

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 593 797 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**10.07.1996 Patentblatt 1996/28**

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **F04D 27/02, F04D 29/28**

(21) Anmeldenummer: **92117780.4**

(22) Anmeldetag: **17.10.1992**

### (54) **Stabilisierungseinrichtung zur Kennfelderweiterung eines Verdichters**

Stabilizing device for the increase of the surge margin of a compressor

Dispositif de stabilisation pour l'extension de la tolérance de pompage d'un compresseur

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**CH DE FR GB LI**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**27.04.1994 Patentblatt 1994/17**

(73) Patentinhaber: **ASEA BROWN BOVERI AG**  
**CH-5401 Baden (CH)**

(72) Erfinder:  
• **Arnet, Daniel**  
**CH-5444 Künten (CH)**  
• **Heinrich, Klaus, Dr.**  
**CH-5415 Nussbaumen (CH)**

(74) Vertreter: **Klein, Ernest et al**  
**ABB Management AG**  
**TEI-Immaterialgüterrecht**  
**Postfach**  
**Wiesenstrasse 26/28**  
**5401 Baden (CH)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 229 519**                      **WO-A-92/03660**  
**CH-A- 675 279**                      **FR-A- 1 528 797**  
**GB-A- 761 937**                      **GB-A- 798 480**  
**GB-A- 2 220 447**                      **US-A- 4 212 585**

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 7, no. 95  
(M-209)(1240) 21. April 1983 & JP-A-58 18 600  
(MITSUBISHI) 3 February 1983

**EP 0 593 797 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

### Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft einen Stabilisierungseinrichtung zur Kennfelderweiterung eines Verdichters gemäss Oberbegriff des Anspruchs 1.

### Stand der Technik

Derartige Stabilisierungseinrichtungen sind für axiale und radiale Verdichter bekannt, siehe z.B. GB-A-761 937, FR-A-1 528 797 oder GB-A-798 480. Bei Verwendung von Turboverdichtern wird angestrebt, mit wachsendem Durchfluss monoton fallende Kennlinien ohne Hysterese zu erzielen, um eine hohe Zuverlässigkeit bei Teillastbetrieb zu erreichen. Solche kontinuierliche Kennlinien werden als stabil bezeichnet. Bei Teillast sind jedoch stabile Kennlinien um so schwerer zu erzielen, je grösser das Druckverhältnis im Auslegungspunkt ist. Deshalb versucht man mittels zusätzlicher Stabilisierungseinrichtungen die gewünschten Kennlinien zu erzeugen.

In der Patentschrift EP 0 229 519 wird eine Stabilisierungseinrichtung für einen Radialverdichter beschrieben, die dadurch gekennzeichnet ist, dass das Innengehäuse als Ummantelung des Schaufelrades radiale Bohrungen oder Schlitze aufweist, die eine Verbindung zwischen Anströmungskanal und Beschaukelung herstellen und dabei schaufelseitig von den Schaufeln mehr oder minder überdeckt werden. Dadurch wird zwar die Pump- oder Stabilitätsgrenze kennlinienförmig verschoben, aber gleichzeitig wird der Wirkungsgrad des Verdichters stark herabgesetzt.

Bekannt ist auch ein Zentrifugalkompressor (US 4,212,585), bei dem ein Gehäusezusatz mit freien Ausnehmungen vorhanden ist, die sich in Strömungsrichtung erstrecken. Diese Ausnehmungen bewirken aber besonders im Teillastbereich eine Pumpwirkung, also instabile Kennlinien. Die in der Patentschrift CH 675 279 beschriebenen Stabilisierungseinrichtung besteht ebenfalls aus einer Ausnehmung im Gehäuse des Radialverdichters, wobei aber in diese Ausnehmung ein Stabilisierungsring integriert ist, der vor dem Laufrad und ausserhalb der Hauptströmung angeordnet ist und an seinem Aussenumfang eine Anzahl Schaufeln trägt, die an der Innenkontur der Ausnehmung verankert sind. Der Nachteil dieser Lösung ist die aufwendige Gestaltung des Gehäuses und der Stabilisierungseinrichtung.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die bekannten technischen Lösungen zur Stabilisierung des Verdichterkennfeldes eine spezielle Gestaltung des Verdichtergehäuses beinhalten. Bei starker Drosselung des Verdichters wird eine Rezirkulationsströmung durch die bzw. in den im Verdichtergehäuse angeordneten Öffnungen ermöglicht.

