Signatur (420, 430); und

Feststellen, ob die akustische Signatur innerhalb eines zulässigen Bereiches liegt (420);

wobei eine Feststellung, dass die akustische Signatur außerhalb des zulässigen Bereiches liegt, eine Wahrscheinlichkeit eines Risses an wenigstens einer der mehreren Schaufeln (110, 115) anzeigt;

dadurch gekennzeichnet, dass die in Beziehung stehende akustische Signatur von wenigstens einer anderen Turbomaschine (100) und/oder einer Flotte von Turbomaschinen abgeleitet ist.

2. Verfahren (400) nach Anspruch 1, wobei die akustische Detektionsvorrichtung (170) benachbart zu einem Einlassabschnitt des Verdichterabschnitts (105) angeordnet ist.

3. Verfahren (400) nach Anspruch 1, das ferner den Schritt des Erzeugens einer Mitteilung (440, 450) über ein Ergebnis des Schritts der Feststellung, ob die akustische Signatur innerhalb eines zulässigen Bereiches liegt, aufweist.

4. Verfahren (400) nach Anspruch 1, das ferner den Schritt des Übertragens der akustischen Signatur zu einer Fernüberwachungs- und -diagnosezentrale (450) aufweist.

5. System zur Erfassung des Vorliegens eines Risses an einer Schaufel (110, 115) in einer Gasturbine (100), wobei das System aufweist:

eine Gasturbine (100), die mehrere Schaufeln (110, 115) aufweist;

eine akustische Detektionsvorrichtung (170), die zur Überwachung des Betriebs der Gasturbine (100) eingerichtet ist, wobei die akustische Detektionsvorrichtung (170) akustische Daten empfängt, die die mehreren Schaufeln (110, 115) betreffen, und benachbart zu einem Verdichterabschnitt (105) der Gasturbine (100) angeordnet ist;

ein Steuersystem (180), wobei das Steuersystem (180) eingerichtet ist, um die Schritte durchführen:
Verwenden der akustischen Daten, um eine akustische Signatur, die den mehreren Schaufeln (110, 115) entspricht, zu generieren (420); und
Abrufen einer in Beziehung stehenden akustischen Signatur von einer Speichervorrichtung (430);
Vergleichen der akustischen Signatur mit der in Beziehung stehenden akustischen Signatur (420, 430); und
Feststellen, ob die akustische Signatur innerhalb eines zulässigen Bereiches liegt (420);
dadurch gekennzeichnet, dass
die in Beziehung stehende akustische Signatur von wenigstens einer anderen Gasturbine (100) und/oder einer Flotte von Gasturbinen abgeleitet ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

