



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
28.03.2012 Patentblatt 2012/13

(51) Int Cl.:
F01D 5/22 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10179376.8**

(22) Anmeldetag: **24.09.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME RS

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

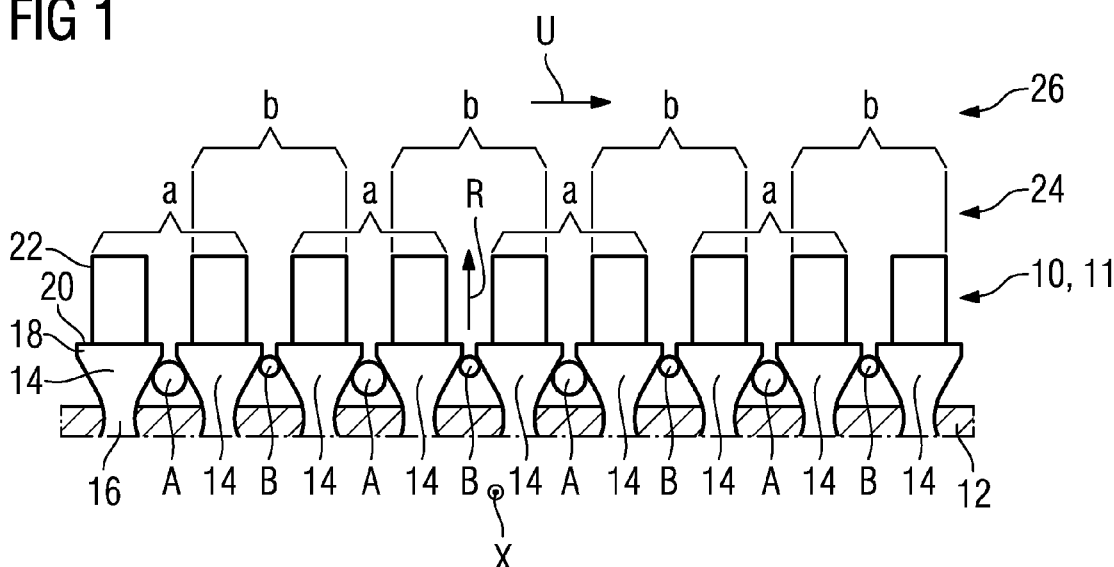
(72) Erfinder: **Kayser, Andreas**
42285 Wuppertal (DE)

(54) **Schaufelanordnung und zugehörige Gasturbine**

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaufelanordnung (11) mit einem Rotor (12) und mehreren entlang des Umfangs (U) des Rotors (12) in einem Kranz (10) verteilten Schaufeln (14), wobei zwei unmittelbar benachbarte Schaufeln (14) des Kranzes (10) ein Schaufelpaar (a, b, b', b'', d, e, h) bilden, zwischen dessen Schaufeln (14) ein Dämpfungselement (A, B, B', B'', D, E, H) angeordnet ist und wobei durch eine in radialer Richtung (R) wirkende Zentrifugalkraft bei einer Rotation des Rotors (12) um

eine Rotorachse das jeweilige Dämpfungselement (A, B, B', B'', D, E, H) mit den beiden Schaufeln (14) des ihnen zugeordneten Schaufelpaares (a, b, b', b'', d, e, h) in Kontakt treten. Um eine Frequenzverstimmung der Schwingungseigenschaften von Schaufeln (14) herbeizuführen, wodurch eine mechanische Bearbeitung des Schaufelblatts (22) hinfällig wird, wird vorgeschlagen, dass der Schaufelkranz (10) mindestens zwei Schaufelpaare (a, b, b', b'', d, e, h) mit unterschiedlichen Dämpfungselementen (A, B, B', B'', D, E, H) aufweist.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schaufelanordnung, mit einem Rotor und mehreren entlang des Umfangs des Rotors in einem Kranz verteilten Schaufeln, wobei zwei unmittelbar benachbarte Schaufeln des Kranzes ein Schaufelpaar bilden, zwischen dessen Schaufeln ein Dämpfungselement angeordnet ist und wobei durch eine in radialer Richtung wirkende Zentrifugalkraft bei einer Rotation des Rotors um eine Rotorachse das jeweilige Dämpfungselement mit den beiden Schaufeln des ihm zugeordneten Schaufelpaares in Kontakt tritt.

[0002] Es ist bekannt, Schaufelanordnungen, die in Strömungsmaschinen wie etwa Gasturbinen, verwendet werden, mit Dämpfungselementen zu versehen. Diese dienen dazu, unerwünschte Biege- und Torsionsschwingungen, die während des Betriebs in der Strömungsmaschine durch unterschiedliche Anregungen auftreten können, zu dämpfen. Auf diese Weise können durch hohe Schwingungsamplituden bedingte HCF-Schäden (Abk. für "High Cycle Fatigue") vermieden werden, die zu einer frühzeitigen Materialermüdung und zu einer damit verkürzten Lebensdauer der Schaufeln bzw. der Schaufelanordnung führen können. Die Dämpfungselemente werden hierbei zwischen den einzelnen Schaufeln angeordnet. Als Dämpfungselemente werden in der Regel lose Körper verwendet, die im Ruhezustand zunächst zwischen den Schaufelfüßen der Schaufeln am Rotor oder auf entsprechenden Tragestrukturen aufliegen und beim Betrieb des Rotors aufgrund der in radialer Richtung wirkenden Zentrifugalkraft gegen die Unterseite der Schaufelplattformen benachbarter Schaufeln gedrückt werden. Jedes Dämpfungselement steht dabei zur gleichen Zeit mit beiden benachbarten Schaufelplattformen in Kontakt. Hierdurch kann die kinetische Energie einer aufgrund von Vibrationen hervorgerufenen Relativbewegung zwischen den Schaufeln in Wärmeenergie umgewandelt werden, infolge der Reibung zwischen den jeweiligen Schaufelplattformen und dem anliegenden Dämpfungselement. Dies dämpft die Schwingungen und führt insgesamt zu einer verminderten Schwingungsbelastung der Schaufelanordnung.

[0003] Aus der Druckschrift EP 1 154 125 A2 ist eine Schaufelanordnung bekannt, bei der wenigstens zwei Dämpfungselemente zwischen benachbarten Schaufeln in Umfangsrichtung des Rotors hintereinander angeordnet sind, um eine wirksame Dämpfung der gesamten Schaufelanordnung zu erzielen. Die in dieser Druckschrift offenbarten Dämpfungselemente sind in voneinander abweichender Form ausgeführt, um möglichst eine Vielzahl unterschiedlicher Schwingungsmoden dämpfen zu können. Über die sich zwischen den Dämpfungselementen und den Schaufeln, und ferner über die sich zwischen den einzelnen Dämpfungselementen ausbildenden Kontaktbereiche kann zur Schwingungsdämpfung durch Reibungswirkung Schwingungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt werden. Jedoch weisen die sich zwischen den einzelnen Dämpfungselementen

ausbildenden Kontaktbereiche lediglich die Form eines Linienkontakts auf, mit dem eine nur mäßig ausgeprägte Dämpfungswirkung verbunden ist.

