



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 017 588 A1** 2004.10.28

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 017 588.8**

(22) Anmeldetag: **07.04.2004**

(43) Offenlegungstag: **28.10.2004**

(51) Int Cl.7: **H02K 9/02**

(30) Unionspriorität:
10/411214 11.04.2003 US

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

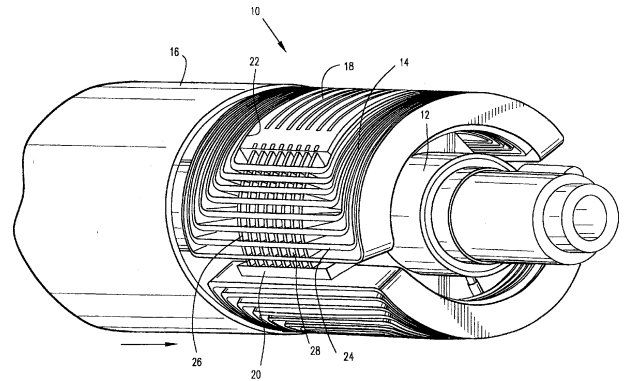
(71) Anmelder:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(72) Erfinder:
**Wang, Yu, Clifton Park, N.Y., US; Kaminski,
Christopher Anthony, Schenectady, N.Y., US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Kühlsystem für die modulare Feldwicklung eines Generators**

(57) Zusammenfassung: Modulare Feldwicklungen (14), die jeweils mehrere Spulen (24) beinhalten, sind rings um einen Rotorkern angeordnet. Axial voneinander beabstandete Abstandsstücke halten die Spulen in Umfangsrichtung im gegenseitigen Abstand, wobei die Abstandsstücke und die Spulen radial gerichtete Öffnungen (28) in dem Rotor begrenzen. In den Öffnungen sind Strömungselemente (30) angeordnet, um in radial nach außen weisender Richtung längs der Durchlässe (35, 39) zwischen den Elementen und den Spulen eine konstante oder erhöhte Strömungsgeschwindigkeit des Kühlgases zu erzielen und den Wärmeübertragungskoeffizienten aufrechtzuerhalten oder zu vergrößern und damit die Kühlwirkung der Gasströmung auf die Windungen zu verbessern.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Generatoren mit auf einem Rotorkern anzuordnenden modularen Feldwicklungen und insbesondere Leitelemente für den Kühlmittelstrom die zwischen umfangsmäßig nebeneinander liegenden Windungen eingebaut werden, um die radial nach außen gerichtete Kühlmittelströmung bei den Feld- oder Erregerwicklungen zu optimieren.

[0002] Gebräuchliche Generatoren haben Rotoren (Läufer), auf denen eine Feld- oder Erregerwicklung angeordnet ist. Diese Rotoren weisen typischerweise jeweils einen Rotorkern mit in Umfangsrichtung voneinander beabstandeten, axial sich erstreckenden Nuten auf, die die einzelnen Windungen der Feldwicklung aufnehmen. In den radial außen liegenden Nutenendabschnitten dieser Rotornuten sind normalerweise Keile befestigt, um die Wicklung gegen die Zentrifugalkräfte abzustützen, die bei umlaufendem Rotor auftreten. Bei der Montage wird die Wicklung Windung um Windung in die Nuten des Rotorkerns eingelegt. Die Windungen einer gebräuchlichen Generatorfeldwicklung werden dadurch gekühlt, dass ein Kühlmittel, wie Luft oder Wasserstoff, durch Axialnuten oder durch in die Kupferwindungen eingestanzte, radiale Öffnungen strömen lassen wird. Da der Kühlmittelweg maschinell bearbeitet wird, können optimierte Kühlgaswege hergestellt werden, um so einen maximalen Wärmeübergang zu erzielen.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0003] Es wurden modulare Feldwicklungssysteme auf einem Generatorrotor entwickelt, der einen mehrpoligen magnetisch leitenden Kern und eine Anzahl modularer Wicklungen, von denen für jeden Pol jeweils eine vorgesehen ist, aufweist. Die Wicklungen sind auf den parallelfankigen Ballen des mehrpoligen Magnetkerns aufgepasst, wobei über die Wicklungen eine Abdeckung geschoben ist. Die Wicklungen beinhalten jeweils auch eine Anzahl axial voneinander beabstandeter Windungsabstandstücke oder Zwischenlagen, die die einzelnen Windungen in einer festen Zuordnung zueinander halten. Die Öffnungen zwischen den axial nebeneinanderliegenden Abstandstücken und den in Umfangsrichtung nebeneinander liegenden Windungen bilden natürliche offene Räume, um ein Kühlgas, z.B. Luft oder Wasserstoff, zwischen den Abstandstücken und den Windungen radial nach außen strömen zu lassen. Zuzug dieser Anordnung wird die Wärmeübertragungsfläche ersichtlich vergrößert. Die Kühlgasgeschwindigkeit und damit der Wärmeübertragungskoeffizient ist aber mehr von der Geometrie des Kühlmittelwegs als von den vergrößerten Oberflächendimensionen abhängig. Genauer betrachtet, verläuft der Kühlgasweg ra-

