

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges  
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum  
1. Mai 2014 (01.05.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2014/063673 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*H02K 3/51* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2013/000599

(22) Internationales Anmeldedatum:  
15. Oktober 2013 (15.10.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2012 021 114.7  
26. Oktober 2012 (26.10.2012) DE

(71) Anmelder: **SENSOPLAN GMBH** [DE/DE]; Gewerbestr.  
6, 79801 Hohentengen (DE).

(72) Erfinder: **VOSSKÜHLER, Stefan**; Maierhof 8, 79801  
Hohentengen (DE). **WASMUTH, Thorsten**; Ringstrasse  
23a, CH-Nussbaumen (CH).

(74) Anwalt: **GOY, Wolfgang**; Zähringer Str. 373, 79108  
Freiburg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,  
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,  
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,  
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,  
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,  
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,  
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,  
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,  
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

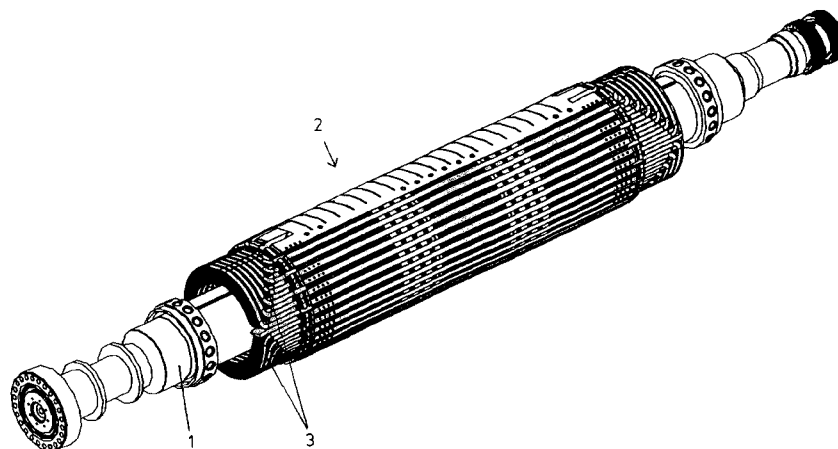
**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz  
2 Buchstabe g)

(54) Title: ELECTRIC GENERATOR FOR PRODUCING ELECTRICITY IN POWER PLANTS

(54) Bezeichnung : ELEKTRISCHER GENERATOR FÜR DIE STROMGEWINNUNG IN KRAFTWERKEN

Fig. 1



(57) Abstract: An electric generator for producing electricity in power plants has an excitation winding (3) on the shaft (1). The turns (4) of the excitation winding (3) are each formed of two half-turns (4') which are soldered together at both ends thereof.

(57) Zusammenfassung: Ein elektrischer Generator für die Stromgewinnung in Kraftwerken weist eine auf der Welle (1) angeordnete Erregerwicklung (3) auf. Die Windungen (4) der Erregerwicklung (3) sind jeweils aus zwei Halb-Windungen (4') gebildet, die an ihren beiden Enden miteinander verlötet sind.



WO 2014/063673 A2

## Elektrischer Generator für die Stromgewinnung in Kraftwerken

Die Erfindung betrifft einen elektrischen Generator für die Stromgewinnung in Kraftwerken nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1; die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen eines Leiters für den Rotor eines elektrischen Generators; die Erfindung betrifft schließlich ein Verfahren zum Sanieren der Leiter für den Rotor eines elektrischen Generators.

Elektrische Generatoren für die Stromgewinnung in Kraftwerken weisen einen Rotor auf. Dieser Rotor besitzt zunächst eine Welle. Auf dieser Welle sind die beiden Pole des Rotors angeordnet. Diese besitzen jeweils eine Wicklung aus mehreren Spulen, wobei jede Spule wiederum aus mehreren Windungen besteht. Diese Windungen sind durch elektrische Leiter aus Kupfer gebildet, die in Nuten eingebettet sind. Dabei erstrecken sich die Leiter zwischen den beiden Wickelköpfen parallel zur Welle. Neben diesen axialen Leitern gibt es noch endseitig die kreisförmig gekrümmten, tangentialen Leiter, bei denen die Achse der Welle den Kreismittelpunkt definiert.

Während des Betriebs des Generators fließt durch die Leiter ein elektrischer Strom. Diese elektrischen Ströme sind vergleichsweise hoch und verursachen eine entsprechend starke Erwärmung. Dies vermindert die Lebensdauer sowie die Laufleistung. Aus diesem Grunde werden die Leiter im Rotor gekühlt.