[0004] Andere Querschnitts-Formen von Dämpfern sind ebenfalls bekannt.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaufelanordnung mit Dämpfungselementen anzugeben, mit der unerwünschte Schwingungen noch wirksamer gedämpft und die Neigung der Schaufeln zum Schwingen aufgrund einer Anregung reduziert oder gar vermieden werden können.

[0006] Diese Aufgabe wird durch eine Schaufelanordnung gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Erfindungsgemäß ist bei der eingangs genannten Schaufelanordnung vorgesehen, dass der Schaufelkranz mindestens zwei Schaufelpaare mit unterschiedlichen Dämpfungselementen aufweist.

[0008] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass durch die Kopplung der Schaufeln mit Dämpfungselementen auch die Eigenfrequenzen im Verhältnis zu den freistehenden Schaufeln erhöht werden. Bei der Verwendung identischer Dämpfungselemente werden somit alle Schaufeln eines Schaufelkranzes in identischem Maße verstimmt. Folglich verhalten an sich identische Schaufeln mit an sich identischen Eigenfrequenzen für unterschiedliche Schwingungsformen durch die unterschiedliche Kopplung mit Hilfe unterschiedlicher Dämpfungselemente sich im Schaufelkranz so, als ob die betreffenden Schaufeln - jedoch ungekoppelt - unterschiedliche Eigenfrequenzen für die Schwingungsmoden aufweisen. Durch die Verwendung unterschiedlicher Dämpfungselemente innerhalb eines Schaufelkranzes kann die Größe der Eigenfrequenzen benachbarter Schaufeln so eingestellt werden, dass unmittelbar benachbarte Schaufeln hinsichtlich ihrer Eigenfrequenzen sich wesentlich unterscheiden. Dadurch ist es möglich, einen Schaufelkranz zu erhalten, dessen Schaufeln trotz identischer Ausführungsform (abgesehen von den Herstellungstoleranzen) und damit identischer Eigenfrequenz (abgesehen von den herstellungsbedingten Toleranzen und jede für sich alleine betrachtet) selbst bei nicht-synchroner Anregung eine geringere Anregung und somit eine geringere Schwingungsantwort erfahren und damit die Neigung zum Flattern reduziert wird.

[0009] Im Betrieb werden die Dämpfungselemente an die untere Seite benachbarter Schaufelplattformen von Schaufeln durch die Fliehkraft angedrückt. Infolge der Relativbewegungen benachbarter Schaufeln entsteht Reibung zwischen dem Dämpfer und der Schaufelplattform, was eine Kopplung hervorruft. Die Erkenntnis beruht auf der Tatsache, dass durch die Kopplung neben der Dissipation auch eine Frequenzverschiebung der Eigenfrequenzen benachbarter Schaufeln bewirkt. Dieser Effekt kann genutzt werden, um die Schaufeln vorzugsweise alternierend zu verstimmen. Alternierend verstimmte Schaufeln neigen besonders wenig zum Flattern. Außerdem ist der mit den Dämpfungselementen erzielbare Hub der Frequenzverschiebung deutlich größer

als bei den bisherigen Maßnahmen. Somit neigt ein erfindungsgemäßer Schaufelkranz deutlich weniger zu Flattern als Schaufelkränze mit Schaufeln, bei denen die Schaufeln an sich unterschiedliche Eigenfrequenzen aufweisen. Insofern ist der erfindungsgemäße Schaufelkranz aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Dämpfungselemente zwischen einem Paar von Schaufeln wesentlich resistenter gegen selbsterregte Schwingungen und dem sogenannten Flattern als herkömmliche Schaufelkränze.

[0010] Folglich können die unterschiedlichen Dämpfungselemente die ansonsten gängigen und üblichen Maßnahmen zum Verstellen der Eigenfrequenzen ersetzen, was auch als "Mistuning" bekannt ist. Diese waren z. B. das Kürzen der Hinterkante an der Schaufelspitze, das Schleifen des Schaufelprofils oder das Bohren von schaufelspitzseitigen Löchern im Schaufelblatt. Die Erfindung hat den besonderen Vorteil, dass durch das Mistunen der Schaufeln mit den beiden, jeder Schaufel zugeordneten Dämpfungselementen das Schaufelprofil der betreffenden Schaufel unverändert bleiben kann und damit keine Performanceverluste, weder in der Stufe noch in der Strömungsmaschine, wie beim Kürzen der Hinterkanten, einhergehen. Die bisherigen Maßnahmen zum Verstellen der Eigenfrequenzen der Schaufeln können somit entfallen. Mithin tritt eine Zeit- und Kostenersparnis ein, da der iterative Prozess der wiederholten Bearbeitung der Schaufeln mit wiederholten Schwingungsmessungen vollständig entfallen kann.

[0011] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0012] Gemäß einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist jede Schaufel des Schaufelkranzes zwei Schaufelpaaren zugeordnet, wobei zwei oder mehr Gruppen von Schaufelpaaren vorgesehen sind, innerhalb derer die Dämpfungselemente jeweils identisch sind und deren Dämpfungselemente sich von Gruppe zu Gruppe unterscheiden. Vorzugsweise ist eine erste Gruppe und eine zweite Gruppe von Schaufelpaaren vorgesehen, wobei, sofern die Anzahl der Schaufeln des Schaufelkranzes dies ermöglicht, jedes Schaufelpaar der einen Gruppe in Umfangsrichtung gesehen von einem Schaufelpaar der anderen Gruppe benachbart ist. Sofern die Anzahl der Schaufeln dies nicht ermöglicht, ist nur ein Großteil der Schaufeln des Schaufelkranzes in der angegebenen Reihenfolge angeordnet. Hierdurch wird eine zumindest größtenteils umlaufende ABAB-Reihe von Schaufelpaaren bzw. Dämpfungselementen angegeben, was für die nachfolgenden vorteilhaften Ausgestaltungen in analoger Weise gilt. Die ABAB-Reihe von unterschiedlichen Dämpfungselementen führt bereits zu einer Verschiebung der Eigenfrequenzen der Schaufeln, da die an einer Schaufel jeweils beidseitig anliegenden Dämpferelemente gemäß eines Ersatzmodells parallel geschaltet sind. Prinzipiell wirken die einzelnen Parallelschaltungen von Dämpfungselementen nicht unterschiedlich. Da jedoch die Plattformen beidseits des Schaufelblatts, d. h. die druckseitige Plattformseite und

die saugseitige Plattformseite, sich in Form voneinander unterscheiden, weisen deren Kontaktbereiche für die Dämpfungselemente jeweils unterschiedliche Winkel und einen unterschiedlichen Abstand zur Schwerelinie der Schaufeln auf. Dieser Effekt wird durch den Anstellwinkel der Fußachse - in Bezug auf die Maschinenachse - verstärkt. Hierdurch ergeben sich von Schaufel zu Schaufel leicht variierende Koppelsteifigkeiten. Somit führt selbst die alternierende Anordnung von zwei unterschiedlichen Dämpfungselementen schon zu einer Verschiebung der Eigenfrequenzen unmittelbar benachbarter Schaufeln.