Der Nachteil dieser bekannten technischen Lösungen ist die aufwendige Gehäusegestaltung. Ausserdem

sind bei herkömmlichen Radialradkonstruktionen die Laufschaufeln im Eintrittsbereich durch Schwingungen stark belastet, welche durch die bekannten Stabilisatoren noch verstärkt werden können. Desweiteren verursacht die sich an der Gehäusewand entwickelnde, bei langen Zuströmwegen dicke Grenzschicht im Schaufel-aussenbereich ungünstige Zuströmbedingungen, wenn diese nicht durch eine komplizierte Schaufelgeometrie kompensiert werden. Ein weiterer Nachteil ist der auf Grund der engen Spiele zwischen Gehäuse und Laufrad erforderliche hohe Fertigungsaufwand.

### Darstellung der Erfindung

Die Erfindung versucht all diese Nachteile zu vermeiden. Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem Verdichter durch Stabilisierung der Strömung das Verdichterkennfeld zu kleinem Durchsatz hin zu verbreitern und gleichzeitig die Schwingungs- und Spielprobleme im Laufradeintrittsbereich zu beseitigen. Desweiteren liegt ihr noch die zusätzliche Aufgabe zugrunde, bei dem Verdichter mit Stabilisierungseinrichtung den Grenzschichteneinfluss auf die Strömungsverhältnisse an den Schaufelvorderkanten zu verringern.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass zwischen dem Ring und dem Gehäuse des Verdichters ein Rezirkulationskanal angeordnet ist, welcher an seinem in Strömungsrichtung hinteren Ende eine Öffnung zum Laufrad hin hat, wobei im Anschluss an das hintere Ende dieser Öffnung zwischen Laufrad und Wand des Gehäuses nur noch das bisher übliche enge Spiel besteht.

Die Vorteile der Erfindung sind unter anderem in einer Verbreiterung des Verdichterkennfeldes zu kleinen, aber auch zu grossen Volumenströmen hin zu sehen. Gleichzeitig werden die Amplituden der Schaufelschwingungen im Laufradeintrittsbereich reduziert, wodurch die Laufschaufeln dort dünner als bisher ausgeführt werden können. Dadurch wird der Laufradwirkungsgrad erhöht. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass durch den grossen radialen Abstand zwischen dem Ring und dem Gehäuse im Laufradeintrittsbereich keine Spielprobleme auftreten. Ausserdem beeinflusst die im Zuströmbereich zum Laufrad an der Gehäuse-aussenwand entstandene Grenzschicht nicht mehr die Strömungsverhältnisse an den Schaufelvorderkanten, da sie im neben dem Laufrad liegenden Kanal an den Eintrittskanten der Laufschaufeln vorbei fliesst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

### Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung sind 5 Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand eines Radialverdichters dargestellt.

Die Fig. 1 bis 5 zeigen jeweils einen Teilmeridianschnitt des Verdichters mit der Stabilisierungseinrichtung.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Die Strömungsrichtung des Arbeitsmittels ist mit Pfeilen bezeichnet.

### Weg zur Ausführung der Erfindung

In Fig. 1 ist ein Teil eines Radialverdichters mit einer Ausführungsform der erfindungsgemässen Stabilisierungseinrichtung dargestellt. Der Verdichter besteht aus dem Gehäuse 3 und dem Laufrad 5. Das Laufrad 5 ist mit einem fest mit den Laufschaufeln 1 verbundenen mitrotierenden dünnen Ring 2 ausgerüstet. Die in Strömungsrichtung des Gases liegende vordere Kante des Ringes 2 befindet sich in diesem Fall axial vor den Eintrittskanten der Laufschaufeln 1. Zwischen dem Ring 2 und dem Gehäuse 3 des Verdichters ist ein Rezirkulationskanal 4 angeordnet, welcher durch die Aussenfläche des Ringes 2 und die Innenfläche des Verdichtergehäuses 3 begrenzt wird. Der Rezirkulationskanal 4 hat an seinem in Strömungsrichtung hinteren Ende eine Öffnung zum Laufrad 5 hin. Erst vom hinteren Ende dieser Öffnung an haben das Laufrad 5 und die Innenwand des Gehäuses 3 das übliche enge Spiel.

Der Ring 2 stützt die Schaufeleintrittskanten sowohl in tangentialer als auch in radialer Richtung ab. Dadurch werden die Amplituden der Schaufelschwingungen stark reduziert und die mechanische Schaufelbelastung sinkt. Auf Grund der reduzierten Schaufelbelastung können die Laufschaufeln 1 dünner als ohne Ring 2 möglich ausgeführt werden, was wiederum eine Erhöhung des Laufradwirkungsgrades bewirkt.