Konkret wird die Erregerwicklung von Generatorrotoren mit Luft oder Wasserstoff gekühlt, um die durch den Erregerstrom entstehende Verlustwärme abzuführen und eine Überhitzung der Isolationskomponenten zu vermeiden. Dabei gibt es 3 wichtige Kühlungsprinzipien, welche üblicherweise eingesetzt werden (dabei entspricht die nachfolgende Reihenfolge der steigenden Effektivität der Kühlung und damit den zu erreichenden Leistungsdichten des Generators):

Die Variante 1 ist eine indirekte Kühlung durch Vorbeiströmen des Kühlgases an den schmalen Seiten der Leiter der Wicklung.

Die Variante 2 ist eine direkte Kühlung mit Durchströmen des Kühlgases quer durch den Leiter durch entsprechende radiale Bohrungen hindurch.

Die Variante 3 ist ebenfalls eine direkte Kühlung mit Durchströmen des Kühlgases längs durch den Leiter.

Für die Varianten 1 und 2 werden für die Leiter der Windungen Kupfervollprofile verwendet. Für die Variante 2 werden dabei zusätzlich die Leiter mit radialen Bohrungen zum Durchströmen des Kühlgases versehen. Für die Variante 3 werden meistens Einfach- oder Doppelhohlprofile verwendet.

Vorzugsweise werden Rotorwicklungen entweder gemäß Variante 1 oder gemäß Variante 2 oder gemäß einer Kombination der Varianten 1 und 2 gekühlt. Alternativ wird die Rotorwicklung auch gemäß Variante 3 gekühlt. Dies ermöglicht den Einsatz nur eines Profiltyps (Voll- oder Hohlleiter) und damit eine minimale Anzahl von Lötstellen in der Wicklung, da keine unterschiedlichen Profiltypen miteinander verbunden werden müssen. Eine minimale Anzahl von Lötstellen ist von Vorteil, da Lötstellen einen mechanischen Schwachpunkt darstellen.

Es gibt jedoch auch Generatorrotoren, bei denen der gerade, axiale Teil des Leiters einer Windung als Vollprofil ausgeführt ist und überwiegend gemäß Variante 1 oder gemäß Variante 2 oder gemäß einer Kombination dieser Varianten gekühlt wird. Der gebogene, tangentielle Teil des Leiters hingegen ist als Hohlleiter ausgebildet, und zwar unter Verwendung einer Kühlung gemäß der Variante 3. Die beiden Profiltypen können dabei auch unterschiedliche Breiten aufweisen. Dieses Konzept erfordert pro Windung allerdings insgesamt 4 Lötstellen, nämlich je 2 auf der Antriebs- und Nichtantriebsseite des Rotors, um je 2 Hohl- und Vollprofile miteinander zu einer Windung zu verbinden. Diese Lötstellen sind aufgrund ihrer geometrischen Position am Übergang zwischen Axial- und Tangentialleiter sehr hohen mechanischen und thermisch induzierten Kräften ausgesetzt und bilden daher einen besondere Schwachstelle.

Davon ausgehend liegt der Erfindung die **A u f g a b e** zugrunde, einen elektrischen Generator für die Stromgewinnung in Kraftwerken zu schaffen, bei dem bei einer maximalen Kühlleistung die Leiter der Windungen so wenig Lötstellen wie möglich aufweisen.

Die technische **L ö s u n g** ist gekennzeichnet durch die Merkmale des Anspruchs 1.

Dadurch ist ein elektrischer Generator für die Stromgewinnung in Kraftwerken geschaffen, bei dem die Leiter der Windungen nur 2 Lötstellen aufweisen. Dabei ist die Kühlleistung des Kühlgases in keinsten Weise eingeschränkt. Die Grundidee besteht darin, daß die Windungen bzw. Leiter aus 2 Halb-Windungen bzw. 2 Halb-Leitern bestehen, die an ihren Enden sowohl mechanisch als auch elektrisch miteinander verbunden sind. Der erfindungsgemäße Generator besitzt somit eine Generatorrotorwicklung, welche gemäß den vorbeschriebenen Varianten 1 und/oder 2 in Kombination mit Variante 3 gekühlt werden kann. Es werden dabei 2 unterschiedliche Leiterprofile pro Windung eingesetzt, welche jedoch aus nur noch einem

Leiterprofiltyp hergestellt werden können. Indem die Windungen als Halb-Windungen ausgebildet sind, kann - wie ausgeführt - die Anzahl der Lötstellen pro Windung auf 2 Lötstellen reduziert werden. Diese beiden Lötstellen können dabei an eine Position mit geringer Belastung gelegt werden.