[0013] Eine besonders bevorzugte Ausgestaltung sieht vor, dass eine erste Gruppe und eine zweite Gruppe von Schaufelpaaren vorgesehen sind, wobei jedes Schaufelpaar der ersten Gruppe von einem Schaufelpaar der ersten Gruppe und einem Schaufelpaar der zweiten Gruppe benachbart ist (AABBAABB-Reihe). Hierdurch wird eine höhere Frequenzverstimmung erreicht als bei der ABAB-Reihe, da die sich aus dem Ersatzmodell ergebenden Koppelsteifigkeiten einer Schaufel zur Nachbarschaufel deutlich unterschiedlich sind.

[0014] Eine ebenso wirksame Frequenzverstimmung kann erreicht werden, wenn eine erste Gruppe, eine zweite Gruppe und eine dritte Gruppe von Schaufelpaaren vorgesehen sind, wobei jedes Schaufelpaar einer der drei Gruppen von zwei Schaufelpaaren benachbart ist, die jeweils einer der beiden anderen Gruppen zugehörig sind (ABCABC-Reihe).

[0015] Vorzugsweise unterscheiden sich die unterschiedlichen Dämpfungselemente hinsichtlich der Größe, der Masse, der Querschnittskontur des Materials und/oder des Koppelkontakts zu den Schaufeln. Derartige Dämpfungselemente lassen sich mit geringem Aufwand herstellen, ohne den Guss und die Kontur von Schaufeln für die unterschiedlichen Gruppen anzupassen. Beispielsweise unterscheiden sich die Dämpfungselemente in ihrer geometrischen Form. So können mit geeignet geformten Dämpfungselementen auch Schwingungsmoden wirksam gedämpft werden, die bei gleichbleibender Gestaltung aller Dämpfungselemente nicht wirksam gedämpft werden können. Alternativ oder ergänzend können sich die Dämpfungselemente auch in ihren Massen unterscheiden, um durch Kombination mit geeigneten geometrischen Formen eine möglichst große Anzahl unterschiedlicher Schwingungsmoden wirksam zu dämpfen. Ferner können durch Verwendung von Dämpfungselementen aus unterschiedlichen Materialien die Reibungsverhältnisse (Reibkoeffizient, Rauheit) in den Kontaktbereichen beeinflusst werden, um auch so eine gezielte Dämpfung mehrerer Moden, auch in erhöhten Frequenzbereichen, zu ermöglichen.

[0016] Um die Dämpfungselemente geeignet zwischen benachbarten Schaufeln anordnen zu können, sind diese vorzugsweise stabförmig ausgebildet.

[0017] Bei einer konkreten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Schaufelanordnung ist das Dämpfungs-

element eines Schaufelpaares mehrteilig ausgebildet. Es umfasst - in Umfangsrichtung des Rotors gesehen - zwei (oder mehr) hintereinander angeordnete Teilelemente, die vorzugsweise stabförmig ausgebildet sind. Beispielsweise weist eines der Teilelemente einen Querschnitt in der Form eines Keils und das andere Teilelement einen Querschnitt in Form eines Viertelkreises auf. Insbesondere durch aufeinander abgestimmte Querschnittsformen der Dämpfungselemente bzw. deren Teile lassen sich die erfindungsgemäßen Vorteile besonders effizient erzielen.

[0018] Bei einer weiteren konkreten Weiterbildung sind die Dämpfungselemente aus Stahl oder Keramik hergestellt, also Materialien, mit denen eine wirksame Dämpfung realisiert werden kann.

[0019] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaufelanordnung anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert, in denen

FIG 1 die axiale Ansicht auf einen Ausschnitt der Abwicklung eines Laufschaufelkranzes einer Axialturbomaschine mit zwischen den Schaufeln angeordneten Dämpfungselementen gemäß einer ersten Ausgestaltung,

FIG 2,4,5,6,7 den Ausschnitt gemäß FIG 1, jedoch mit unterschiedlichen Dämpfungselementen gemäß weiterer Ausgestaltungen und

FIG 3 ein mechanisches Ersatzmodell über die Kopplung der Schaufeln des Schaufelkranzes mit Hilfe der Dämpfungselemente.

[0020] In FIG 1 ist ein Teil des Laufschaufelkranzes 10 von an einem Rotor 12 entlang des Umfangs U verteilten Schaufeln 14 einer nicht weiter dargestellten Axialturbomaschine dargestellt. Die Axialturbomaschine kann beispielsweise als Verdichter, Dampfturbine oder stationäre Gasturbine ausgestaltet sein, welche die Schaufelanordnung 11 mit dem Kranz 10 von Schaufeln 14 umfasst. Diese weisen jeweils einen Schaufelfuß 16 zur Befestigung der jeweiligen Schaufel 14 am Rotor 12 auf.

[0021] Der Schaufelfuß 16 ist in bekannter Manier schwalbenschwanzförmig oder auch tannenbaumförmig ausgestaltet. Zur formschlüssigen Befestigung am Rotor 12 ist dieser in zum Schaufelfuß 16 korrespondierenden Haltenuten des Rotors 12 eingeschoben, so dass bei Rotation des Rotors 12 die Schaufeln 14 sicher gehalten sind. Die Haltenuten und somit auch die Schaufelfüße 16 erstrecken sich hauptsächlich in Axialrichtung und sind gegenüber einer Maschinenachse in einem Anstellwinkel geneigt.

[0022] Nach außen geht der Schaufelfuß 16 in einen nicht weiter bezeichneten Schaufelhals über, an dem

sich eine Plattform 18 anschließt. Deren Plattformoberfläche 20 begrenzt den Strömungskanal der Axialturbomaschine. An der Plattformoberfläche 20 ist ein aerodynamisches gekrümmtes Schaufelblatt 22 freistehend angeordnet.

[0023] Gemäß einer ersten Ausgestaltung sind zwischen den Plattformen 18 unmittelbar benachbarter Schaufeln 14 entweder Dämpfungselemente vom Typ A oder vom Typ B vorgesehen. Beide Typen A, B von Dämpfungselementen sind stabförmig ausgebildet, beispielsweise als Dämpferdrähte. Nach der in FIG 1 dargestellten Ausführungsform weisen die Dämpfungselemente A, B jeweils einen kreisrunden Querschnitt auf. Die Dämpfungselemente vom Typ A weisen jedoch einen größeren Durchmesser auf als die Dämpfungselemente vom Typ B auf. Beide Dämpfungselemente A, B sind daher zylindrisch.

