

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

708 447 A2

(51) Int. Cl.: F01D 5/00 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01203/14

(22) Anmeldedatum: 07.08.2014

(43) Anmeldung veröffentlicht: 13.02.2015

(30) Priorität: 09.08.2013 US 13/963,689

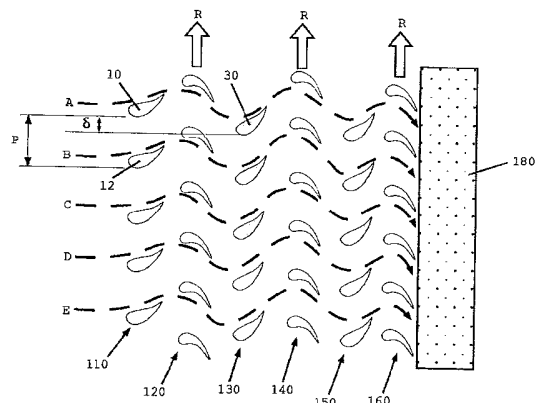
(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Paul Kendall Smith, Greenville, SC 29615-4614 (US)

(74) Vertreter:
R.A. Egli & Co, Patentanwälte, Baarerstrasse 14
6300 Zug (CH)

(54) Turbomaschine mit Schaufelpositionierung.

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbomaschine und insbesondere die Positionierung von Schaufelblättern zur Reduktion von Druckabweichungen beim Eintritt in einen Diffusor (180). Die Turbomaschine weist einen Diffusor (180) und mehrere Schaufelblattreihen 110–160 auf, einschliesslich einer ersten Schaufelblattreihe (160) benachbart zu dem Diffusor (180), wobei die erste Schaufelblattreihe (160) von einem ersten Typ ist, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, die stationäre Leitschaufeln und rotierende Laufschaufeln aufweist, eine zweite Schaufelblattreihe (150) benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe (160), wobei die zweite Schaufelblattreihe (150) von einem zweiten Typ ist, der sich von dem ersten Typ unterscheidet, und eine dritte Schaufelblattreihe (140) von dem ersten Typ benachbart zu der zweiten Schaufelblattreihe (150), wobei wenigstens eine der mehreren Schaufelblattreihen bezüglich einer anderen Schaufelblattreihe der Turbomaschine registriert ist, wodurch in einem Betriebszustand der Turbomaschine Abweichungen des Umfangsdrucks einer Luftströmung an wenigstens einer Stelle in Spannweitenrichtung in dem Diffusor benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe (160) reduziert werden.



Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

[0001] Turbomaschinen, wie z.B. Turbinen, Triebwerke bzw. Motoren und Verdichter, weisen mehrere stationäre Leitschaufeln und rotierende Laufschaufeln auf. Diese sind typischerweise in alternierend gestapelten Schaufelblattreihen angeordnet, die um und entlang der Längsachse der Maschine angeordnet sind, wobei die Leitschaufeln mit dem Turbinengehäuse fest verbunden sind und die Laufschaufeln an einer Scheibe befestigt sind, die mit einer Welle verbunden ist. Es werden Anstrengungen unternommen, um die Effizienz solcher Maschinen zu verbessern, indem die relativen Umfangspositionen der Schaufelblätter in einer Reihe mit den Umfangspositionen der Schaufelblätter in nahegelegenen oder benachbarten Reihen indiziert oder «registriert» werden. Typischerweise werden solche Verbesserungen erzielt, indem die Auswirkung der Schaufelnachlaufströmung auf die rotierenden Laufschaufeln reduziert wird.

[0002] Einige Turbomaschinen, wie z.B. Gasturbinen, weisen einen Diffusor auf, der angrenzend an die letzte Stufe der Turbine angeordnet ist. Solch ein Diffusor ist eingerichtet, um die Austrittsströmung zu verlangsamen, indem er dynamische Energie in statische Druckerhöhung umwandelt, und er tut es effizienter, wenn die Umfangsabweichung der Strömung, die in den Diffusor einströmt, reduziert wird. Bekannte Turbomaschinen und Registrierverfahren befassen sich nicht mit der Umfangsabweichung der Strömung, die in den Diffusor einströmt, oder berücksichtigen diese nicht. In der Tat können einige Registrierverfahren die Umfangsabweichung erhöhen, um Effizienzen in anderen Bereichen der Turbine zu erzielen, wie z.B. erhöhte Energieeffizienz oder verringerte Vibration und Spannung in den Schaufelblättern.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0003] Ausführungsformen der Erfindung betreffen allgemein Turbomaschinen und insbesondere die Registrierung von Turbomaschinenschaufelblättern zur Reduktion von Druckabweichungen der Luftströmung, die in einen Diffusor eintritt.

[0004] In einer Ausführungsform stellt die Erfindung eine Turbomaschine bereit, die aufweist: einen Diffusor, mehrere Schaufelblattreihen, die enthalten: eine erste Schaufelblattreihe benachbart zu dem Diffusor, wobei die erste Schaufelblattreihe von einem ersten Typ ist, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, zu der gehören: stationäre Leitschaufeln und rotierende Laufschaufeln; eine zweite Schaufelblattreihe benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe, wobei die zweite Schaufelblattreihe von einem zweiten Typ ist, der sich von dem ersten Typ unterscheidet; und eine dritte Schaufelblattreihe von dem ersten Typ benachbart zu der zweiten Schaufelblattreihe, wobei wenigstens eine der mehreren Schaufelblattreihen bezüglich einer anderen Schaufelblattreihe der Turbomaschine registriert ist, wodurch in einem Betriebszustand der Turbomaschine Abweichungen des Umfangsdruck des Luftstroms an wenigstens einer Stelle in Spannweitenrichtung in dem Diffusor benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe reduziert werden.

[0005] Die zuvor erwähnte Turbomaschine kann aus einer Gruppe ausgewählt sein, zu der gehören: eine Turbine, ein Triebwerk bzw. Motor und ein Verdichter.