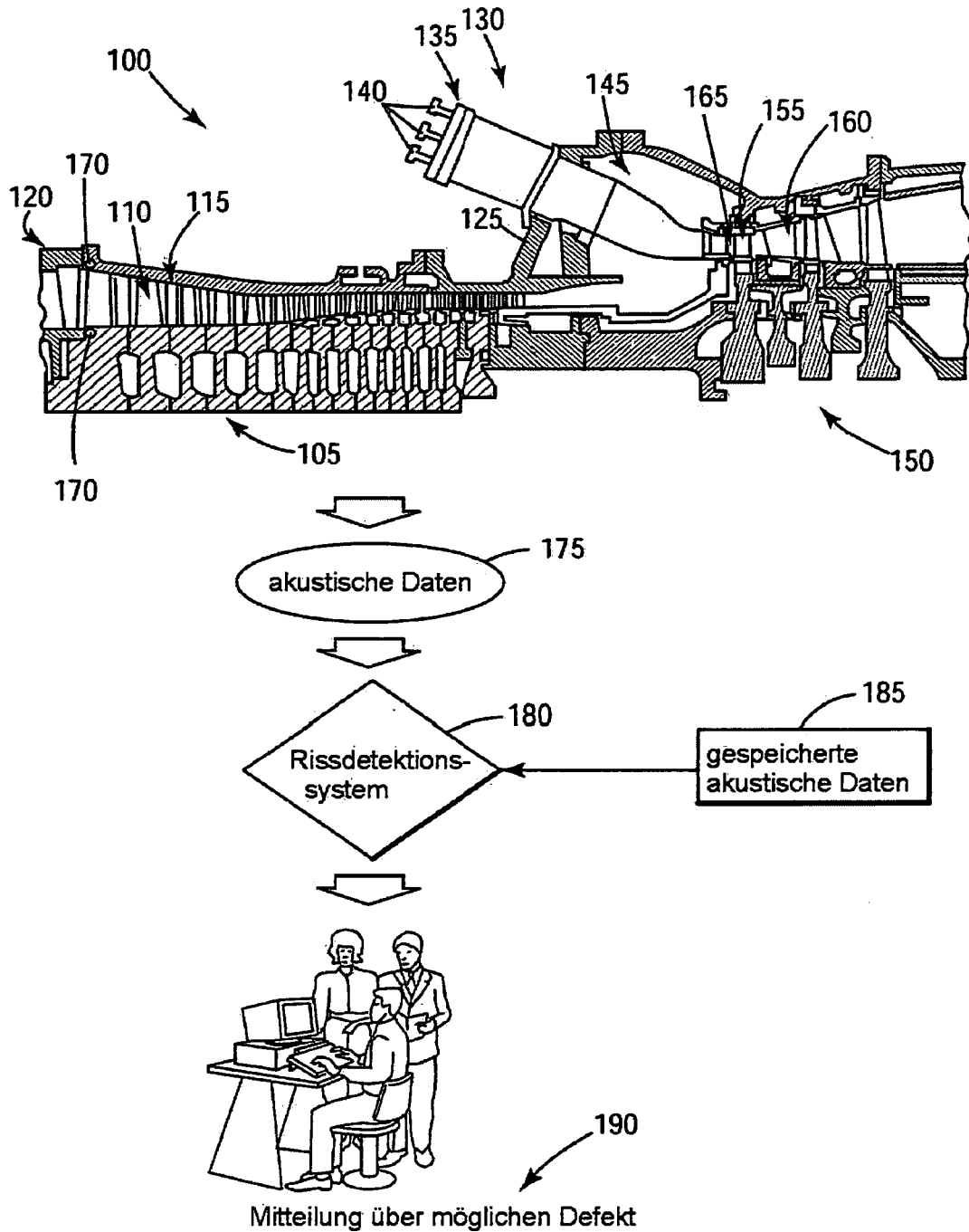


FIG. 2

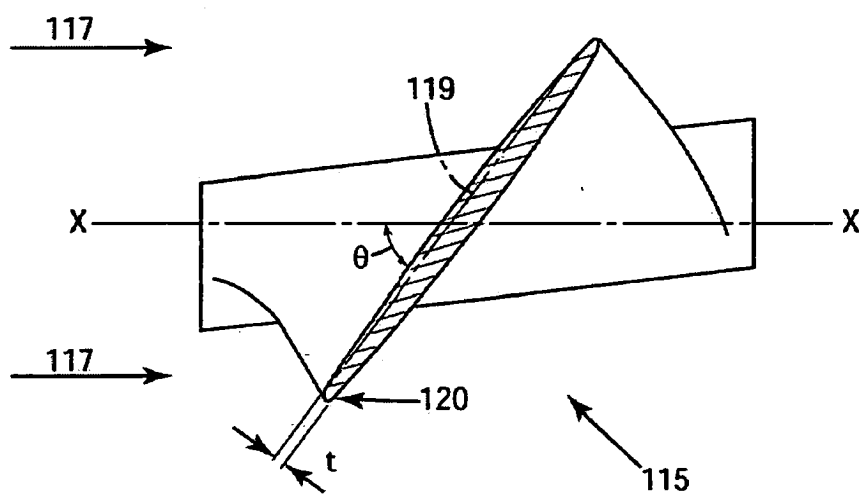