[0024] Während der Rotation des Rotors 12 streben die lose zwischen den Plattformen 18 liegenden Dämpfungselemente A, B in radialer Richtung R nach außen und werden durch die Fliehkraft an die abgeschrägten Unterseiten benachbarter Plattformen 18 angepresst. Jedes Dämpfungselement A liegt an zwei unmittelbar benachbarten ein Schaufelpaar a bildenden Schaufeln 14 an. Ebenso liegt jedes Dämpfungselement B an zwei unmittelbar benachbarten, ein Schaufelpaar b bildenden Schaufeln 14 an. Aufgrund des kreisrunden Querschnitts der Dämpfungselemente A, B liegen diese jeweils unter Bildung eines Linienkontakts an jeder Schaufel 14 an. Da jede Schaufel 14 beidseits des Schaufelhalses ein Dämpfungselement A, B aufweist, gehört jede Schaufel 14 beiden Schaufelpaaren a, b an. Gemäß der in FIG 1 gezeigten Schaufelanordnung 11 ist somit eine erste Gruppe 24 von Schaufelpaaren a und eine zweite Gruppe 26 von Schaufelpaaren b vorgesehen, wobei jedes Schaufelpaar a (bzw. b) der einen Gruppe 24 (bzw. 26) in Umfangsrichtung gesehen, von einem Schaufelpaar b (bzw. a) der anderen Gruppe 26 (bzw. 24) benachbart ist. Aufgrund dieser Ausgestaltung sind die Dämpfungselemente A, B in Umfangsrichtung U abwechselnd hintereinander zwischen zwei unmittelbar benachbarten Schaufeln 14 aufgereiht. Diese Ausgestaltung wird auch als Anordnung mit einem ABAB-Muster bezeichnet.

[0025] In FIG 2 und auch den anderen Figuren sind identische Merkmale mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0026] Die Ausgestaltung gemäß FIG 2 unterscheidet sich von der Ausgestaltung nach FIG 1 lediglich in der Form und Gestalt des jeweils zweiten Dämpfungselementes. Anstelle der mit geringeren Durchmesser versehenen Dämpfungselemente B sind in FIG 2 nun Dämpfungselemente B' vorgesehen, die prinzipiell den gleichen Durchmesser aufweisen wie die Dämpfungselemente vom Typ A, jedoch ist die Querschnittsform der Dämpfungselemente B' nicht kreisförmig, sondern kreissegmentförmig. Die Form des Kreissegments ist dabei so gewählt, dass der Mittelpunkt des vollständigen Kreises noch von der Kreissegment-Querschnittsfläche ein-

geschlossen ist. Durch die Kreissegmentform liegt das Dämpfungselement B' an der einen (der in FIG 2 jeweils rechts dargestellten) Schaufel 14 des Schaufelpaares b flächig und an der anderen (der in FIG 2 jeweils links dargestellten) Schaufel 14 des Schaufelpaares b' linienartig an. Gemäß der in FIG 2 gezeigten Schaufelanordnung 11 ist somit eine erste Gruppe 24 von Schaufelpaaren a und eine zweite Gruppe 26 von Schaufelpaaren b' vorgesehen, wobei jedes Schaufelpaar a (bzw. b') der einen Gruppe 24 (bzw. 26) in Umfangsrichtung U gesehen, von einem Schaufelpaar b' (bzw. a) der anderen Gruppe 26 (bzw. 24) benachbart ist. Auch hier handelt es sich prinzipiell um Reihe mit einem ABAB-Muster, bei der die angegebene Reihenfolge der Dämpfungselemente A, B' bzw. der Schaufelpaare a, b' entlang des Umfangs U des Schaufelkranzes 10 sich in regelmäßiger Reihenfolge wiederholt.

[0027] FIG 3 zeigt den Ausschnitt der Abwicklung des Schaufelkranzes 10 mit Laufschaufeln 14 nach FIG 2, wobei anstelle der Dämpfungselemente A bzw. B' die im Ersatzmodell der Dämpfungselemente A, B' zu verwendenden Federn 28, 30 dargestellt sind. Da es sich bei dem Dämpfungselement A um einen symmetrischen bzw. zylindrischen Dämpfer handelt, wird im Ersatzmodell eine Translationsfeder 28 zur Kopplung der beiden Schaufeln 14 des Schaufelpaares a dargestellt. Das asymmetrische Dämpfungselement B' erzwingt aufgrund der flächigen Anlage des Kreissehnenabschnitts an der abgeschrägten Unterseite der Plattform 18 zusätzlich zur Translation ein Moment, so dass zusätzlich zur Translationsfeder 28 eine Drehfeder 30 im Ersatzschaltbild zwischen den Schaufeln 14 des Schaufelpaares b' dargestellt ist. Die Translationsfedern 28 weisen eine Kopplungssteifigkeit C1, C3 und die Drehfeder eine Kopplungssteifigkeit C2 auf. Die gesamte Koppelsteifigkeit einer einzelnen Schaufel 14 ergibt sich dann durch die Parallelschaltung der Koppelsteifigkeit C3 einerseits und der Koppelsteifigkeiten C2 und C1. Die Federn können dabei auch nicht lineare Eigenschaften besitzen.

[0028] Da die Schaufelblätter 22 gegenüber der Axialrichtung X angestellt sind und somit die beiden Seiten der Plattform 18 einer Schaufel 14 seitlich des Schaufelblatts 22 asymmetrisch ausgestaltet sind, bewirkt die Reihe mit dem ABAB-Muster von Dämpfungselementen A, B bzw. A, B' eine alternierende Frequenzverstimmung von Schaufeln 14, wodurch die Eigenfrequenzen unmittelbar benachbarter Schaufeln 14 allein durch die Verwendung von unterschiedlichen Dämpfungselementen A, B, B' verschoben sind. Die Verschiebung der Frequenzen verhindert in Betrieb die Ausbreitung von umlaufenden Schwingungswellen im geschaukelten Kranz, was die Anregung der Schaufelblätter 22 zum Flattern erschwert. Dies vergrößert den Betriebsbereich der Axialturbomaschine und gewährleistet einen sicheren Betrieb.

[0029] Weitere Ausgestaltungen zum Verstimmen der Eigenfrequenzen von Schwingungsmoden von Schaufeln 14 sind in FIG 4, FIG 5, FIG 6 und FIG 7 gezeigt.

Darin sind weitere Reihen mit unterschiedlichen Mustern exemplarisch angegeben.