[0006] Die Turbomaschine kann vorzugsweise eine Gasturbine sein.

[0007] In der Turbomaschine jedes beliebigen vorstehend erwähnten Typs kann die wenigstens eine der mehreren Schaufelblattreihen bezüglich einer ersten relativen Position registriert sein, die eine erste Luftstromdruckabweichung an der wenigstens einen Stelle an der Oberfläche des Diffusors aufweist, die kleiner als eine zweite Abweichung des Luftstromdrucks an der wenigstens einen Stelle in dem Diffusor ist, die an einer zweiten relativen Position vorhanden ist.

[0008] Die erste und die zweite Abweichung können unter Verwendung der relativen Positionen der wenigstens einen Schaufelblattreihe und einer weiteren Schaufelblattreihe der Turbomaschine berechnet werden.

[0009] Die erste und die zweite Abweichung können unter Verwendung von Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik berechnet werden.

[0010] Die Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik können Navier-Stokes-Gleichungen aufweisen.

[0011] In der Turbomaschine jedes beliebigen vorstehend erwähnten Typs kann wenigstens eine der mehreren registrierten Schaufelblattreihen die dritte Schaufelblattreihe aufweisen.

[0012] In der Turbomaschine des zuvor erwähnten Typs können die erste und die dritte Schaufelblattreihe vorzugsweise Reihen rotierender Laufschaufeln sein, und die zweite Schaufelblattreihe kann vorzugsweise eine Reihe stationärer Leitschaufeln sein.

[0013] In einer weiteren Ausführungsform stellt die Erfindung ein Verfahren zur Reduktion der Abweichung des Drucks der Luftströmung, die in einen Diffusor einer Turbomaschine einströmt, bereit, wobei das Verfahren aufweist: Berechnen der Luftströmung über wenigstens drei Schaufelblattreihen der Turbomaschine, wobei die drei Schaufelblattreihen aufweisen: eine erste Schaufelblattreihe benachbart zu einem Diffusor der Turbomaschine, wobei die erste Schaufelblattreihe von einem ersten Typ ist, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, zu der gehören: stationäre Leitschaufeln und rotierende Laufschaufeln; eine zweite Schaufelblattreihe benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe, wobei die zweite Schaufelblattreihe von einem zweiten Typ ist, der sich von dem ersten Typ unterscheidet; und eine dritte Schaufelblattreihe von dem ersten Typ benachbart zu der zweiten Schaufelblattreihe; Auswerten einer Druckabweichung an wenigstens einer Stelle in Spannweitenrichtung des Diffusors; und Bestimmen, ob die Druckabweichung innerhalb eines vorbestimmten Sollwerts liegt.

[0014] In dem vorstehend erwähnten Verfahren kann in dem Falle, dass die Druckabweichung nicht innerhalb des vorbestimmten Sollwerts liegt, das Verfahren ferner aufweisen: Verändern einer relativen Registrierposition wenigstens einer der wenigstens drei Schaufelblattreihen; erneutes Berechnen der Luftströmung über die wenigstens drei Schaufelblattreihen; erneutes Auswerten der Druckabweichung an der wenigstens einen Stelle in Spannweitenrichtung des Diffusors; und Bestimmen, ob die neu ausgewertete Druckabweichung innerhalb des vorbestimmten Sollwerts liegt.

[0015] In dem Verfahren jedes beliebigen vorstehend erwähnten Typs kann das Verändern der relativen Registrierposition ein Verändern der Registrierposition einer anderen als der ersten, der zweiten oder der dritten Schaufelblattreihe aufweisen.

[0016] In dem Verfahren jedes beliebigen vorstehend erwähnten Typs kann das Berechnen der Luftströmung die Verwendung von Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik aufweisen.

[0017] Die Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik können vorzugsweise Navier-Stokes-Lösungsgleichungen aufweisen.

[0018] In einer noch weiteren Ausführungsform stellt die Erfindung ein Verfahren zur Reduktion der Abweichung des Drucks einer Luftströmung, die in einen Diffusor einer Turbomaschine eintritt, bereit, wobei das Verfahren aufweist: Berechnen einer Luftströmung über wenigstens drei Schaufelblattreihen der Turbomaschine; Auswerten einer ersten Druckabweichung an wenigstens einer Stelle in Spannweitenrichtung eines Diffusors der Turbomaschine; Verändern einer relativen Registrierposition wenigstens einer der drei Schaufelblattreihen; erneutes Berechnen der Luftströmung über die wenigstens drei Schaufelblattreihen; Auswerten einer zweiten Druckabweichung an der wenigstens einen Stelle in Spannweitenrichtung des Diffusors; Bestimmen, ob die zweite Druckabweichung kleiner als die erste Druckabweichung ist; und in dem Falle, dass die zweite Druckabweichung kleiner als die erste Druckabweichung ist, Betreiben der Turbomaschine unter Verwendung der geänderten relativen Registrierposition der wenigstens einen Schaufelblattreihe.

[0019] In dem Verfahren des zuvor erwähnten Typs können die wenigstens drei Schaufelblattreihen aufweisen: eine erste Schaufelblattreihe benachbart zu dem Diffusor, wobei die erste Schaufelblattreihe von einem ersten Typ ist, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, zu der gehören: stationäre Leitschaufeln und rotierende Laufschaufeln; eine zweite Schaufelblattreihe benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe, wobei die zweite Schaufelblattreihe von einem zweiten Typ ist, der sich von dem ersten Typ unterscheidet; und eine dritte Schaufelblattreihe von dem ersten Typ benachbart zu der zweiten Schaufelblattreihe.

[0020] In dem Verfahren des zuvor erwähnten Typs kann das Verändern der relativen Registrierposition ein Verändern der Registrierposition einer anderen Schaufelblattreihe als der ersten, zweiten oder dritten Schaufelblattreihe aufweisen.

[0021] In jedem beliebigen Verfahren der noch weiteren Ausführungsform kann das Berechnen der Luftströmung die Verwendung von Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik aufweisen.