Der neben dem Laufrad 5 liegende radiale Rezirkulationskanal 4 bewirkt in erster Linie die Stabilisierung des Verdichterkennfeldes. Durch diesen Strömungskanal 4 kann sich bei einer Drosselung des Verdichters der die Strömung stabilisierende Rezirkulationsstrom ausbilden. Das Verdichterkennfeld wird dadurch zu kleinen Volumenströmen hin verbreitert. Andererseits wird das Kennfeld auch zu grossen Volumenströmen hin verbreitert, da bei sehr grossem Durchsatz, wenn im engsten Laufradquerschnitt bereits Schallgeschwindigkeit herrscht, durch den Rezirkulationskanal 4 Fluid in das Laufrad 5 einströmen kann. Die im Zuströmbereich zum Laufrad 5 an der Aussenwand des Gehäuses 3 entstandene Grenzschicht beeinflusst nicht mehr die Strömungsverhältnisse an den Vorderkanten der Laufschaufeln 1, da sie im neben dem Laufrad 5 liegenden Rezirkulationskanal 4 an den Schaufeleintrittskanten vorbei fliesst. Eine Grenzschichtkompensation durch eine angepasste Schaufelform ist somit nicht nötig.

Die Grenzschicht, die sich am mitrotierenden, axial vorstehenden Ring 2 ausbildet, rotiert mit dem Ring 2. Sie hat deshalb eine Drallkomponente, die mit der Laufraddrehung gleichgerichtet ist. Dadurch reduziert sich die Machzahl an den Schaufeleintrittskanten, was ein besseres Schluckvermögen des Laufrades bewirkt.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass durch den grossen Abstand zwischen dem Ring 2

und dem Gehäuse 3 im Laufradeintrittsbereich keine Spielprobleme mehr auftreten und sich dort neue Freiheitsgrade für die Gestaltung der Aussenkontur des Laufrades 5 ergeben.

In den Fig. 2 bis 4 sind weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung, die sich auf eine unterschiedliche Anordnung und Gestaltung des Ringes 2 beziehen, an einem Radialverdichter dargestellt. In Fig. 2 schliesst der mit den Laufschaufeln 1 fest verbundene Ring 2 bündig mit den Schaufeleintrittskanten ab, während sich in Fig. 3 die in Strömungsrichtung vordere Kante des Ringes 2 axial hinter den Schaufeleintrittskanten befindet. Fig. 4 zeigt, dass die Grösse des Radius des Ringes 2 in axialer Richtung veränderbar ist.

Vorteilhaft ist, wenn die Oberfläche des Ringes 2 eine gewisse Rauigkeit aufweist, weil dadurch der Drall der am Ring 2 haftenden Grenzschicht günstig beeinflusst wird. Die Oberflächenrauigkeit  $R_z$  sollte im Bereich von 6,3 bis max. 40, vorzugsweise bei 20, liegen.

Bei axialer Positionierung des Ringes 2 (Fig. 5) liegen die Abmessungen der in Strömungsrichtung hinteren Öffnung des Rezirkulationskanals 4 in folgenden Bereichen: Das Verhältnis von gemeinsamer Meridianbogenlänge zwischen Ring 2 und äusserem Schaufelschnitt zur Meridianbogenlänge des äusseren Schaufelschnitts  $s_1/s_{max}$  beträgt 0,05 bis max. 0,2, vorzugsweise 0,09. Das Verhältnis der Meridianbogenlänge von der Schaufeleintrittskante bis zum Ende der Öffnung des Rezirkulationskanals zur Meridianbogenlänge des äusseren Schaufelschnitts  $s_2/s_{max}$  beträgt 0,15 bis max. 0,4, vorzugsweise 0,27, das Verhältnis des Abstandes der in Strömungsrichtung liegenden vorderen Kante des Ringes 2 von der Schaufeleintrittskante zur Meridianbogenlänge des äusseren Schaufelschnitts  $1/s_{max}$  beträgt -0,1 bis max. 0,6, vorzugsweise 0,41 und das Verhältnis der Höhe des Rezirkulationskanals zum Aussenradius des Laufrades  $\Delta r/r_2$  beträgt 0,075 bis max. 0,2, vorzugsweise 0,11.

Die erfindungsgemässe Stabilisierungseinrichtung kann selbstverständlich auch in Axialverdichtern angebracht werden.