[0030] FIG 4 zeigt eine neue Reihe mit drei Gruppen 24, 26, 27 von Schaufelpaaren a, b, d, wobei jedes Schaufelpaar a bzw. b bzw. d einer Gruppe 24 bzw. 26 bzw. 27 von zwei Schaufelpaaren b, d bzw. a, d bzw. a, b benachbart ist, die jeweils einer der beiden anderen Gruppen 26, 27 bzw. 24, 27 bzw. 24, 26 zugehörig sind. Zwischen den beiden Schaufeln 14 jedes Schaufelpaares a ist ein Dämpfungselement vom Typ A vorgesehen. Dieser ist im Querschnitt kreisrund und weist einen eher größeren Durchmesser auf. Jedem Schaufelpaar b ist ein Dämpfungselement vom Typ B zugeordnet, welcher im Querschnitt auch kreisrund ist. Verglichen mit dem Dämpfungselement vom Typ A ist der Durchmesser des Dämpfungselements vom Typ B jedoch kleiner. Jedem Schaufelpaar d ist ein Dämpfungselement vom Typ D zugeordnet. Im dargestellten Ausführungsbeispiel entspricht dessen Ausgestaltung der Ausgestaltung des Dämpfungselements vom Typ B' aus FIG 2. Diese Ausgestaltung weist demnach eine ABCABC-Reihe auf.

[0031] Nach FIG 5 ist eine weitere Schaufelanordnung 11 gezeigt, bei der eine erste Gruppe 24 und eine zweite Gruppe 26 von Schaufelpaaren a, b' vorgesehen sind, wobei jedes Schaufelpaar a der ersten Gruppe 24 von einem Schaufelpaar a der ersten Gruppe 24 und einem Schaufelpaar b' der zweiten Gruppe 26 benachbart ist. Zwischen den beiden Schaufeln 14 jedes Schaufelpaares a ist ein Dämpfungselement vom Typ A vorgesehen. Dieser ist im Querschnitt kreisrund und weist einen eher größeren Durchmesser auf. Jedem Schaufelpaar b' ist ein Dämpfungselement vom Typ B' zugeordnet, dessen Querschnitt kreissegmentförmig ist. Diese Ausgestaltung lässt sich als AABBAABB-Reihe beschreiben.

[0032] Eine alternative Ausgestaltung mit einer AB-BABB-Reihe ist in FIG 6 schematisch dargestellt. Auch hier sind die unterschiedlichen Typen A, A, B' der Dämpfungselemente entlang des Umfangs zwischen den Schaufeln 14 des Schaufelkranzes 10 in wiederkehrender Reihenfolge verteilt.

[0033] Abschließend zeigt FIG 7 eine weitere ABAB-Reihe von abgeänderten Dämpfungselementen E, H in einem Laufschaufelkranz. Eine erste Gruppe 24 von Laufschaufelpaaren e 14 weist zwischen den jeweils zugehörigen Schaufeln 14 jeweils ein Dämpfungselement vom Typ E auf. Auch das Dämpfungselement E ist prinzipiell stabförmig ausgestaltet. Im Gegensatz zu den bisher gezeigten Ausgestaltungen von Dämpfungselementen A, B, B', B'', D ist dieses jedoch im Querschnitt dreieckförmig ausgestaltet, so dass es an jeder Schaufel 14 des ihm zugeordneten Schaufelpaares e flächig anliegt. Das zum Dämpfungselement E unterschiedliche Dämpfungselement H ist mehrteilig ausgestaltet und umfasst jeweils zwei Teile H1, H2. Das Teil H1 ist im Querschnitt dreieckig und das Teil H2 weist im Querschnitt die Kontur eines Kreissektors in Form eines Viertelkreises auf. Dadurch ergeben sich zwei Flächenkontakte und ein Linienelementkontakt je Dämpfungselement H.

[0034] Die in den FIGs 4, 5, 6 und 7 gezeigten Schaufelanordnungen 11 weisen höhere Koppelsteifigkeiten als die Ausgestaltungen nach FIG 1 bzw. FIG 2 auf, wodurch einander unmittelbar benachbarte Schaufeln 14 in ihren Frequenzeigenschaften noch deutlicher verstimmt werden. Insofern eignen sich diese Schaufelanordnungen 11 besonders, wenn mit Hilfe unterschiedlicher Dämpfungselemente eine Frequenzverstimmung von Schaufeln 14 eines Schaufelkranzes 10 herbeigeführt werden soll, um die Flatteranregung der Schaufeln 14 zu verhindern.

[0035] Je nach Anzahl der Schaufeln 14 im Schaufelkranz ist eine der vorgenannten Schaufelanordnungen 11 besonders günstig anwendbar. Selbstverständlich ist es möglich, wenn die Schaufelanzahl im Kranz nicht durch zwei oder durch drei teilbar ist, auch eine größere Anzahl an Dämpfungselementtypen je Schaufelkranz 10 zu verwenden.

[0036] Falls der Schaufelkranz 10 eine Anzahl von Schaufeln 14 aufweist, die kein ganzzahliges Vielfaches der Anzahl der Dämpfungselementtypen der Reihe ist, besteht für alle Ausgestaltungen selbstverständlich die Möglichkeit, dass nur ein Großteil der aufeinander folgenden Schaufelpaare (a, b, b', b'', d, e, h) Mitglieder der Reihe sind und diese bilden. Die übrigen Schaufelpaare werden dann, mit geeigneten Dämpfungselementen versehen, die sich nicht der Reihe unterordnen lassen. In diesem Fall besteht auch die Möglichkeit, dass der Schaufelkranz 10 tatsächlich zwei benachbarte Schaufeln 14 mit identischen oder angenäherten Frequenzeigenschaften aufweisen.

[0037] Daneben sind unterschiedlichste Dämpfungselementtypen denkbar und miteinander kombinierbar, so dass die hier dargestellten Ausführungsbeispiele in keiner Weise als limitierend zu verstehen sind. Selbst die in Umfangsrichtung alternierende Anordnung von Dämpfungselementen vom Typ B' und vom Typ B'' führt aufgrund der weiter oben bereits erwähnten, von Schaufel zu Schaufel variierenden Koppelsteifigkeit, zu einer alternierenden Frequenzverstimmung.

[0038] Beispielsweise wäre denkbar, dass als Unterscheidungsmerkmal zwischen Dämpfungselementen unterschiedlicher Typen Nuten (gerillte Dämpfungselemente) entlang Querschnittskontur vorgesehen sind. Zudem sind auch andere Reihen von Dämpfungselementtypen ebenso möglich, beispielsweise eine ABCBABC-BA-Reihe.