[0022] Die Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik können die Navier-Stokes-Lösungsgleichungen aufweisen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0023] Diese und weitere Merkmale der Erfindung werden aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung offensichtlicher, wenn diese in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen gelesen wird, die verschiedene Ausführungsformen der Erfindung zeigen, in denen:

- Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht von Schaufelblättern und einem Diffusor einer Turbomaschine.
- Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht einer Querschnittsgestalt eines Diffusors an einer Position benachbart zu einer Schaufelblattreihe, die sich am nächsten an dem Diffusor befindet.
- Fig. 3 zeigt eine graphische Darstellung von Drücken, die über die radiale Spannweite eines Diffusors gemessen wurden.
- Fig. 4 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.
- Fig. 5 ist eine graphische Darstellung von Druckabweichungen an einer Oberfläche eines Diffusors vor und nach einer Schaufelblattregistrierung gemäss einer Ausführungsform der Erfindung.

[0024] Man beachte, dass die Zeichnungen nicht massstabsgetreu sind und dazu bestimmt sind, lediglich typische Aspekte der Erfindung darzustellen. Die Zeichnungen sollten deshalb nicht als den Schutzzumfang der Erfindung beschränkend betrachtet werden. In den Zeichnungen repräsentieren gleiche Bezeichnungen gleiche Elemente in den Zeichnungen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0025] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung von benachbarten Reihen 110, 120, 130, 140, 150, 160 von Schaufelblättern, wie sie z.B. in einer Gasturbine vorgefunden werden können. Die Reihe 160 ist die letzte (d.h. die stromabwärtigste oder abschliessende) Schaufelblattreihe einer Turbine und sitzt benachbart zu einem Diffusor 180. Die Reihen 110, 130 und 150 zeigen stationäre Leitschaufeln. Die Reihen 120, 140 und 160 zeigen Laufschaufeln, die während des Betriebs in der Richtung R rotieren. Wie von einem Fachmann verstanden wird, können in anderen Ausführungsformen der Erfindung die Reihen 110, 130 und 150 Laufschaufeln, während die Reihen 120, 140 und 160 Leitschaufeln aufweisen können.

[0026] In ähnlicher Weise wird ein Fachmann verstehen, dass die Reihen 110, 120, 130, 140, 150 und 160, auf die nachstehend als eine erste, zweite, dritte, vierte, fünfte bzw. sechste Reihe Bezug genommen wird, dazu vorgesehen sind, eine relative Reihenfolge der Reihen zu beschreiben. D.h., eine Turbine oder andere Turbomaschine gemäss verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung kann mehr als die sechs in Fig. 1 gezeigten Schaufelblattreihen aufweisen, und Verfahren gemäss verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung sind auf Turbomaschinen anwendbar, die mehr oder weniger als sechs Schaufelblattreihen aufweisen. Wie nachstehend detaillierter beschrieben, sind Verfahren gemäss Ausführungsformen der Erfindung auf Turbinen oder andere Turbomaschinen anwendbar, die einen Diffusor und drei oder mehrere Reihen von Schaufelblättern aufweisen.

[0027] Die Schaufelblätter und ihre in Fig. 1 gezeigten Formen sind lediglich veranschaulichend und sollten nicht als den Schutzbereich der Erfindung einschränkend betrachtet werden. Verfahren gemäss Ausführungsformen der Erfindung als auch Turbomaschinen, die gemäss Ausführungsformen der Erfindung konstruiert oder eingerichtet sind, können Schaufelblätter in jeder beliebigen Anzahl, Form oder Grösse aufweisen.

[0028] Die Teilung der Schaufelblätter kann als der Umfangsabstand zwischen entsprechenden Merkmalen benachbarter Schaufelblätter derselben Reihe beschrieben werden. Wie z.B. in Fig. 1 gezeigt, ist die Teilung P der Abstand zwischen dem höchsten Krümmungspunkt der Leitschaufel 10 und der Leitschaufel 12. Selbstverständlich können andere Merkmale zur Definition der Teilung P verwendet werden. Beispielsweise kann die Teilung P von der Vorderkante zu der Vorderkante benachbarter Leitschaufeln gemessen werden, was in einem zylindrischen Strömungspfad den gleichen Abstand wie derjenige von Hinterkante zur Hinterkante ergeben würde.

[0029] Wie in Fig. 1 ersehen werden kann, ist die erste Reihe 110 bezüglich der Reihe 130 registriert, wobei die Schaufel 30 zu der Schaufel 10 um die Entfernung 5 versetzt ist. Die Entfernung 5 kann z.B. als Funktion – z.B. 0,1, 0,2, 0,3, usw. – der Teilung P ausgedrückt werden. Wie in Fig. 1 gezeigt, kann die Entfernung 5 z.B. 0,3 der Teilung P betragen.

[0030] Ein Fachmann wird verstehen, dass registrierte Schaufelblattreihen im Wesentlichen dieselbe Teilung haben werden, aber ein Schaufelblatt in einer Reihe wird von einem zugehörigen Schaufelblatt in der Reihe, bezüglich derer die Registrierung erfolgt, in seiner Lage versetzt sein. Fig. 1 zeigt auch mehrere Fluidströmungen A, B, C, D und E durch die Reihen 110, 120, 130, 140, 150 und 160 zu dem Diffusor 180.

[0031] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Querschnitts des Diffusors 180 benachbart zu der vierten Reihe (Fig. 1). Die Fluidströme treten in den Diffusor 180 über der Spannweite S ein, die sich von einem Innenumfang C_1 – 0% Spannweite – bis zu einem Aussenumfang C_2 – 100% Spannweite – erstreckt. Umfangsabweichungen des Drucks der Strömung in den Diffusor 180 hinein verringern den Gesamtwirkungsgrad der Maschine.