dial vom Spuleninneren aus, wo der Raum zwischen aneinander angrenzenden Spulen am engsten ist und erstreckt sich radial nach außen, um an dem Außenradius auszutreten, wo der Raum zwischen aneinander angrenzenden Spulen am weitesten ist. Die Strömungsgeschwindigkeit wird deshalb in einer radial nach außen weisenden Richtung verringert, und damit wird auch der Konvektionswärmeübertragungskoeffizient der Kupferwindungen herabgesetzt. Strömungsabwärts heißeres Kühlgas, kombiniert mit dem kleineren Wärmeübertragungskoeffizienten ergibt längs des Außenradius der Wicklung höhere örtliche Leitertemperaturen.

[0004] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden Strömungsleitelemente in die Öffnungen zwischen den Abstandstücken und den Windungen eingefügt, um eine konstante oder erhöhte Strömungsgeschwindigkeit zu erzielen, wenn Kühlgas in einer radial nach außen weisenden Richtung durch die Erregerwicklung strömt. Dadurch dass die Strömungsgeschwindigkeit längs des radialen Weges aufrechterhalten oder erhöht wird, wird die Spitzentemperatur der Wicklung abgesenkt, wobei die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit die mittlere Wicklungstemperatur herabgesetzt. Die Querschnittsfläche kann dabei konstant bleiben, was im Vergleich zu einer abnehmenden Strömungsgeschwindigkeit bei fehlenden Strömungsleitelementen zu einer konstanten Strömungsgeschwindigkeit und damit zu einem vergleichsweise höheren Wärmeübertragungskoeffizienten führt. Wenn die Elemente so gestaltet sind, dass die Strömungsdurchtrittsfläche in einer radial nach außen weisenden Richtung kleiner wird, steigen die Strömungsgeschwindigkeit und damit auch der Wärmeübertragungskoeffizient an. Demgemäß können die höchsten Wärmeübertragungskoeffizienten nahe dem Außenradius der Windungen erzielt werden, wo die Temperaturen am höchsten sind. Außerdem können verschiedene Bereiche zwischen den Spulen mit Elementen unterschiedlicher Größe ausgerüstet werden, um so durch Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit hohe Wärmeübertragungskoeffizienten in heißen Bereichen zu erzielen. Durch die Verwendung von Elementen unterschiedlicher Größe kann die Strömung gleichmäßig werden, was zu einer gleichmäßigeren Feldwicklungstemperatur führt.

[0005] Die Wärmeübertragungskoeffizienten können dadurch noch weiter vergrößert werden, dass die Wärmeübertragung vergrößernde Flächen oder Trägerelemente für die Strömungsleitelemente verwendet werden. So können z.B. die Oberflächen der Strömungsleitelemente etwa durch Vorsehen einer gewissen Rauigkeit, von Grübchen, Nuten oder Wirbelbildnern so zugerichtet werden, dass die Wärmeübertragungskoeffizienten wesentlich vergrößert werden.

[0006] Bei einer bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird ein Kühlsystem in einem Generator geschaffen, der einen Generatorrotor mit einem mehrpoligen Magnetkern, eine Anzahl modularer Feldwicklungen rings um den Rotor, und zwar eine für jeden Pol aufweist, wobei jede modulare Feldwicklung eine Anzahl von Spulen beinhaltet, die in Umfangsrichtung voneinander beabstandet sind, wobei in Umfangsrichtung nebeneinander liegende Spulen zwischen sich im wesentlichen keilförmige Öffnungen begrenzen und in die Öffnungen Strömungsleitelemente eingesetzt sind, die mit den Spulen Durchlässe begrenzen, um ein Kühlgas von radial unterhalb der Spulen in einer im Wesentlichen radial nach außen weisenden Richtung zu Austrittsstellen an dem Außenumfang des Rotors zur Kühlung der Spulen strömen zu lassen.