### Bezugszeichenliste

1	Laufschaufel
2	Ring
3	Gehäuse
4	Rezirkulationskanal
5	Laufrad
$s_{max}$	Meridianbogenlänge des äusseren Schaufelschnitts
$s_1$	gemeinsame Meridianbogenlänge zwischen Ring 2 und äusserem schaufelschnitt
$s_2$	Meridianbogenlänge von der Schaufeleintrittskante bis zum Ende der Öffnung des Rezirkulationskanals

- 1 Abstand der in Strömungsrichtung liegenden vorderen Kante des Ringes von der Schaufel-eintrittskante  
 $\Delta r$  Höhe des Rezirkulationskanals  
 $r_2$  Aussenradius des Laufrades

5

### Patentansprüche

1. Stabilisierungseinrichtung zur Kennfelderweite-  
 rung eines Verdichters, mit einem fest mit den Lauf-  
 schaufeln (1) verbundenen mitrotierenden Ring (2),  
 dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ring  
 (2) und dem Gehäuse (3) des Verdichters ein Re-  
 zirkulationskanal (4) angeordnet ist, welcher an sei-  
 nem in Strömungsrichtung hinteren Ende eine Öff-  
 nung zum Laufrad (5) hin hat, wobei im Anschluss  
 an das hintere Ende dieser Öffnung zwischen Lauf-  
 rad (5) und Wand des Gehäuses (3) nur noch das  
 übliche enge Spiel besteht.
2. Stabilisierungseinrichtung nach Anspruch 1, da-  
 durch gekennzeichnet, dass die in Strömungsrich-  
 tung liegende vordere Kante des Ringes (2) bündig  
 mit den Eintrittskanten der Laufschaufeln (1) ab-  
 schliesst.
3. Stabilisierungseinrichtung nach Anspruch 1, da-  
 durch gekennzeichnet, dass die in Strömungsrich-  
 tung liegende vordere Kante des Ringes (2) axial  
 vor den Eintrittskanten der Laufschaufeln (1) liegt.
4. Stabilisierungseinrichtung nach Anspruch 1, da-  
 durch gekennzeichnet, dass die in Strömungsrich-  
 tung liegende vordere Kante des Ringes (2) axial  
 nach den Eintrittskanten der Laufschaufeln (1) liegt.
5. Stabilisierungseinrichtung nach Anspruch 1 und ei-  
 nem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeich-  
 net, dass der Radius des Ringes (2) in axialer Rich-  
 tung veränderbar ist.
6. Stabilisierungseinrichtung nach Anspruch 1 und ei-  
 nem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeich-  
 net, dass der Ring (2) eine Oberflächenrauigkeit  
 $R_z$  im Bereich von 6,3 bis max. 40 aufweist.
7. Stabilisierungseinrichtung nach Anspruch 6, da-  
 durch gekennzeichnet, dass die Oberflächenrauig-  
 keit  $R_z$  des Ringes (2) 20 beträgt.
8. Stabilisierungseinrichtung nach Anspruch 1, da-  
 durch gekennzeichnet, dass bei axialer Position  
 des Ringes (2) die Abmessungen des Strömungs-  
 kanals (4) bestimmt werden durch ein Verhältnis  
 der gemeinsamen Meridianbogenlänge zwischen  
 Ring und oberer Schaufelkante ( $s_1$ ) zur Meridian-  
 bogenlänge des äusseren Schaufelschnitts ( $s_{max}$ )