FIG. 3

300

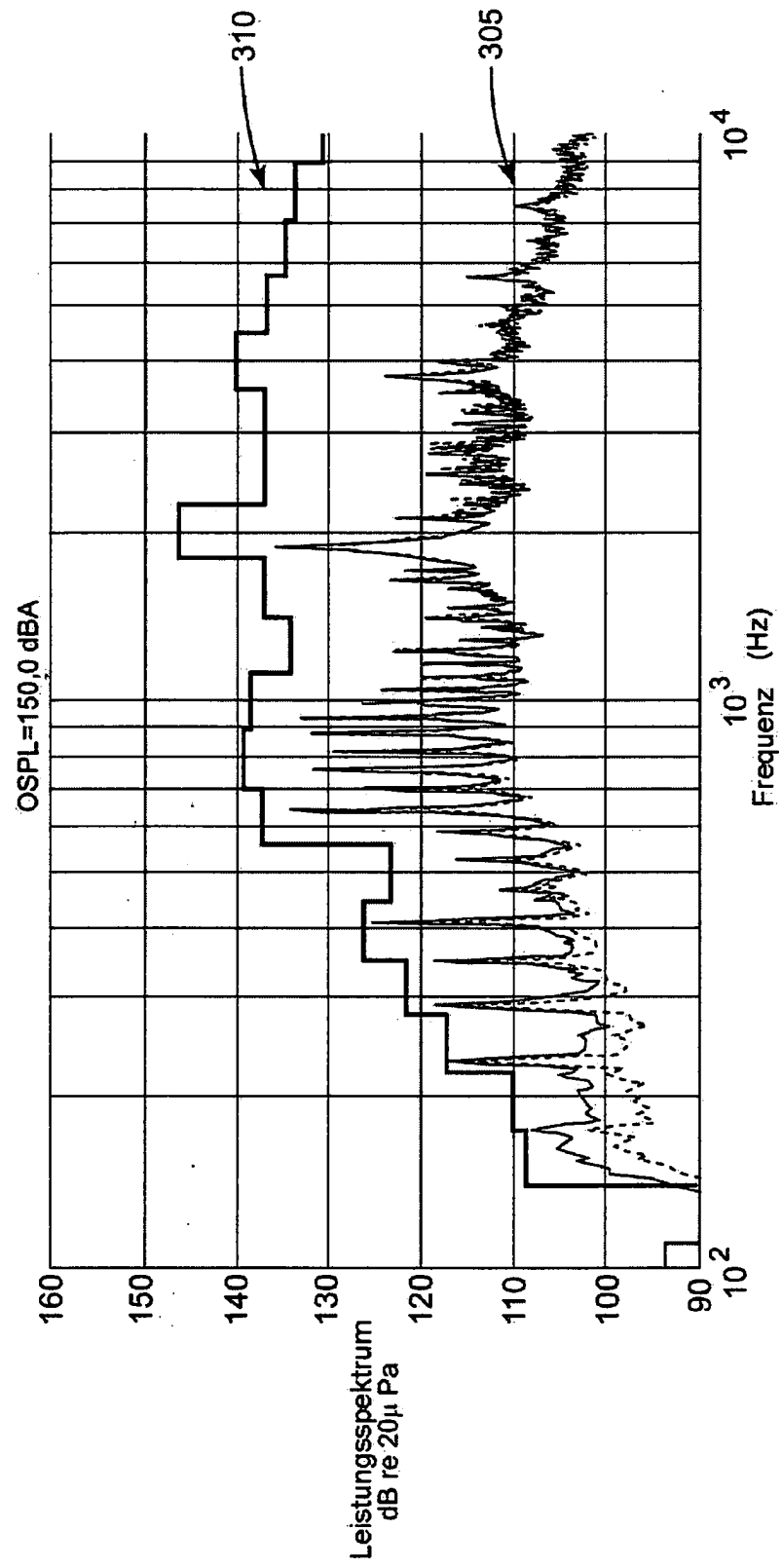


FIG. 4