[0007] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird ein Kühlsystem für einen Generator geschaffen, der einen Generatorrotor und eine Anzahl modularer Feldwicklungen rings um den Rotor aufweist, wobei jede modulare Feldwicklung eine Anzahl in Umfangsrichtung voneinander beabstandeter Spulen beinhaltet, wobei in Umfangsrichtung nebeneinanderliegende Spulen dazwischenliegende Öffnungen begrenzen und Mittel in den Öffnungen und zwischen den Spulen angeordnet sind, um einen Kühlgasstrom längs der Spulen von radial innerhalb der Spulen in einer im Wesentlichen radial nach außen weisenden Richtung zu Austrittsstellen an dem Außenumfang des Rotors zur Kühlung der Spulen strömen zu lassen, wobei die Kühlgasleitmittel so ausgebildet sind, dass sie mit den in Umfangsrichtung angrenzenden Strömungsdurchlässen zur Spulen Kühlung dem Kühlgas eine konstante oder in einer radial nach außen weisenden Richtung zunehmende Strömungsgeschwindigkeit erteilen.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0008] Fig. 1 ist eine perspektivische Teildarstellung eines beispielhaften Generators mit einem Rotor (Läufer), modularen Wicklungswindungen und einer zylindrischen Abdeckung, die von der modularen Wicklung zu deren Veranschaulichung zurückgeschoben ist,

[0009] Fig. 2 eine vergrößerte perspektivische Teilansicht zur Veranschaulichung der Öffnungen zwischen axial benachbarten Abstandsstücken und in Umfangsrichtung nebeneinander liegenden Wicklungswindungen,

[0010] Fig. 3 ist eine schematische Darstellung eines Strömungsleitelementes zwischen in Umfangsrichtung nebeneinander liegenden Wicklungswindungen, das Kühlgasdurchlässe konstanter Querschnittsfläche ausbildet;

[0011] Fig. 4 ist eine Darstellung ähnlich Fig. 3 zur Veranschaulichung von Abstandsstützen für die Strömungsleitelemente,

[0012] Fig. 5 ist eine Darstellung ähnlich Fig. 3, unter Veranschaulichung von in einer radial nach außen weisenden Richtung konvergierenden Kühlgasdurchlässen; und

[0013] Fig. 6 bis 9 sind verschiedene Ausbildungen der Oberfläche bei zwischen den Abstandsstücken und den Windungen anzuordnenden Strömungsleitelementen.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0014] Bezugnehmend auf Fig. 1 ist dort eine perspektivische Ansicht eines beispielhaften, allgemein mit **10** bezeichneten Generators veranschaulicht, der einen Rotor oder Läufer **12** und eine modulare Feldwicklung **14** aufweist, die auf dem Rotor **12** mit diesem umlaufend montiert ist. Bei der Darstellung ist auch eine im Wesentlichen zylindrische Abdeckung **16** veranschaulicht, die einen Teil des Rotors bildet, wobei die Abdeckung **16** der Klarheit wegen von ihrer normalen, den Rotor und die modulare Feldwicklung abdeckenden Lage axial zurückgeschoben ist. Der Stator des Generators ist nicht dargestellt. Eine vollständige Beschreibung des Generators **10** mit der modularen Feldwicklung auf dem Rotor ist in der US-Patentanmeldung S/N 09/977,211, angemeldet am 16. Oktober 2001 im Namen von Yu Wang und mit dem Titel „Apparatus and Method for Field Winding Assembly Mountable in a Synchronous Machine“ enthalten, deren Inhalt durch Bezugnahme hier mit eingeschlossen ist. Es genügt zu bemerken, dass der Rotor **12** eine Anzahl einen mehrpoligen Magnetkern bildender Magnetpole **18** und eine Anzahl modularer Feldwicklungen **14** aufweist, von denen jeweils eine für jeden Pol vorgesehen ist. Der Rotor **12** weist außerdem zwei von dem Rotorkern radial nach außen ragende Stege oder Rippen **20** auf.