Vorzugsweise sind gemäß der Weiterbildung in Anspruch 2 die Enden der beiden Halb-Windungen bzw. der beiden Halb-Leiter miteinander verlötet. Diese Methode der mechanischen und elektrischen Verbindung hat sich bewährt.

Gemäß der Weiterbildung in Anspruch 3 wird vorgeschlagen, daß die beiden Halb-Windungen C-förmig ausgebildet sind. Die Schnittstelle mit ihren Lötstellen liegt dabei zwischen den beiden C-förmigen Halb-Windungen in der Längsmittlebene des Rotors, d. h. auf dem Scheitel der kreisförmigen Tangentialleiter. Selbstverständlich ist es denkbar, die Lötstellen auch an andere Positionen zu legen.

Gemäß der Weiterbildung in Anspruch 4 weisen die Leiter der Windungen in Querrichtung verlaufende Kühlkanäle auf. Dies betrifft die Axialleiter, in denen sich die Kühlkanäle in bezüglich der Welle radialer Richtung als Bohrungen erstrecken. Dieses Durchströmen des Kühlgases quer durch den Leiter in diesen axialen Leiterabschnitten schafft eine optimale Kühlleistung. Darüber hinaus sind die Bohrungen zum Durchströmen des Kühlgases leicht in den Leiter einzubringen.

Die Weiterbildung gemäß Anspruch 5 schlägt eine Möglichkeit für die direkte Kühlung mit Durchströmen des Kühlgases längs durch den Leiter vor. Diese Kühlkanäle sind für den kreisförmigen Tangentialleiter gedacht.

Eine bevorzugte konstruktive Lösung hierfür schlägt die Weiterbildung gemäß Anspruch 6 vor. Der Grundgedanke besteht dabei darin, daß von einem Vollprofil für den Leiter ausgegangen wird. In dieses Vollprofil werden zunächst nach oben hin offene Kanäle beispielsweise in U-Form eingefräst. Dabei können ein oder mehrere dieser Kanäle vorgesehen sein. Diese Kanäle werden durch Aufbringen einer sogenannten Zwischenisolation auf den Leitern nach oben hin verschlossen, so daß dadurch eine Kühlgasströmung längs durch den Leiter realisiert wird. Dies ist ähnlich wie beim früheren Hohlleiter. Dadurch ist auf technisch überaus einfache Weise ein in Längsrichtung des Leiters verlaufender Kühlkanal geschaffen, ohne ein spezielles Hohlprofil verwenden zu müssen. Denn die Kühlkanäle werden durch Herausfräsen aus der flachen Oberseite des Leiters geschaffen.

Der Anspruch 7 schlägt als weitere technische Lösung ein Verfahren zum Herstellen eines Leiters für den Rotor eines elektrischen Generators für die Stromgewinnung in Kraftwerken vor.

Der Kerngedanke besteht darin, daß von einem Leitervollprofil ausgegangen wird, welches im Ausgangszustand über die gesamte Länge das gleiche Querschnittsprofil aufweist. Es wird somit von einem Vollprofil mit der Länge einer halben Windung und mit den Querschnittsmaßen des größten notwendigen Profilquerschnitts für den Leiter ausgegangen. Dies ist das breitere Profil des früher üblicherweise eingesetzten Profils (üblicherweise das Hohlprofil). Das Vollprofil gemäß der Erfindung wird in dem Bereich, in dem ein schmaleres Profil gefordert ist (das frühere schmalere Profil), durch Bearbeitung in der Breite entsprechend reduziert. Es erfolgt somit eine Anpassung an das gewünschte Profil bzw. Querschnittsprofil durch Materialabtrag. An der Stelle, an der früher die Lötverbindung zwischen den beiden verschiedenen Profilen einen rechten Winkel bildete, wird erfindungsgemäß der Leiter nun durch geeignete Verfahren zu einem 90°-Bogen umgeformt. Die Kühlung gemäß der vorbeschriebenen Variante 3 in dem Bereich des Tangentialleiters wird - wie ausgeführt - durch Einfräsen eines oder mehrerer, nach oben hin offener Kanäle längs des Volleleiters realisiert. Dadurch ist insgesamt ein Tangentialleiter quasi in der Art eines Hohlleiters geschaffen, welcher von einem Standard-Leitervollprofil ausgeht.