[0039] Insgesamt betrifft die Erfindung somit eine Schaufelanordnung 11 mit einem Rotor 12 und mehreren entlang des Umfangs U des Rotors 12 in einem Kranz 10 verteilten Schaufeln 14, wobei zwei unmittelbar benachbarte Schaufeln 14 des Kranzes 10 ein Schaufelpaar a, b, b', b'', d, e, h bilden, zwischen dessen Schaufeln 14 ein Dämpfungselement A, B, B', B'', D, E, H angeordnet ist und wobei durch eine in radialer Richtung R wirkende Zentrifugalkraft bei einer Rotation des Rotors 12 um eine Rotorachse das jeweilige Dämpfungselement A, B, B', B'', D, E, H mit den beiden Schaufeln 14 des

ihnen zugeordneten Schaufelpaares a, b, b', b'', d, e, h in Kontakt treten. Um eine Frequenzverstimmung der Schwingungseigenschaften von Schaufeln 14 herbeizuführen, wodurch eine mechanische Bearbeitung des Schaufelblatts 22 hinfällig wird, wird vorgeschlagen, dass der Schaufelkranz 10 mindestens zwei Schaufelpaare a, b, b', b'', d, e, h mit unterschiedlichen Dämpfungselementen A, B, B', B'', D, E, H aufweist.

Patentansprüche

1. Schaufelanordnung (11), mit einem Rotor (12) und mehreren entlang des Umfangs des Rotors (12) in einem Kranz (10) verteilten Schaufeln (14), wobei zwei unmittelbar benachbarte Schaufeln (14) des Kranzes (10) ein Schaufelpaar (a, b, b', b'', d, e, h) bilden, zwischen dessen Schaufeln (14) ein Dämpfungselement (A, B, B', B'', D, E, H) angeordnet ist und wobei durch eine in radialer Richtung (R) wirkende Zentrifugalkraft bei einer Rotation des Rotors (12) um eine Rotorachse das jeweilige Dämpfungselement (A, B, B', B'', D, E, H) mit den beiden Schaufeln (14) des ihm zugeordneten Schaufelpaares (a, b, b', b'', d, e, h) in Kontakt treten, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelkranz (10) mindestens zwei Schaufelpaare (a, b, b', b'', d, e, h) mit unterschiedlichen Dämpfungselementen (A, B, B', B'', D, E, H) aufweist.
2. Schaufelanordnung (11) nach Anspruch 1, bei dem jede Schaufel (14) des Kranzes (10) zwei Schaufelpaaren (a, b, b', b'', d, e, h) zugeordnet ist sowie zwei oder mehr Gruppen (24, 26, 27) von Schaufelpaaren (a, b, b', b'', d, e, h) vorgesehen sind, innerhalb derer die Dämpfungselemente (A, B, B', B'', D, E, H) jeweils identisch sind und deren Dämpfungselemente (A, B, B', B'', D, E, H) sich von Gruppe (24, 26, 27) zu Gruppe (24, 26, 27) unterscheiden.
3. Schaufelanordnung (11) nach Anspruch 2, bei der eine erste Gruppe (24) und eine zweite Gruppe (26) von Schaufelpaaren (a, b bzw. a, b' bzw. e, h) vorgesehen sind, wobei ein Großteil der Schaufelpaare (a bzw. b, b' bzw. e) oder jedes Schaufelpaar (a bzw. b, b' bzw. e) der einen Gruppe (24 bzw. 26) in Umfangsrichtung (U) gesehen von zwei Schaufelpaaren (b, b' bzw. a bzw. h) der anderen Gruppe (26 bzw. 24) benachbart ist.
4. Schaufelanordnung (11) nach Anspruch 2, bei der eine erste Gruppe (24) und eine zweite Gruppe (26) von Schaufelpaaren (a, b'') vorgesehen sind, wobei ein Großteil der Schaufelpaare (a bzw. b'') oder jedes Schaufelpaar (a bzw. b'') der einen Grup-

pe (24 bzw. 26) von einem Schaufelpaar (a bzw. b") der einen Gruppe (24 bzw. 26) und einem Schaufelpaar (b" bzw. a) der anderen Gruppe (26 bzw. 24) benachbart ist.

5

5. Schaufelanordnung (11) nach Anspruch 2, bei der eine erste Gruppe (24), eine zweite Gruppe (26) und eine dritte Gruppe (27) von Schaufelpaaren (a, b, d) vorgesehen sind, wobei ein Großteil der Schaufelpaare (a bzw. b bzw. d) oder jedes Schaufelpaar einer Gruppe (24 bzw. 26 bzw. 27) von zwei Schaufelpaaren (b, d bzw. a, d bzw. a, b) benachbart ist, die jeweils einer der anderen beiden Gruppen (26, 27 bzw. 24, 27 bzw. 24, 26) zugehörig sind. 10 15
6. Schaufelanordnung (11) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der die unterschiedlichen Dämpfungselemente (A, B, B', B", D, E, H) sich hinsichtlich der Größe, der Masse, der Querschnittskontur, des Materials und/oder der Art des Koppelkontakts zu den Schaufeln (14) hin unterscheiden. 20
7. Schaufelanordnung (11) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der das Dämpfungselement (H) eines Schaufelpaares (h) mehrteilig ausgebildet ist. 25
8. Gasturbine mit einer Schaufelanordnung 11 nach einem der Ansprüche 1 bis 7. 30