[0015] Bei dem dargestellten Rotor weist jede modulare Feldwicklung **14** eine zentrale Öffnung **22** auf, in die ein Pol **18** ragt. Die Wicklungen **14** sind axial und in Umfangsrichtung voneinander beabstandet. Zum Beispiel sind, wie dargestellt, jeweils einen Teil einer Wicklung **14** bildende, axial sich erstreckende Spulen **24** in Umfangsrichtung durch eine Reihe axial voneinander beabstandeter Abstandsstücke oder Leitelemente **26** im Abstand voneinander gehalten. Die Leitelemente **26** sind an den Stege oder Rippen **20** durch nicht dargestellte Sicherungsschienen befestigt, die die modularen Wicklungen **14** an den Polen **18** sichern. Aus der Betrachtung der Fig. 1 ergibt sich, dass die axial verlaufenden Spulen **24** in Umfangsrichtung voneinander beabstandet sind und dass die Abstandsstücke **26** im axialen Abstand voneinander stehen. Demgemäß bilden die Spulen **24**

und die Abstandsstücke **26** eine Anzahl im Wesentlichen keilförmiger Öffnungen oder Durchlässe **28**, die sich in einer im Wesentlichen radialen Richtung von der Nähe des Rotorkerns aus zu der radial außen liegenden Außenfläche des Rotors erstrecken. Kühlgas z.B. Luft- oder Wasserstoff, kann somit vom, radial gesehen, Rotorinneren aus durch die Öffnungen **28** in einer radial nach außen weisenden Richtung strömen, um die Wicklungen **14** zu kühlen. Zu bemerken ist, dass bei dieser Anordnung die Öffnungen **28** eine Querschnittsfläche aufweisen, die in einer radial nach außen weisenden Richtung zunimmt. Kühlgas das von dem Rotorinneren durch die Öffnungen **28** radial nach außen strömt verliert deshalb generell an Geschwindigkeit, was einen verkleinerten Wärmeübertragungskoeffizienten ergibt.

[0016] Um einen besseren Wärmeübertragungskoeffizienten zu erzielen, sind Mittel vorgesehen, einen Kühlgasstrom längs der Windungen von radial innerhalb der Spulen aus in einer im Wesentlichen radial nach außen weisenden Richtung zu Austrittstellen an dem Außenumfang des Rotors zu leiten, um so die Spulen zu kühlen. Zu den Strömungsleitmitteln können z.B. Strömungsleitelemente **30** zählen, die in jeder der Öffnungen **28** angeordnet sind. Die Strömungsleitelemente können aus einem elektrisch nicht leitenden Material, z.B. einem thermoplastischen Material bestehen oder metallisch sein, wobei dann längs der Oberflächen eine geeignete elektrische Isolation vorgesehen ist. Wie in **Fig. 3** übertrieben dargestellt, können die Strömungsleitelemente **30** die Gestalt kegelstumpfförmiger Sektoren aufweisen, die in Umfangsrichtung mit den Spulen **24** fluchtende Seiten **32** und in Achsrichtung mit den Abstandsstücken **26** fluchtende Seiten **33** aufweisen. Wie in **Fig. 3** veranschaulicht, bilden die Elemente **30** und die in Umfangsrichtung nebeneinander liegenden Spulen **24** zwischen den in Umfangsrichtung miteinander fluchtenden Flächen **32** und den Spulen **24** Strömungskanäle **35** aus, die in Radialrichtung eine im Wesentlichen konstante Querschnittsfläche aufweisen. Die Strömungsgeschwindigkeit zwischen den Elementen **30** und den Windungen **24** bleibt deshalb konstant, und der Wärmeübertragungskoeffizient bleibt über die ganze radiale Erstreckung der Windungen ebenfalls konstant.