[0032] Fig. 3 zeigt eine Graphik, die gemessene Drücke über der Spannweite eines Diffusors einer typischen Turbine zeigt. Minimale Drücke 182, die von 0% Spannweite bis zu 100% Spannweite gemessen werden, sind wesentlich kleiner als die maximalen Drücke 186. Durchschnittliche Drücke 184 sind, wie zu erwarten, zwischen den minimalen Drücken 182 und den maximalen Drücken 186 liegend. Jegliche Schritte, die zur Reduktion der Differenz zwischen den minimalen Drücken 182 und den maximalen Drücken 186 unternommen werden, verbessern die Effizienzen sowohl des Diffusors als auch der Turbomaschine insgesamt.

[0033] Während bekannte Registrierungsmethoden angewendet worden sind, um andere Ursachen der Ineffizienz oder Beanspruchung, wie z.B. den Einfluss der Schaufelnachlaufströmung auf rotierende Laufschaufeln, zu bewältigen, fokussieren sich solche Methoden auf «stromaufwärtige» Schaufelblattreihen, die von dem Diffusor am weitesten entfernt sind. Anmelder haben festgestellt, dass die Registrierung von Schaufeln späterer Stufen – derjenigen, die näher an dem Diffusor sind – die Abweichung in dem Strömungsfeld beim Eintritt in den Diffusor wesentlich reduzieren kann, wodurch die Leistung und aerodynamische Stabilität des Diffusors verbessert werden. In einigen Ausführungsformen der Erfindung umfasst die Registrierung solcher Schaufelblätter späterer Stufen die Registrierung wenigstens zweier der drei benachbarten Schaufelblattreihen, die am nächsten an dem Diffusor sind.

[0034] Erneut Bezug nehmend auf Fig. 1, können beispielsweise in einer Ausführungsform der Erfindung die dritte und die fünfte Reihe 130, 150 in Bezug aufeinander registriert werden. In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung können auch die zweite und vierte Reihe 120, 140 in Bezug aufeinander registriert werden. Ein Fachmann wird verstehen, dass die Registrierung der Schaufelblattreihen in Bezug auf Paare oder Gruppen von stationären Leitschaufelreihen wie auch in Bezug auf Paare und Gruppen von rotierenden Laufschaufelreihen durchgeführt werden kann.

[0035] Fig. 4 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Registrierung von Schaufelblättern zur Reduktion der Abweichung in einem Diffusorzustrom gemäss einer Ausführungsform der Erfindung. Bei S1 werden Luftströmungen über wenigstens drei Schaufelblattreihen, die am nächsten an dem Diffusor sind, berechnet. Wie vorstehend erwähnt, können die

wenigstens drei Schaufelblattreihen ein Paar stationärer Leitschaufelreihen und eine dazwischenliegende Laufschaufelreihe oder ein Paar Laufschaufelreihen und eine dazwischenliegende stationäre Leitschaufelreihe enthalten. Erneut Bezug nehmend auf Fig. 1 würden beispielsweise die wenigstens drei Schaufelblattreihen, über denen die Luftströmung in S1 berechnet würde, die Reihen 140, 150 und 160 umfassen.

[0036] Die Berechnung der Luftströmungen über den Turbomaschinenschaufelblättern beruht typischerweise auf numerischer Strömungsmechanik (CFD) zur Modellierung der Turbulenz. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann dies eine Anwendung der Navier-Stokes- oder Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Lösungsgleichungen – den grundlegenden Basisgleichungen für viskose, Wärme übertragende Fluide – aufweisen. Wie von einem Fachmann verstanden wird, können auch andere Lösungsgleichungen aus vielfältigen Gründen verwendet werden.

[0037] Die Navier-Stokes-Lösungsgleichungen sind ein Satz von Differentialgleichungen, zu denen eine Kontinuitätsgleichung für die Masseerhaltung, Gleichungen für die Impulserhaltung und eine Gleichung für die Energieerhaltung gehören. Diese Gleichungen verwenden räumliche und zeitliche Variablen als auch Druck-, Temperatur- und Dichtvariablen. Ein Fachmann wird natürlich verstehen, dass andere CFD-Gleichungen und Techniken verwendet werden können. Es sollte insbesondere beachtet werden, dass andere Lösungsgleichungen angewendet werden können und dass der Einsatz anderer CFD-Gleichungen, Techniken oder Lösungsgleichungen in dem Umfang der Erfindung liegen soll.

[0038] Erneut Bezug nehmend auf Fig. 4 wird in S2 unter Verwendung der in S1 berechneter Strömungen die Druckabweichung an dem Diffusor an einer oder mehreren interessierenden Spannweitenstellen ausgewertet. In einigen Ausführungsformen können die Druckabweichungen an repräsentativen Stellen über die gesamte Spannweite des Diffusors hinweg, von 0% der Spannweite (an seinem Innenumfang – C_1 in Fig. 2) bis zu 100% der Spannweite (an seinem Aussenumfang – C_2 in Fig. 2), ausgewertet werden. In anderen Ausführungsformen kann die Druckabweichung an einer einzigen Stelle, z.B. an 0% der Spannweite, ausgewertet werden.

[0039] Wie nachstehend beschrieben, wird ein Fachmann erkennen, dass die Druckabweichung an dem Diffusor typischerweise nicht vollständig beseitigt wird. Daher wird es im Allgemeinen einen Grad der Druckabweichung an dem Diffusor geben, der für eine bestimmte Turbomaschine akzeptabel ist. Dies kann beispielsweise eine prozentuelle Abweichung von einem durchschnittlichen Druck sein. Eine Registrierung von Schaufelblättern gemäss den Ausführungsformen der Erfindung wird deshalb versuchen, die Druckabweichung bis zu einem Punkt zu reduzieren, der gleich oder kleiner als eine derartige Zieldruckabweichung ist.

[0040] In S3 wird die relative Registrierposition wenigstens einer stromaufwärtigen Schaufelblattreihe ähnlichen Typs verändert (z.B. wird, wenn die Schaufelblattreihe benachbart zu dem Diffusor eine Laufschaufelreihe ist, die relative Registrierposition einer stromaufwärtigen Laufschaufelreihe verändert). Zurückkehrend zu Fig. 1 kann z.B. die Veränderung der Registrierung in S3 eine Veränderung der Registrierung der Laufschaufelreihe 140 bezüglich der Laufschaufelreihe 160 als eine Funktion der Teilung P aufweisen.