10

15

### 20 Claims

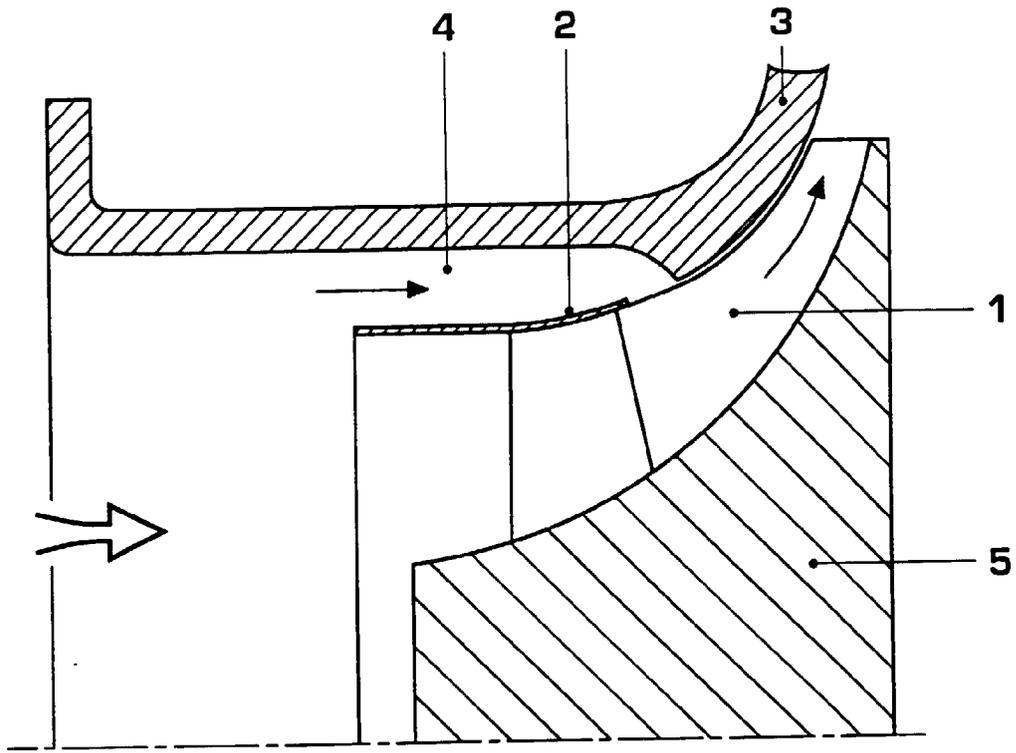
9. Stabilisierungseinrichtung nach Anspruch 8, da-  
 durch gekennzeichnet, dass die Verhältnisse  $s_1/$   
 $s_{max}=0,09$ ,  $s_2/s_{max}=0,27$ ,  $l/s_{max}=0,41$  und  $\Delta r/$   
 $r_2=0,11$  betragen.
1. Stabilization device for extending the characteris-  
 tic map of a compressor, having a corotating ring (2)  
 rigidly connected to the runner blades (1), charac-  
 terized in that there is arranged between the ring  
 (2) and the housing (3) of the compressor a recir-  
 culation duct (4) which has an opening to the impel-  
 ler (5) at its rear end in the flow direction, only the  
 previously customary narrow clearance existing  
 subsequent to the rear end of this opening between  
 impeller (5) and wall of the housing (3).
2. Stabilization device according to Claim 1, charac-  
 terized in that the front edge of the ring (2) in the  
 flow direction terminates flush with the inlet edges  
 of the runner blades (1).
3. Stabilization device according to Claim 1, charac-  
 terized in that the front edge of the ring (2) in the  
 flow direction is situated axially upstream of the inlet  
 edges of the runner blades (1).
4. Stabilization device according to Claim 1, charac-  
 terized in that the front edge of the ring (2) in the  
 flow direction is situated axially downstream of the  
 inlet edges of the runner blades (1).
5. Stabilization device according to Claim 1 and any  
 of Claims 2 to 4, characterized in that the radius of  
 the ring (2) is variable in the axial direction.
6. Stabilization device according to Claim 1 and any  
 of Claims 2 to 4, characterized in that the ring (2)  
 has a surface roughness  $R_z$  in the range from 6.3  
 to a maximum of 40.
7. Stabilization device according to Claim 6, charac-  
 terized in that the surface roughness  $R_z$  of the ring

(2) is 20.