[0017] In **Fig. 4** sind die Strömungsleitelemente **30** durch Abstützungen (Wangen) **38** von den in Umfangsrichtung angrenzenden Spulen **24** beabstandet, wodurch die Elemente **30** von den Spulen **24** im Abstand gehalten und Strömungsdurchlässe **35** mit im Wesentlichen konstanten Durchtrittsflächen definiert sind. Zu bemerken ist auch, dass die mit den in Umfangsrichtung angrenzenden Windungen fluchtenden Oberflächen der Strömungsleitelemente mit den fluchtenden Oberflächen der Windungen zusammenlaufen, d.h. konvergieren können. Wie z.B. in **Fig. 5** dargestellt, haben die Strömungsleitelemente **30**

bspw. schräge Flächen **37**, die in einer radial nach außen weisenden Richtung zu den angrenzenden, in Umfangsrichtung fluchtenden Windungen hin geneigt sind. Bei dieser Geometrie nimmt die Querschnittsfläche des dazwischenliegenden jeweiligen Strömungsdurchlasses **39** in einer radial nach außen weisenden Richtung ab. Dadurch wird die Strömungsgeschwindigkeit erhöht, womit demzufolge der Wärmeübertragungskoeffizient zur Erzielung einer größeren Kühlwirkung zunimmt. Demgemäß kann das heißere strömungsabwärtige, d.h. radial nach außen geleitete Gas, im Vergleich zu dem Wärmeübertragungskoeffizienten bei den radial zuinnerst liegenden Abschnitten des Strömungsdurchlasses, immer noch den gleichen oder sogar einen größeren Wärmeübertragungskoeffizienten aufweisen.

[0018] In den **Fig. 6 bis 9** sind eine Reihe von Oberflächengestaltungen der den Windungen **24** gegenüberliegenden, ausgerichteten Flächen **32** oder **37** der Strömungsleitelemente **30** veranschaulicht. In **Fig. 6** sind eine Anzahl im Wesentlichen schräg verlaufender Nuten **40** in der Oberfläche **32** oder **37** ausgebildet. In **Fig. 7** sind die Nuten **42** radial und nicht schräg liegend wie in **Fig. 5** ausgerichtet. In **Fig. 8** ist eine Reihe sich überkreuzender Nuten **44, 46** in den Oberflächen **32** oder **37** der Kühlelemente **30** veranschaulicht. **Fig. 9** zeigt eine Kombination der Nuten **42, 44, 46** der **Fig. 7, 8** in den seitlichen Oberflächen **32, 37** des jeweiligen Elementes **30**. Zu bemerken ist, dass die Oberflächenbereiche der Nuten so zuge richtet werden können, dass sich in heißen Bereichen hohe Wärmeübertragungskoeffizienten ergeben, indem die Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zu der niedrigen Strömungsgeschwindigkeit in anderen Bereichen zwischen den Strömungsleitelementen **30** und den Windungen **24** erhöht wird. Außerdem können unter nochmalige Bezugnahme auf **Fig. 4** die Abstützungen **38** Grübchen oder Wirbelbildner oder eine Oberflächenrauheit aufweisen, was alles einen erhöhten Wärmeübertragungskoeffizienten ergibt.

[0019] Kurz zusammengefasst:

Modulare Feldwicklungen (**14**), die jeweils mehrere Spulen (**24**) beinhalten sind rings um einen Rotorkern angeordnet. Axial voneinander beabstandete Abstandsstücke halten die Spulen in Umfangsrichtung im gegenseitigen Abstand, wobei die Abstandsstücke und die Spulen radial gerichtete Öffnungen (**28**) in dem Rotor begrenzen. In den Öffnungen sind Strömungsleitelemente (**30**) angeordnet, um in radial nach außen weisender Richtung längs der Durchlässe (**35,39**) zwischen den Elementen und den Spulen eine konstante oder erhöhte Strömungsgeschwindigkeit des Kühlgases zu erzielen und den Wärmeübertragungskoeffizienten aufrecht zu erhalten oder zu vergrößern und damit die Kühlwirkung der Gasströmung auf die Windungen zu verbessern.

[0020] Wenngleich die Erfindung im Zusammen-

hang mit einer Ausführungsform beschrieben wurde, die gegenwärtig als die zweckmäßigste und bevorzugte betrachtet wird, so versteht sich doch, dass die Erfindung nicht auf die geoffenbarte Ausführungsform beschränkt ist, sondern dass sie im Gegenteil verschiedener Abwandlungen und äquivalenter Ausbildungen im Rahmen des Schutzzumfangs der beigelegten Patentansprüche fähig ist.