[0041] In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann die Veränderung der Registrierung in S3 eine Veränderung der Registrierung der Reihe 130 bezüglich der Reihe 150 aufweisen. Ein Fachmann wird erkennen, dass andere Veränderungen der relativen Positionen von stromaufwärtigen Schaufelblattreihen bei der Durchführung von S3 vorgenommen werden können.

[0042] In jedem Fall wird in S4 unter Verwendung der geänderten Registrierposition die Strömung erneut berechnet, und die Druckabweichung wird in S5 erneut ausgewertet.

[0043] In S6 wird bestimmt, ob die Druckabweichung in S5 innerhalb einer Zieldruckabweichung (z.B. 5% des durchschnittlichen gemessenen Drucks) liegt. Wenn ja, (d.h. JA in S6), können die geänderten Registrierpositionen beim Betrieb der Turbomaschine in S7 verwendet werden. Wenn nein (d.h. NEIN in S6), können S3 bis S6 wiederholt durchlaufen werden, bis in S6 festgestellt wird, dass die Druckabweichung in S5 innerhalb der Zieldruckabweichung liegt.

[0044] Die Zieldruckabweichung in S6 kann ein absoluter Wert (z.B. eine Grösse der Abweichung in Psi), eine Grösse der Minderung der Druckabweichung (z.B. eine Minderung von 1%, 2%, 3%, usw.) bezüglich der Druckabweichung in S2 oder ein beliebiger Wert der Druckabweichung, der kleiner als die Druckabweichung in S2 ist, sein.

[0045] Fig. 5 zeigt einen graphischen Vergleich der Druckabweichung (gemessener Druck/durchschnittlicher Druck) als eine Funktion der Registrierposition (Teilung) vor, 190, und nach, 192, der Registrierung gemäss einer Ausführungsform der Erfindung. Vor, 190, und nach, 192, der Registrierung sollte derart verstanden werden, dass es vor und nach einer Registrierung gemäss einer Ausführungsform der Erfindung, nicht notwendigerweise vor und nach irgendeiner Registrierung der Schaufelblätter der Turbomaschine bedeutet. D.h., Ausführungsformen der Erfindung können angewendet werden, um Schaufelblätter in Reihen zu registrieren, die einem Diffusor 180 am nächsten sind, nachdem die Schaufelblätter der Turbomaschine ansonsten für andere Zwecke als zur Reduktion der Abweichung der Luftströmung an dem Diffusor registriert wurden. Wie vorstehend erwähnt, umfassen solche anderen Zwecke oft die Registrierung von «stromaufwärtigen» Schaufelblattreihen, die von dem Diffusor am weitesten entfernt sind. Daher können Registrierungsverfahren gemäss den Ausführungsformen der Erfindung in Kombination mit anderen in der Fachwelt bekannten Registrierungsverfahren angewendet werden.

[0046] Zurückkehrend zu Fig. 5 wurde, wie gesehen werden kann, die Druckabweichung vor der Registrierung zu A% berechnet, wurde aber durch die Anwendung eines Registrierverfahrens gemäss einer Ausführungsform der Erfindung auf ungefähr B% reduziert.

[0047] Die hierin verwendete Terminologie dient lediglich dem Zweck der Beschreibung bestimmter Ausführungsformen und soll nicht für die Offenbarung beschränkend sein. In dem hierin verwendeten Sinne sollen die Singularformen «ein», «eine» und «der», «die», «das» auch die Pluralformen umfassen, sofern der Kontext nicht deutlich was anderes anzeigt. Es ist ferner zu verstehen, dass die Ausdrücke «aufweist» und/oder «aufweisend», wenn sie in dieser Beschreibung verwendet werden, das Vorhandensein der angegebenen Merkmale, Ganzzahlen, Schritte, Operationen, Elemente und/oder Komponenten spezifizieren, jedoch das Vorhandensein oder die Aufnahme eines oder mehrerer weiterer Merkmale, Ganzzahlen, Schritte, Operationen, Elemente, Komponenten und/oder Gruppen von diesen nicht ausschliessen.

[0048] Diese schriftliche Beschreibung verwendet Beispiele zur Offenbarung der Erfindung, einschliesslich der besten Ausführungsart, und auch dazu, einen Fachmann in die Lage zu versetzen, die Erfindung umzusetzen, wozu die Herstellung und Verwendung jeder Vorrichtung oder jedes Systems sowie die Durchführung jedes enthaltenen Verfahrens gehören. Der patentierbare Umfang der Erfindung ist durch die Patentansprüche definiert und kann andere Beispiele einschliessen, wie sie Fachleuten einfallen können. Derartige andere Beispiele sollen in dem Umfang der Ansprüche eingeschlossen sein, wenn diese Beispiele strukturelle Elemente aufweisen, die nicht von dem Wortsinn der Ansprüche abweichen, oder wenn sie gleichwertige strukturelle Elemente mit unwesentlichen Unterschieden zu dem Wortsinn der Ansprüche aufweisen.

[0049] Ausführungsformen der Erfindung betreffen allgemein Turbomaschinen und insbesondere die Positionierung von Schaufelblättern zur Reduktion von Druckabweichungen beim Eintritt in einen Diffusor. Eine Ausführungsform enthält eine Turbomaschine, die einen Diffusor und mehrere Schaufelblattreihen aufweist, einschliesslich einer ersten Schaufelblattreihe benachbart zu dem Diffusor, wobei die erste Schaufelblattreihe von einem ersten Typ ist, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, die stationäre Leitschaufeln und rotierende Laufschaufeln aufweist, eine zweite Schaufelblattreihe benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe, wobei die zweite Schaufelblattreihe von einem zweiten Typ ist, der sich von dem ersten Typ unterscheidet, und eine dritte Schaufelblattreihe von dem ersten Typ benachbart zu der zweiten Schaufelblattreihe, wobei wenigstens eine der mehreren Schaufelblattreihen bezüglich einer anderen Schaufelblattreihe der Turbomaschine registriert ist, wodurch in einem Betriebszustand der Turbomaschine Abweichungen des Umfangsdrucks einer Luftströmung an wenigstens einer Stelle in Spannweitenrichtung in dem Diffusor benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe reduziert werden.