35

40

45

50

55

FIG 1

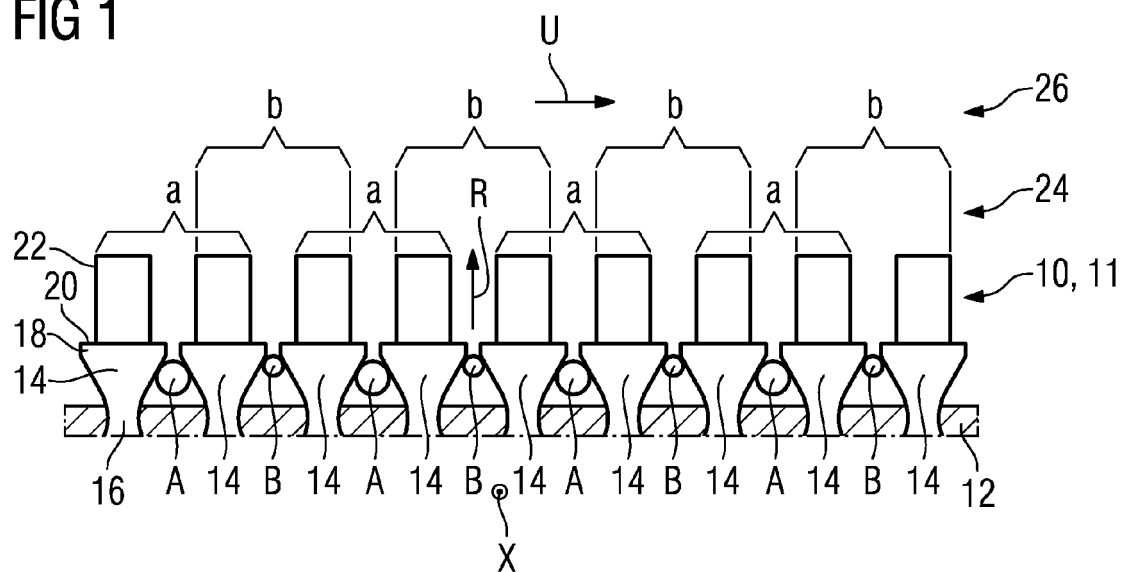


FIG 2

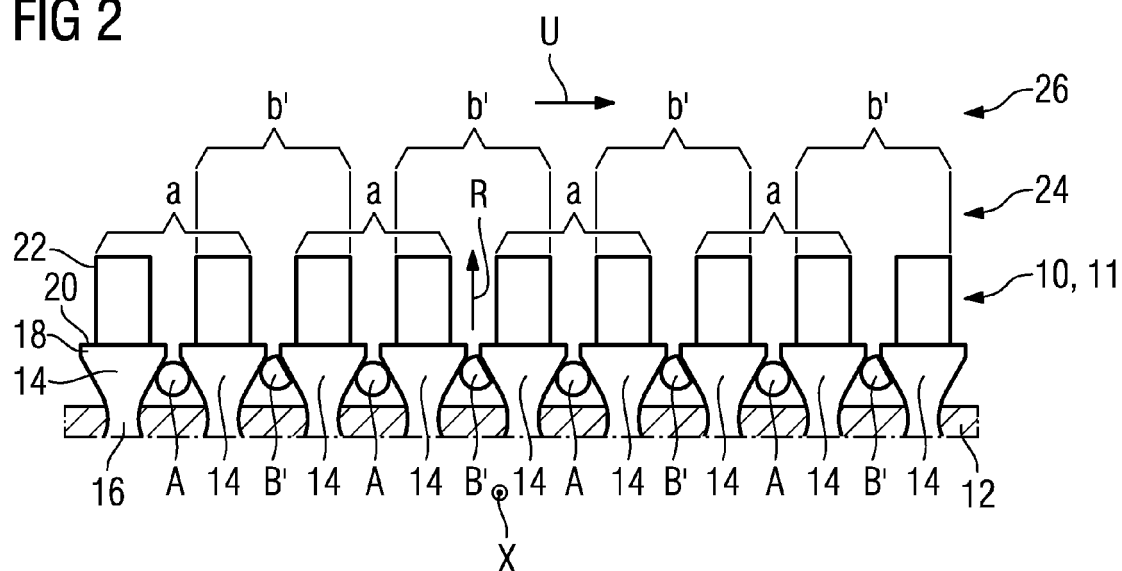


FIG 3

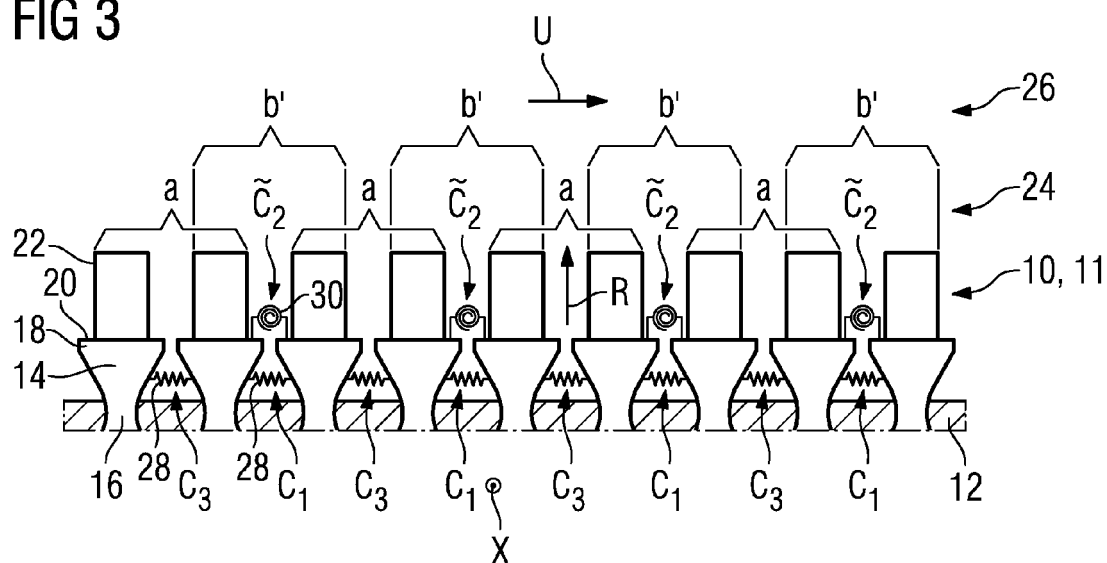


FIG 4

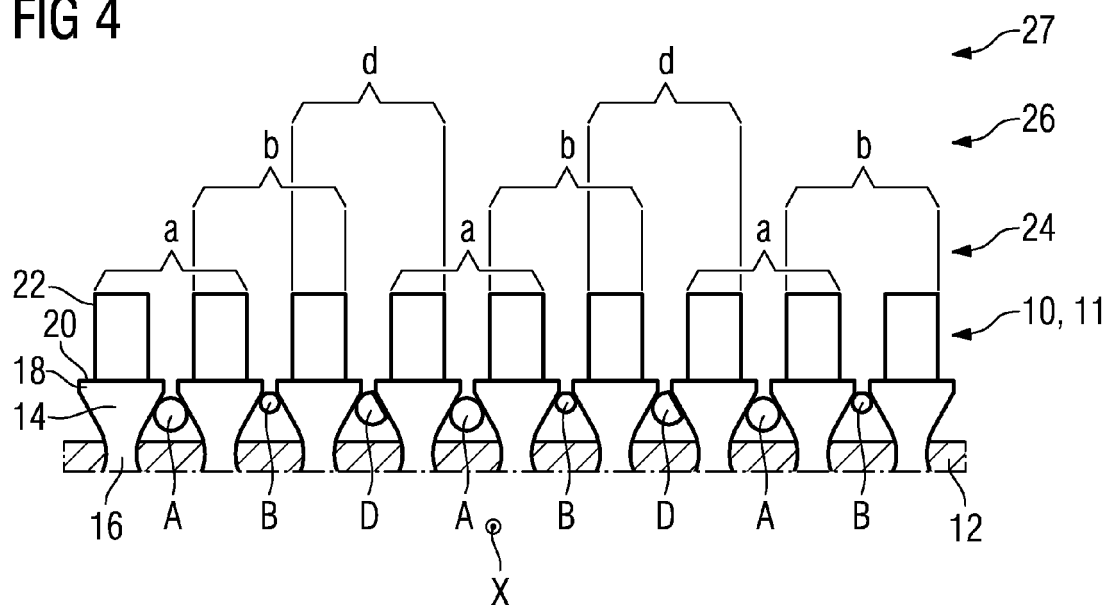


FIG 5

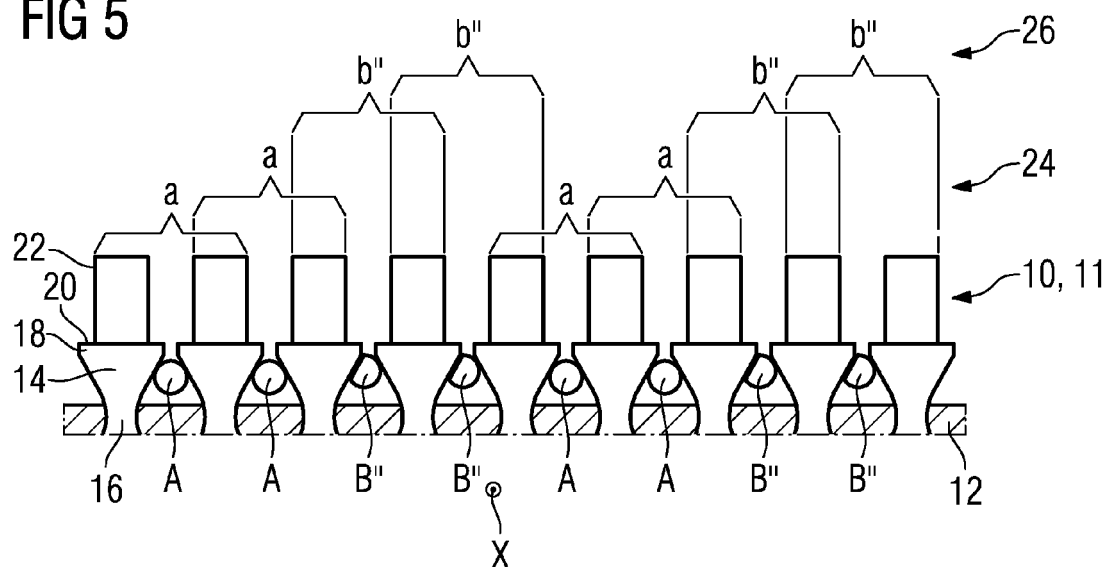


FIG 6

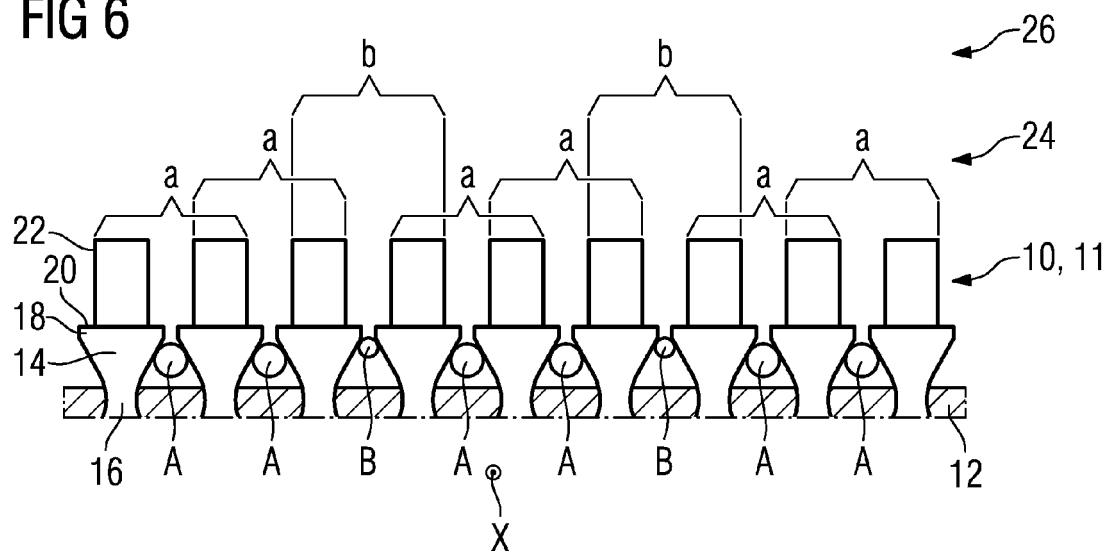
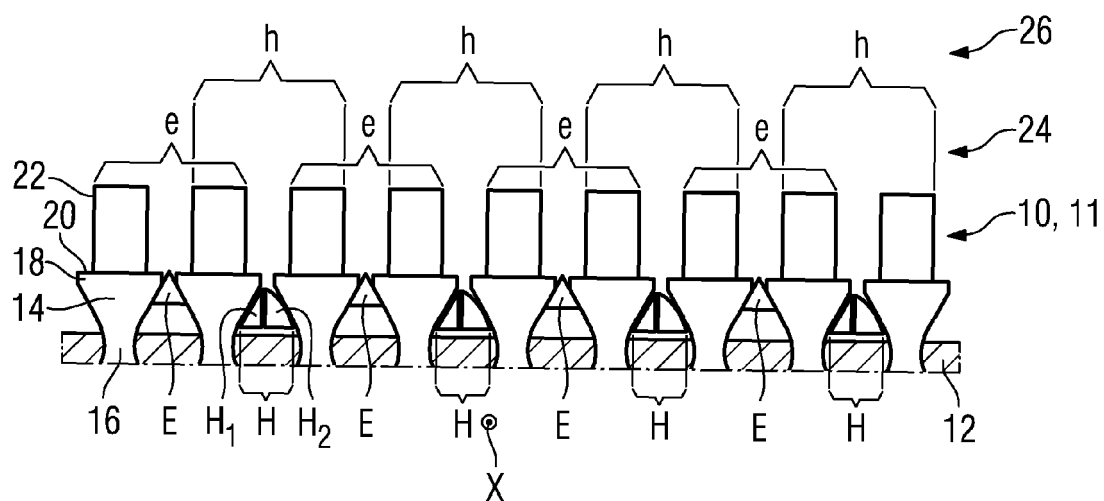


FIG 7





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 10 17 9376

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,D	EP 1 154 125 A2 (ALSTOM POWER NV [NL] ALSTOM SWITZERLAND LTD [CH] ALSTOM TECHNOLOGY LTD) 14. November 2001 (2001-11-14) * Ansprüche 18,22; Abbildungen 1-4 *	1-8	INV. F01D5/22
X	DE 819 242 C (ESCHER WYSS AG) 31. Oktober 1951 (1951-10-31) * Abbildungen 3,4 *	1-8	
X	US 1 618 285 A (WESTINGHOUSE) 22. Februar 1927 (1927-02-22) * Abbildung 5 *	1-8	
X	FR 1 263 677 A (HAVILLAND ENGINE CO LTD) 9. Juni 1961 (1961-06-09) * Abbildungen *	1-8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 6. Dezember 2010	Prüfer Raspo, Fabrice
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 10 17 9376

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

06-12-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1154125	A2	14-11-2001	DE 10022244 A1	15-11-2001
			US 2001038793 A1	08-11-2001

DE 819242	C	31-10-1951	KEINE	

US 1618285	A	22-02-1927	KEINE	

FR 1263677	A	09-06-1961	KEINE	

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1154125 A2 [0003]