Bezugszeichenliste

10	Generator
12	Rotor
14	Wicklungen
16	Abdeckung
18	Magnetpole
20	Lappen, Rippen
22	Öffnung
24	Spulen
26	Abstandsstücke
28	Öffnungen
30	Strömungselemente
32	Seitenflächen
35, 39	Strömungsdurchlässe
38	Abstützungen
37	schräge Flächen
40, 42, 44, 46	Nuten

Patentansprüche

1. Kühlsystem für einen Generator, das aufweist:
 – einen Generatorrotor (**12**) mit einem mehrpoligen Magnetkern;
 – eine Anzahl modularer Feldwicklungen (**14**) rings um den Rotor mit jeweils einer Wicklung für jeden Pol, wobei jede modulare Feldwicklung eine Anzahl in Umfangsrichtung voneinander beabstandeter Spulen (**24**) aufweist und in Umfangsrichtung nebeneinander liegende Spulen im Wesentlichen keilförmige Öffnungen (**28**) zwischen sich begrenzen; und
 – Luftleitelemente (**30**), die in den Öffnungen angeordnet sind und mit den Spulen Durchlässe (**35,39**) ausbilden, durch die Kühlgas von radial unterhalb der Spulen aus in einer im Wesentlichen radial nach außen weisenden Richtung zu Austrittsstellen an dem Außenumfang des Rotors zum Kühlen der Spulen strömen kann.

2. System nach Anspruch 1, bei dem die Elemente (**30**) im Wesentlichen keilförmig sind und abmessungsmäßig kleinere Enden radial innerhalb von abmessungsmäßig größeren Enden, die an radial außenliegende Teile der Öffnungen angrenzen, aufweisen.

3. System nach Anspruch 1, bei dem die Durchlässe (**35,39**) Nuten (**40,42,44,46**) in Oberflächen der Elemente beinhalten, die zu in Umfangsrichtung daneben liegenden Spulen hinweisen.

4. System nach Anspruch 1, bei dem in Umfangsrichtung einander gegenüber liegende Oberflächen der Elemente auf gegenüberliegenden Seiten der Öffnungen an angrenzenden Spulen anliegen und die Nuten längs gegenüberliegender Seiten der Elemente sich erstrecken, um Kühlgas zu den angrenzenden Spulen strömen zu lassen.

5. System nach Anspruch 4, bei dem die Elemente im Wesentlichen keilförmig sind und abmessungsmäßig kleinere Enden radial innerhalb von abmessungsmäßig größeren Enden, die an radial außenliegende Teile der Öffnungen angrenzen, aufweisen.

6. System nach Anspruch 1 mit einer Anzahl von Abstands- oder Leitstücken (**26**) an axial voneinander beabstandeten Stellen längs jeder modularen Feldwicklung, die die Öffnungen in axial voneinander beabstandete offene Kanäle unterteilen, wobei die Elemente in den offenen Kanälen angeordnet sind.

7. System nach Anspruch 6, bei dem die Elemente im Wesentlichen keilförmig sind und abmessungsmäßig kleinere Enden radial innerhalb von abmessungsmäßig größeren Enden, die an radial außenliegende Teile der Öffnungen angrenzen, aufweisen.

8. System nach Anspruch 1, bei dem die Durchlässe (**35**) von Orten radial innerhalb des Rotors zu den Auslassstellen an der Außenumfangsfläche des Rotors eine im Wesentlichen konstante Querschnittsfläche aufweisen, um eine im Wesentlichen konstante Strömungsgeschwindigkeit aufrecht zu erhalten.

9. System nach Anspruch 1, bei dem die Durchlässe (**35**) eine in einer radial nach außen weisenden Richtung im Wesentlichen abnehmende Querschnittsfläche aufweisen, um die Strömungsgeschwindigkeit zu erhöhen.

10. System nach Anspruch 9, bei dem die Elemente im Wesentlichen keilförmig sind und abmessungsmäßig kleinere Enden radial innerhalb von abmessungsmäßig größeren Enden, die an radial außenliegende Teile der Öffnungen angrenzen, aufweisen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