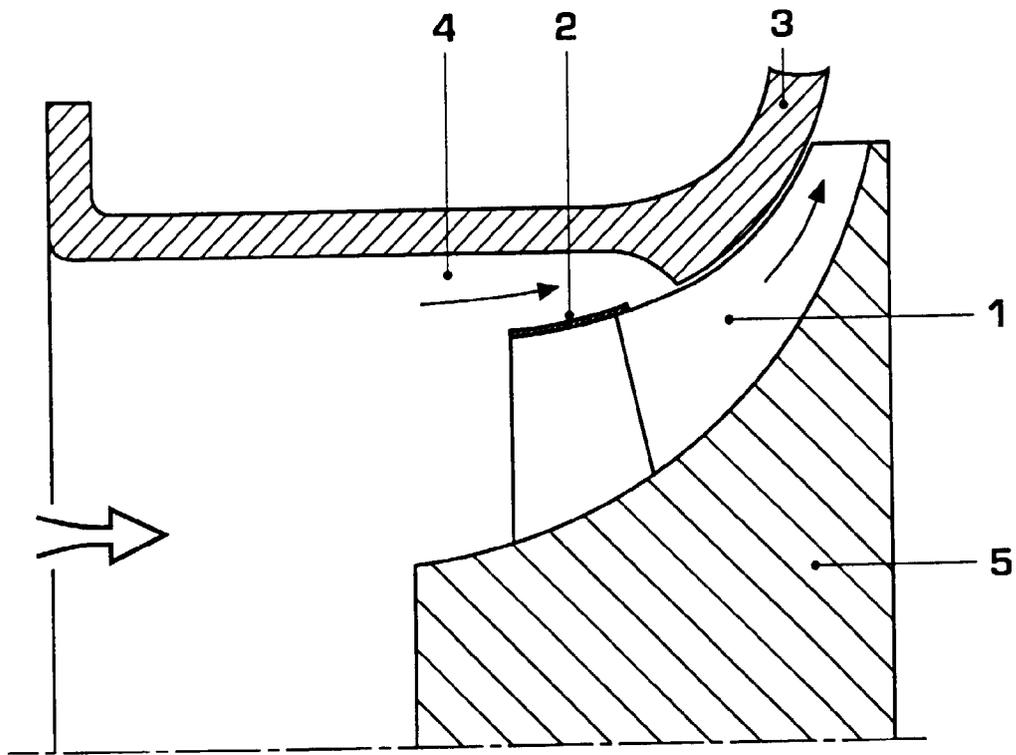
8. Stabilization device according to Claim 1, characterized in that given an axial position of the ring (2), the dimensions of the flow duct (4) are determined by a ratio of the common length of the arc of the meridian between the ring and upper blade edge ( $s_1$ ) to the length of the arc of the meridian of the outer blade section ( $s_{max}$ ) of 0.05 to a maximum of 0.2, a ratio of the length of the arc of the meridian from the blade inlet edge to the end of the opening of the flow duct ( $s_2$ ) to the length of the arc of the meridian of the outer blade section ( $s_{max}$ ) of 0.15 to a maximum of 0.4, a ratio of the distance of the front edge of the ring in the flow direction from the blade inlet edge (1) to the length of the arc of the meridian of the outer blade section ( $s_{max}$ ) of -0.1 to a maximum of 0.6, and a ratio of the level of the recirculation duct ( $\Delta r$ ) to the outer radius of the impeller ( $r_2$ ) of 0.075 to a maximum of 0.2.
9. Stabilization device according to Claim 8, characterized in that the ratios  $s_1/s_{max}=0.09$ ,  $s_2/s_{max}=0.27$ ,  $l/s_{max}=0.41$  and  $\Delta r/r_2=0.11$ .