Bezugszeichenliste

[0050]

A, B, C, D, E	Fluidströmungen
P	Teilung
S	Spannweite
C ₁	Innenumfang
C ₂	Aussenumfang
10, 12, 30	Leitschaufel
110, 120, 130, 140, 150, 160	Schaufelblattreihen
180	Diffusor
182	minimaler Druck
184	durchschnittlicher Druck
186	maximaler Druck
190	vor der Registrierung
192	nach der Registrierung

Patentansprüche

1. Turbomaschine, die aufweist:
einen Diffusor;
mehrere Schaufelblattreihen, die aufweisen:

eine erste Schaufelblattreihe benachbart zu dem Diffusor, wobei die erste Schaufelblattreihe von einem ersten Typ ist, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, zu der stationäre Leitschaufeln und rotierende Laufschaufeln gehören;
 eine zweite Schaufelblattreihe benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe, wobei die zweite Schaufelblattreihe von einem zweiten Typ ist, der sich von dem ersten Typ unterscheidet; und
 eine dritte Schaufelblattreihe von dem ersten Typ benachbart zu der zweiten Schaufelblattreihe, wobei wenigstens eine der mehreren Schaufelblattreihen relativ zu einer anderen Schaufelblattreihe der Turbomaschine registriert ist, wodurch in einem Betriebszustand der Turbomaschine Abweichungen des Umfangsdruck einer Luftströmung an wenigstens einer Stelle in Spannweitenrichtung in dem Diffusor benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe reduziert werden.

2. Turbomaschine gemäss Anspruch 1, die aus einer Gruppe ausgewählt ist, zu der gehören: eine Turbine, ein Triebwerk bzw. ein Motor und ein Verdichter, wobei die Turbomaschine vorzugsweise eine Gasturbine ist.
3. Turbomaschine gemäss Anspruch 1 oder 2, wobei die wenigstens eine der mehreren Schaufelblattreihen zu einer ersten relativen Position registriert ist, die eine erste Abweichung des Luftströmungsdrucks an der wenigstens einen Stelle an der Oberfläche des Diffusors aufweist, die kleiner als eine zweite Abweichung des Luftströmungsdrucks der wenigstens einen Stelle in dem Diffusor ist, die bei einer zweiten relativen Position vorhanden ist.
4. Turbomaschine gemäss Anspruch 3, wobei die erste und die zweite Abweichung unter Verwendung der relativen Positionen der wenigstens einen Schaufelblattreihe und einer weiteren Schaufelblattreihe der Turbomaschine berechnet werden; und/oder wobei die erste und die zweite Abweichung unter Verwendung von Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik berechnet werden, wobei die Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik vorzugsweise Navier-Stokes-Gleichungen aufweisen.
5. Turbomaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei wenigstens eine der mehreren registrierten Schaufelblattreihen die dritte Schaufelblattreihe aufweist und wobei die erste und die dritte Schaufelblattreihe vorzugsweise Reihen rotierender Laufschaufeln sind und die zweite Schaufelblattreihe vorzugsweise eine Reihe stationärer Leitschaufeln ist.
6. Verfahren zur Reduktion von Abweichungen des Drucks einer Luftströmung, die in einen Diffusor einer Turbomaschine eintritt, wobei das Verfahren aufweist:
 Berechnen der Luftströmung über wenigstens drei Schaufelblattreihen der Turbomaschine, wobei die drei Schaufelblattreihen aufweisen:
 eine erste Schaufelblattreihe benachbart zu einem Diffusor der Turbomaschine, wobei die erste Schaufelblattreihe von einem ersten Typ ist, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, zu der gehören: stationäre Leitschaufeln und rotierende Laufschaufeln;
 eine zweite Schaufelblattreihe benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe, wobei die zweite Schaufelblattreihe von einem zweiten Typ ist, der sich von dem ersten Typ unterscheidet; und
 eine dritte Schaufelblattreihe von dem ersten Typ benachbart zu der zweiten Schaufelblattreihe;
 Auswerten einer Druckabweichung an wenigstens einer Stelle in Spannweitenrichtung des Diffusors; und
 Bestimmen, ob die Druckabweichung innerhalb eines vorbestimmten Sollwerts liegt.
7. Verfahren gemäss Anspruch 6, wobei in dem Falle, dass die Druckabweichung nicht innerhalb des vorbestimmten Sollwerts liegt, das Verfahren ferner aufweist:
 Verändern einer relativen Registrierposition wenigstens einer der wenigstens drei Schaufelblattreihen;
 erneutes Berechnen der Luftströmung über den wenigstens drei Schaufelblattreihen;
 erneutes Auswerten der Druckabweichung an der wenigstens einen Stelle in Spannweitenrichtung des Diffusors; und
 Bestimmen, ob die neu ausgewertete Druckabweichung innerhalb des vorbestimmten Sollwerts liegt.
8. Verfahren zur Reduktion der Abweichung des Drucks der Luftströmung, die in einen Diffusor einer Turbomaschine eintritt, wobei das Verfahren aufweist:
 Berechnen einer Luftströmung über wenigstens drei Schaufelblattreihen der Turbomaschine,
 Auswerten einer ersten Druckabweichung an wenigstens einer Stelle in Spannweitenrichtung eines Diffusors der Turbomaschine;
 Verändern einer relativen Registrierposition wenigstens einer der drei Schaufelblattreihen;
 erneutes Berechnen der Luftströmung über den wenigstens drei Schaufelblattreihen;
 Auswerten einer zweiten Druckabweichung an der wenigstens einen Stelle in Spannweitenrichtung des Diffusors;
 Bestimmen, ob die zweite Druckabweichung kleiner als die erste Druckabweichung ist; und
 in dem Falle, dass die zweite Druckabweichung kleiner als die erste Druckabweichung ist, Betreiben der Turbomaschine unter Verwendung der veränderten relativen Registrierposition der wenigstens einen Schaufelblattreihe.
9. Verfahren gemäss Anspruch 8, wobei die wenigstens drei Schaufelblattreihen aufweisen:
 eine erste Schaufelblattreihe benachbart zu dem Diffusor, wobei die erste Schaufelblattreihe von einem ersten Typ ist, der aus einer Gruppe ausgewählt ist, zu der gehören: stationäre Leitschaufeln und rotierende Laufschaufeln;
 eine zweite Schaufelblattreihe benachbart zu der ersten Schaufelblattreihe, wobei die zweite Schaufelblattreihe von einem zweiten Typ ist, der sich von dem ersten Typ unterscheidet; und
 eine dritte Schaufelblattreihe von dem ersten Typ benachbart zu der zweiten Schaufelblattreihe.

10. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 6, 7 oder 9, wobei das Verändern der relativen Registrierposition ein Verändern der Registrierposition einer anderen Schaufelblattreihe als der ersten, zweiten oder dritten Schaufelblattreihe aufweist; und/oder wobei das Berechnen der Luftströmung die Verwendung von Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik aufweist, wobei die Gleichungen der numerischen Strömungsmechanik vorzugsweise Navier-Stokes-Lösungsgleichungen aufweisen.

FIG. 1

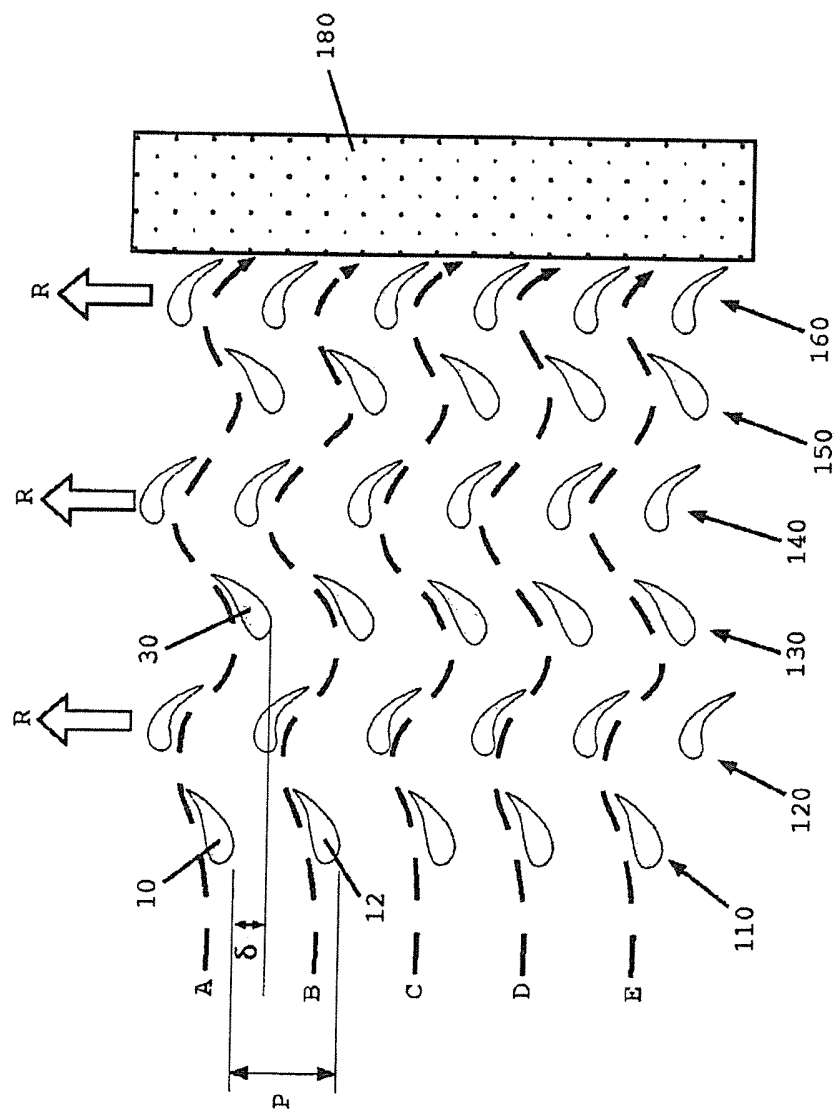


FIG. 3

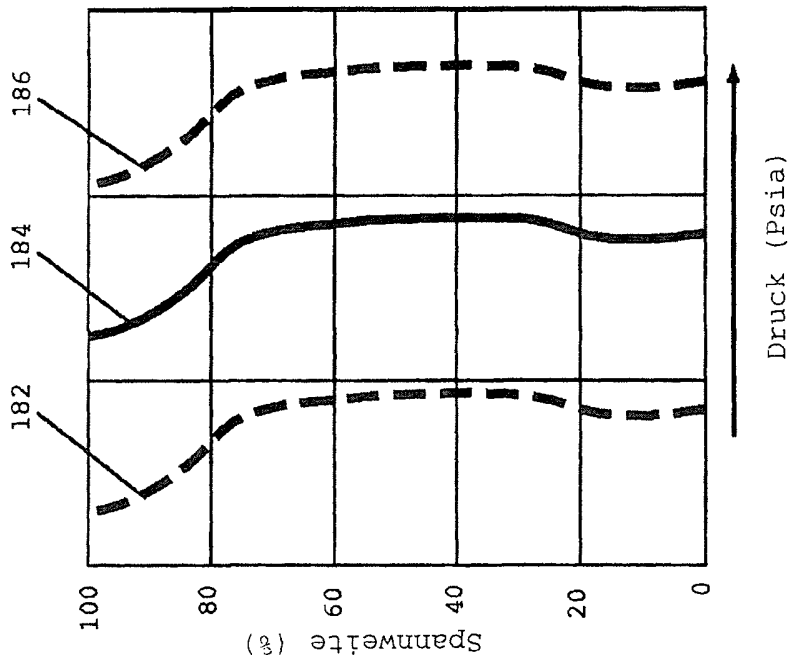


FIG. 2

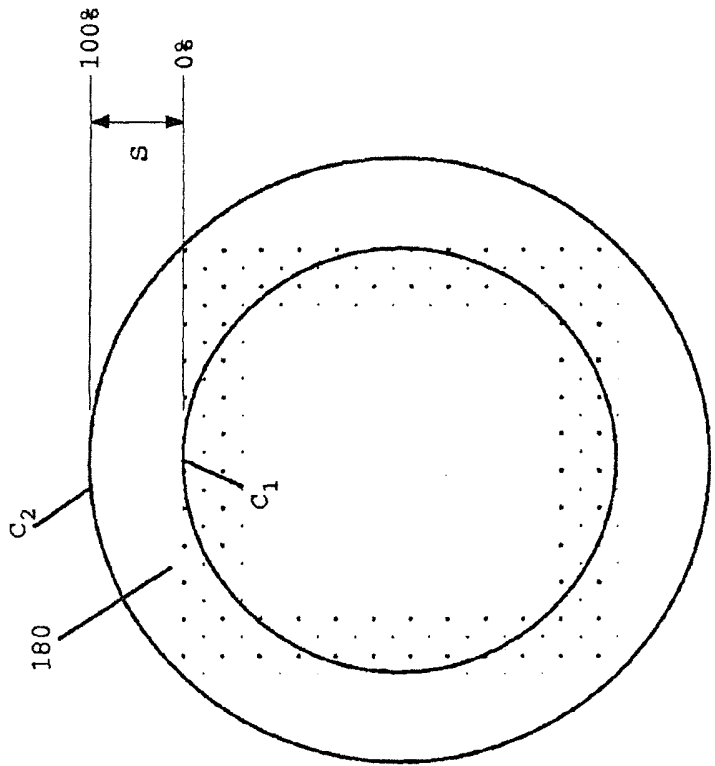


FIG. 4

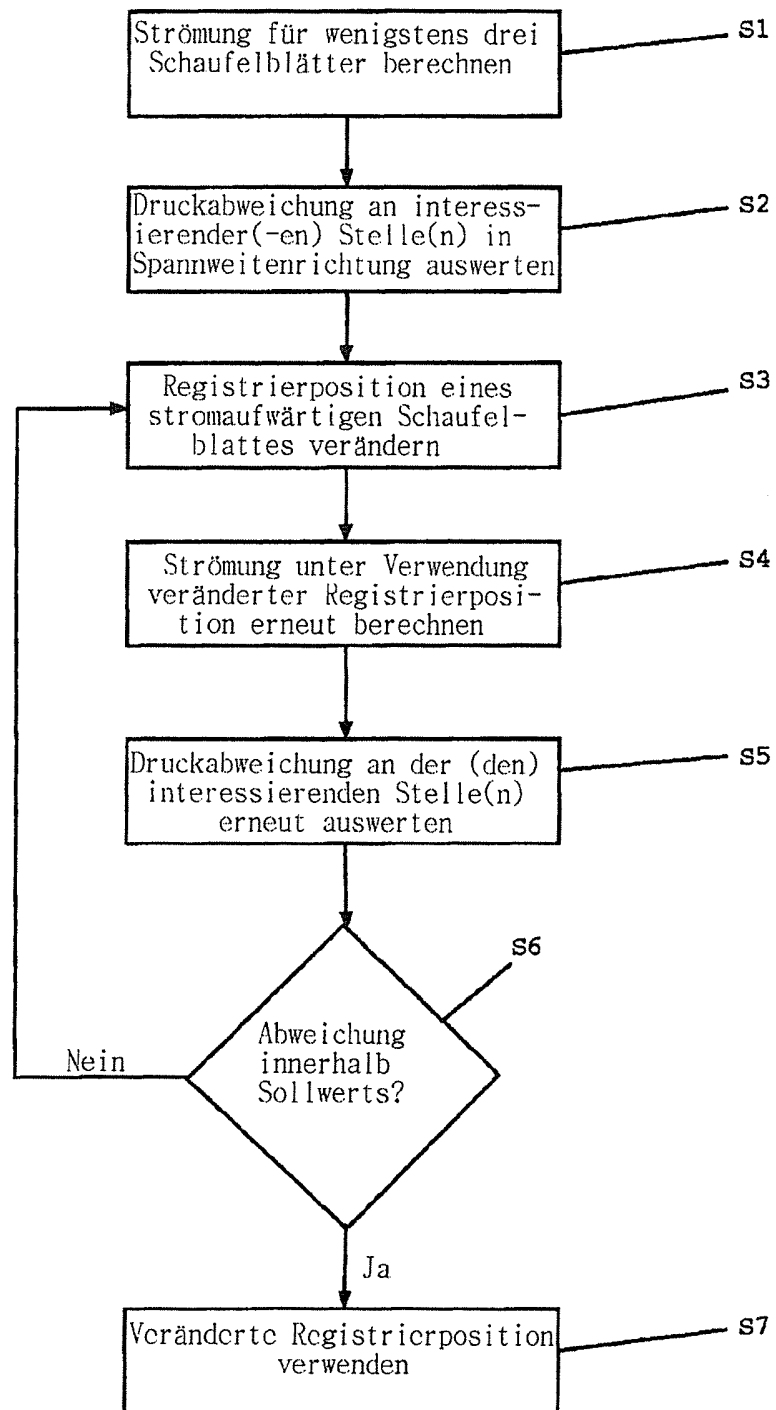


FIG. 5