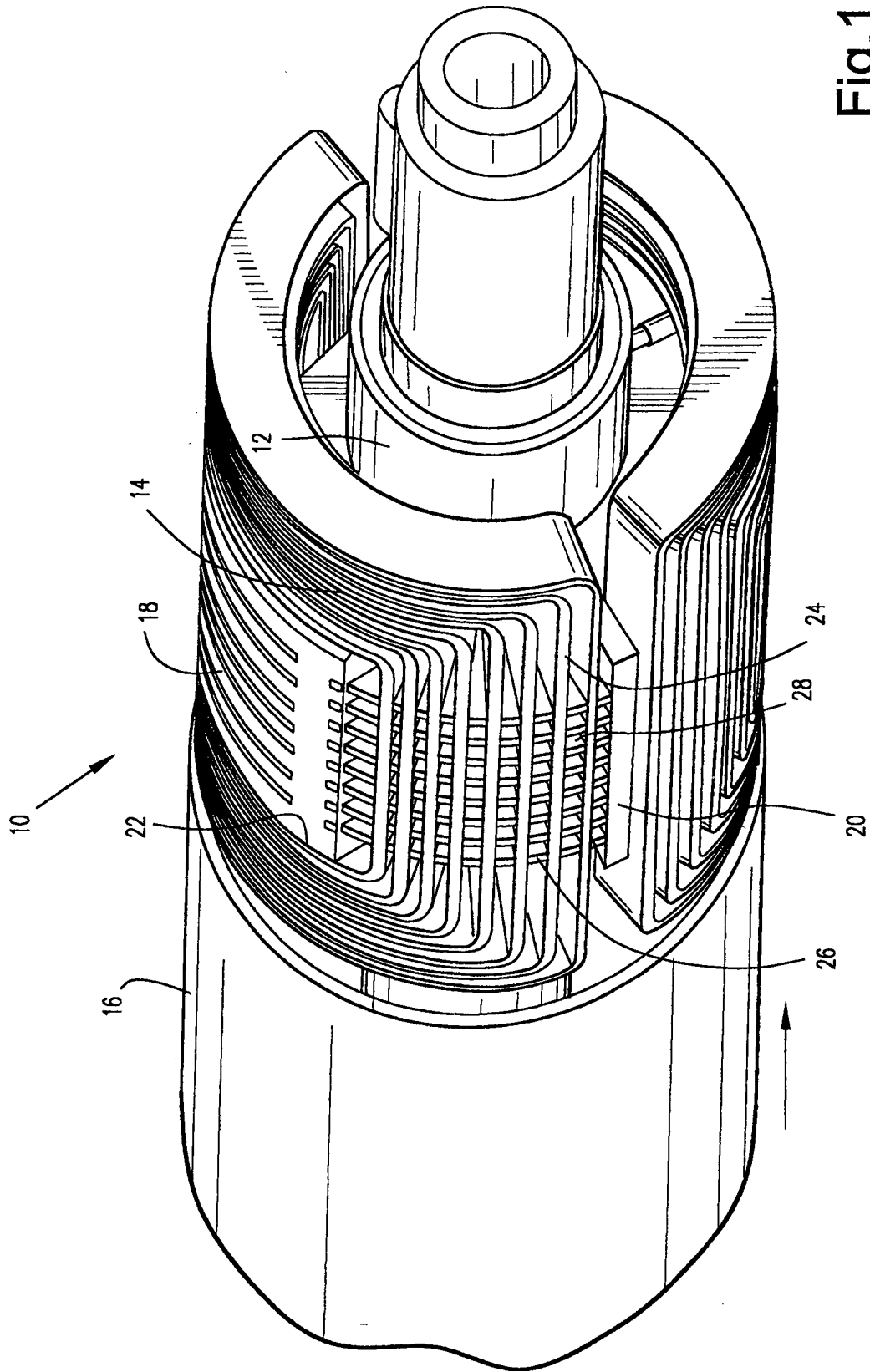


Fig.1

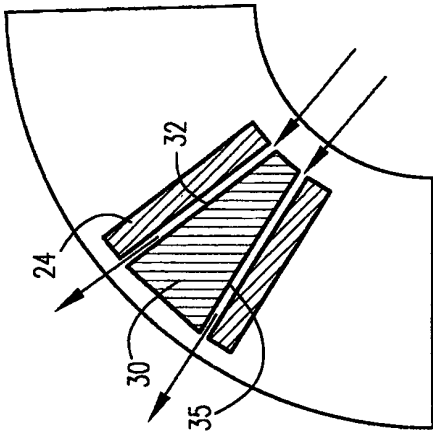


Fig. 3

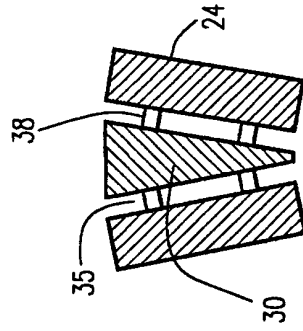


Fig. 4

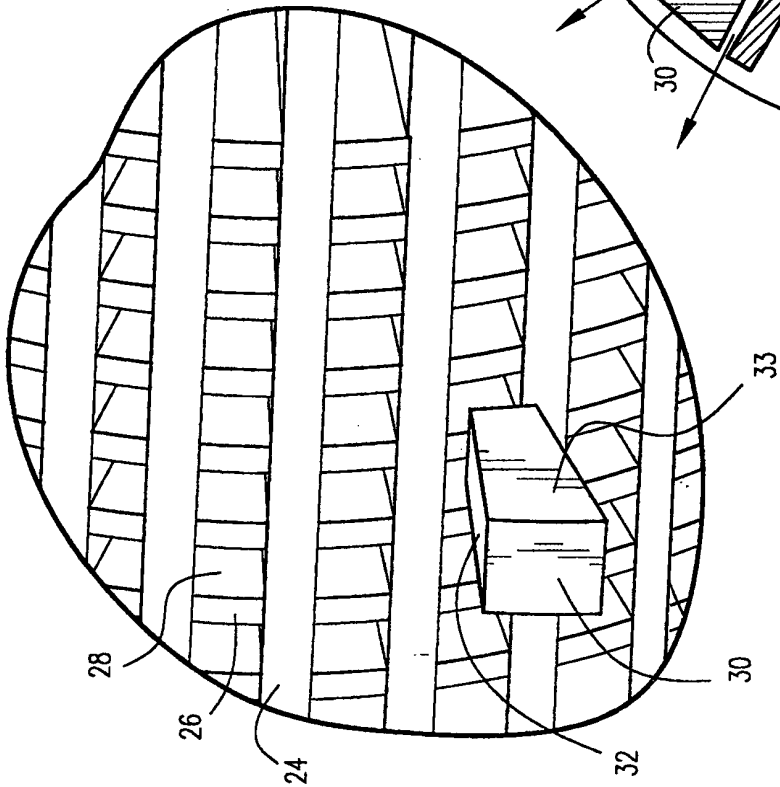


Fig. 2

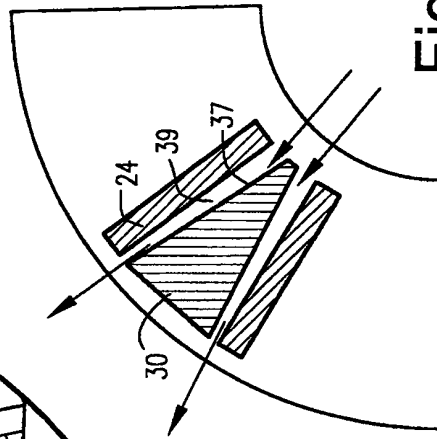