#### Revendications

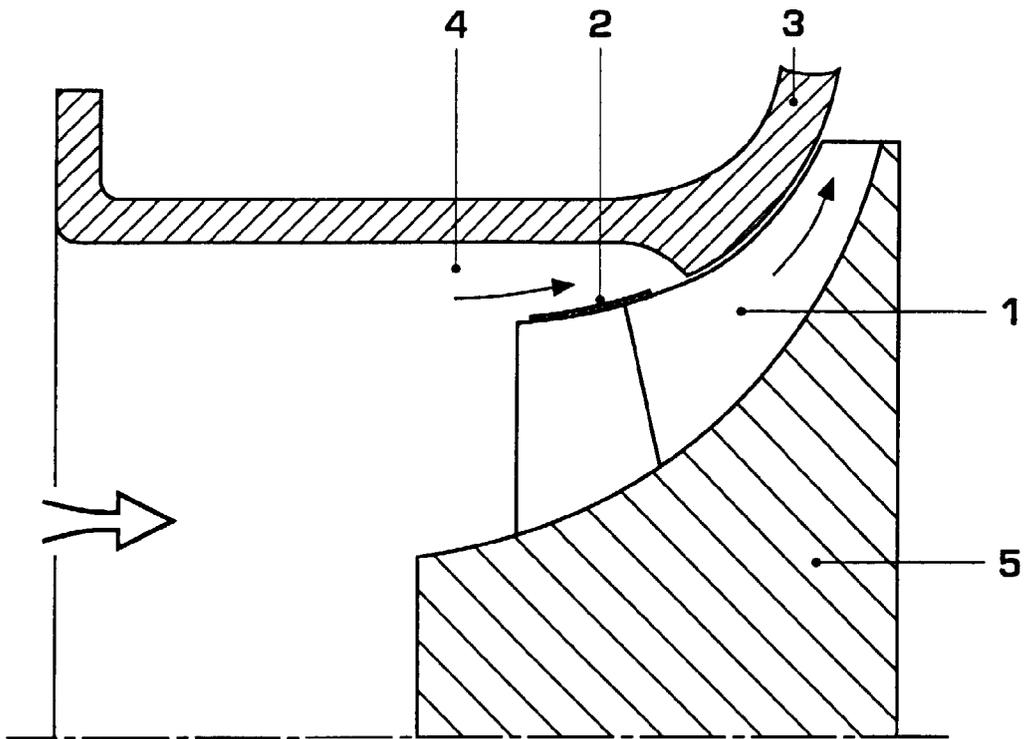
1. Dispositif de stabilisation pour l'extension de la tolérance de pompage d'un compresseur avec une bague (2) fixée aux aubes (1) et tournant avec elles, caractérisé par le fait qu'un canal de recirculation (4) est disposé entre la bague (2) et le boîtier (3) du compresseur, lequel est muni d'une ouverture en direction de la roue à aubes (5) au niveau de son extrémité arrière dans le sens du courant, le jeu restant entre la roue à aubes (5) et la paroi du boîtier (3) dans la jonction au niveau de l'extrémité arrière de cette ouverture n'étant ici que le faible jeu couramment obtenu jusqu'à présent.
2. Dispositif de stabilisation conforme à la revendication 1, caractérisé par le fait que l'arête avant de la bague (2) se trouvant dans le sens du courant est à fleur avec les arêtes d'entrée des aubes (1).
3. Dispositif de stabilisation conforme à la revendication 1, caractérisé par le fait que l'arête avant de la bague (2) se trouvant dans le sens du courant est disposée dans le sens axial avant les arêtes d'entrée des aubes (1).
4. Dispositif de stabilisation conforme à la revendication 1, caractérisé par le fait que l'arête avant de la bague (2) se trouvant dans le sens du courant est disposée dans le sens axial après les arêtes d'entrée des aubes (1).
5. Dispositif de stabilisation conforme à la revendication 1 et à l'une des revendications 2 à 4, caractérisé par le fait que le rayon de la bague (2) est modifiable dans le sens axial.
6. Dispositif de stabilisation conforme à la revendication 1 et à l'une des revendications 2 à 4, caractérisé par le fait que la bague (2) présente une rugosité de surface Rz comprise entre 6,3 et 40 max.
7. Dispositif de stabilisation conforme à la revendication 6, caractérisé par le fait que la rugosité de surface Rz de la bague (2) est de 20.
8. Dispositif de stabilisation conforme à la revendication 1, caractérisé par le fait que dans le cas du positionnement axial de la bague (2), les dimensions du canal d'écoulement (4) sont définies à partir du rapport de la longueur de la courbure méridienne totale entre la bague et la tranche la plus élevée des aubes ( $s_1$ ) et de la longueur de la courbure méridienne de la tranche la plus à l'extérieur des aubes ( $s_{max}$ ) qui est compris entre 0,05 et 0,2 max., un rapport de la longueur de la courbure méridienne entre l'arête d'entrée des aubes et l'extrémité de l'ouverture du canal d'écoulement ( $s_2$ ) et de la longueur méridienne de la tranche la plus à l'extérieur des aubes ( $s_{max}$ ) qui est compris entre 0,15 et 0,4 max., un rapport de l'écart entre l'arête avant de la bague se trouvant dans le sens du courant et l'arête d'entrée des aubes (1) et de la longueur de la courbure méridienne de la tranche la plus à l'extérieur des aubes ( $s_{max}$ ) qui est compris entre -0,1 et 0,6 max. et un rapport de la hauteur du canal de recirculation ( $\Delta r$ ) et du rayon extérieur de la roue à aubes ( $r_2$ ) qui est compris entre 0,075 et 0,2 max.
9. Dispositif de stabilisation conforme à la revendication 8, caractérisé par le fait que les rapports sont  $s_1/s_{max} = 0,09$ ,  $s_2/s_{max} = 0,27$ ,  $l/s_{max} = 0,41$  et  $\Delta r/r_2 = 0,11$ .



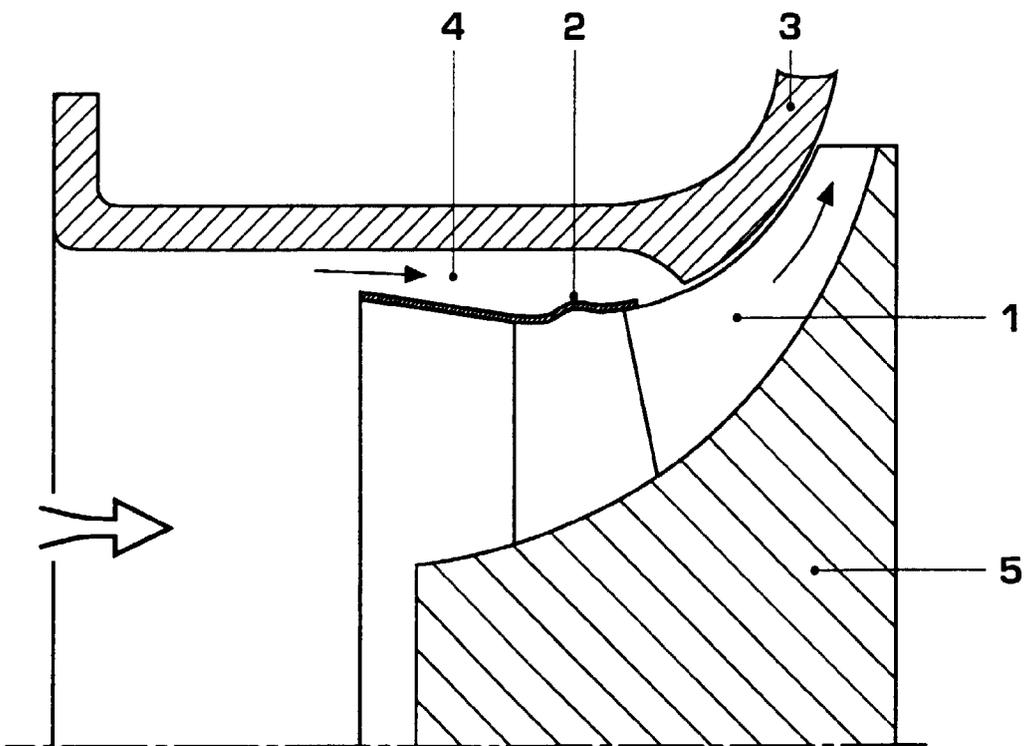
**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**



**FIG. 4**

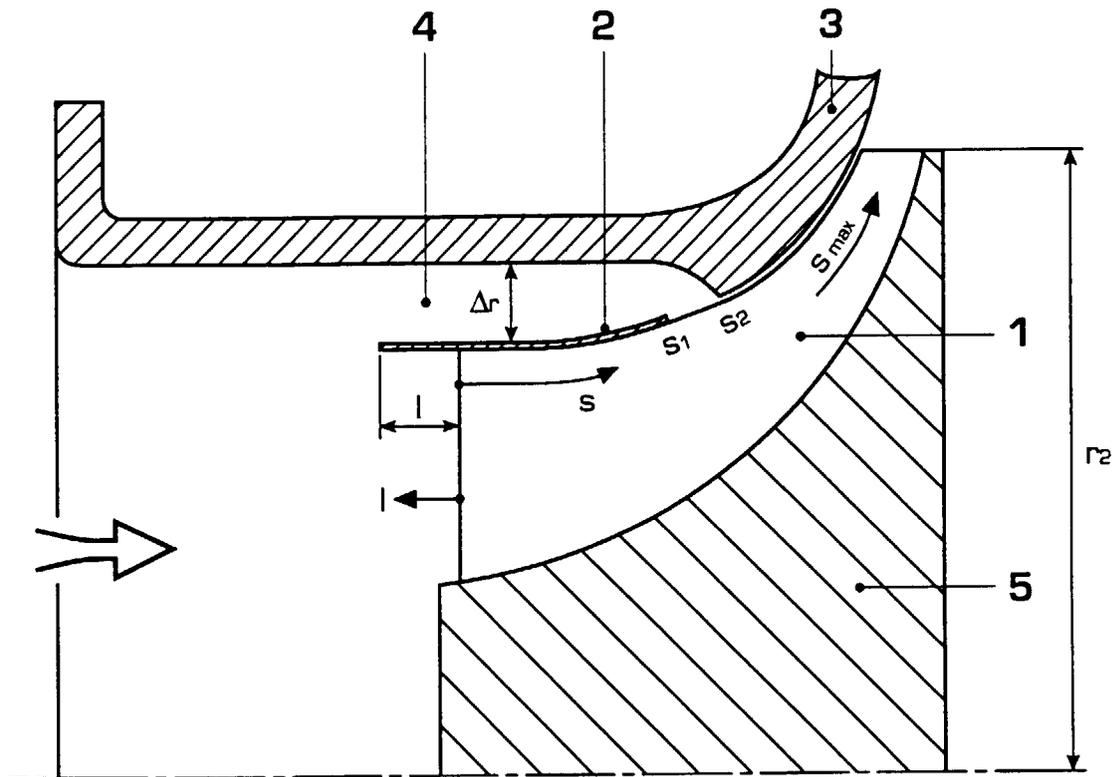


FIG. 5