Fig. 5

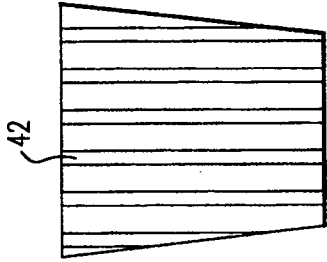


Fig. 7

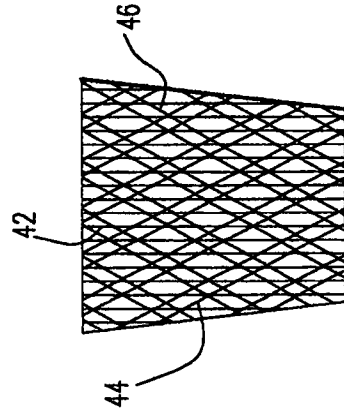


Fig. 9

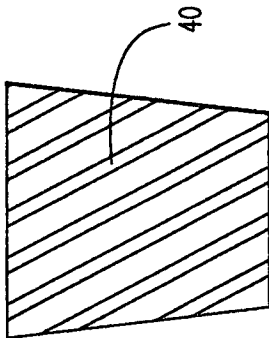


Fig. 6

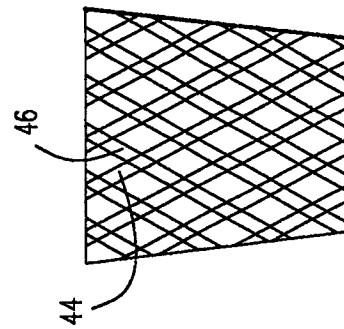


Fig. 8