Der Anspruch 8 schlägt als weitere technische Lösung ein Verfahren zum Sanieren der Leiter für den Rotor eines elektrischen Generators für die Stromgewinnung in Kraftwerken vor. Somit ist es möglich, bestehende elektrische Generatoren für die Stromgewinnung in Kraftwerken, nämlich deren Leiter zu sanieren, indem die alten, vorbeschriebenen Leiter durch erfindungsgemäße Leiter bzw. Windungen ersetzt werden.

Ein Ausführungsbeispiel eines elektrischen Generators für die Stromgewinnung in Kraftwerken wird nachfolgend anhand der Zeichnungen beschrieben. In diesen zeigt:

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht des elektrischen Generators (jedoch ohne die endseitigen Kappen);
- Fig. 2 ein Detailausschnitt aus den Endbereich des Generators in Fig. 1, jedoch mit nur einer einzigen Windung;
- Fig. 3a eine Seitenansicht eines Halb-Leiters der Halb-Windung;

- Fig. 3b eine Draufsicht auf den Halb-Leiter der Halb-Windung in Fig. 3a;
- Fig. 4a eine perspektivische Darstellung der Windung bestehend aus zwei Halb-Windungen vor dem Zusammenlöten dieser Halb-Windungen;
- Fig. 4b die Situation in Fig. 4a nach dem Zusammenlöten der beiden Halb-Windungen;
- Fig. 5 eine schematische Schnittdarstellung durch die Windung.

Der elektrische Generator für die Stromgewinnung in Kraftwerken, wie er in Fig. 1 dargestellt ist, weist eine Welle 1 mit darauf befindlichem Rotor 2 auf. Dieser Rotor 2 ist durch eine Erregerwicklung 3 gebildet, welche die beiden Pole definieren. Die Erregerwicklung 3 besteht aus mehreren Windungen 4, wobei diese Windungen 4 jeweils aus mehreren elektrischen Leitern 5 bestehen.

Die Leiter 5 der Windungen 4 sind als C-förmige Halb-Leiter 5' ausgebildet (Fig. 3a und 3b). Diese beiden Halb-Leiter 5' sind zu dem Gesamt-Leiter 5 zusammengefügt und dabei endseitig über eine Lötstelle 6 miteinander verbunden. Die Schnittstelle zwischen den beiden Halb-Leitern 5' des Leiters 5 liegt dabei auf der Längsmittlebene der Welle 1. Die Schnittstelle kann aber auch woanders liegen. Die Halb-Leiter 5' bilden in ihrer Gesamtheit die Halb-Windungen 4', welche dann zu der vollen Windung 4 verbunden sind.

Die Besonderheit ist die Ausbildung der Leiter 5 bzw. Halb-Leiter 5' für die Windungen 4:

Ausgegangen wird bei der Herstellung der Leiter 5 bzw. Halb-Leiter 5' von einem Vollprofil aus Kupfer insbesondere mit einem flachen, rechteckigen Querschnitt. Dieses Vollprofil wird durch entsprechende mechanische Maßnahmen zu einer C-Form gebogen, wie sie in den Fig. 3a und 3b dargestellt ist.

Die Halb-Leiter 5' weisen im gerade verlaufenden Axialbereich Kühlkanäle 7 auf. Diese sind durch schlitzartige Bohrungen in das Material eingebracht.

Eine zweite Art von Kühlkanälen 8 ist im kreisbogenförmigen Tangentialbereich der Halb-Leiter 5' vorgesehen. Das Grundprinzip hier besteht darin, daß in die oberseitige Flachseite des Halb-Leiters 5' Kanäle beispielsweise in U-Form eingefräst werden. Dabei können ein

oder mehrere dieser Kanäle vorgesehen sein. Diese eingefrästen Kanäle definieren die Kühlkanäle 8. Konkret sind diese Kühlkanäle 8 dergestalt realisiert, daß die Flachseiten der Leiter 5 unter Zwischenanordnung eines flächigen Isolators 9 aufeinandergelegt werden. Dies bedeutet aber, daß durch den dazwischen befindlichen Isolator 9 die eingefrästen Kanäle nach oben hin verschlossen werden, so daß eine Kühlgasströmung längs durch den Leiter 5 in Form eines Kühlkanals 8 realisiert ist.

Wie ausgeführt, wird bei der Herstellung des Leiters 5 bzw. Halb-Leiters 5' von einem Vollprofil ausgegangen, welches im Ausgangszustand über die gesamte Länge einen gleichen Querschnitt aufweist. In den Bereichen, in denen dieser Querschnitt zu groß ist, erfolgt eine entsprechende Abtragung von Material, so daß der gewünschte Querschnitt bzw. das gewünschte Profil geschaffen wird.

Bezugszeichenliste

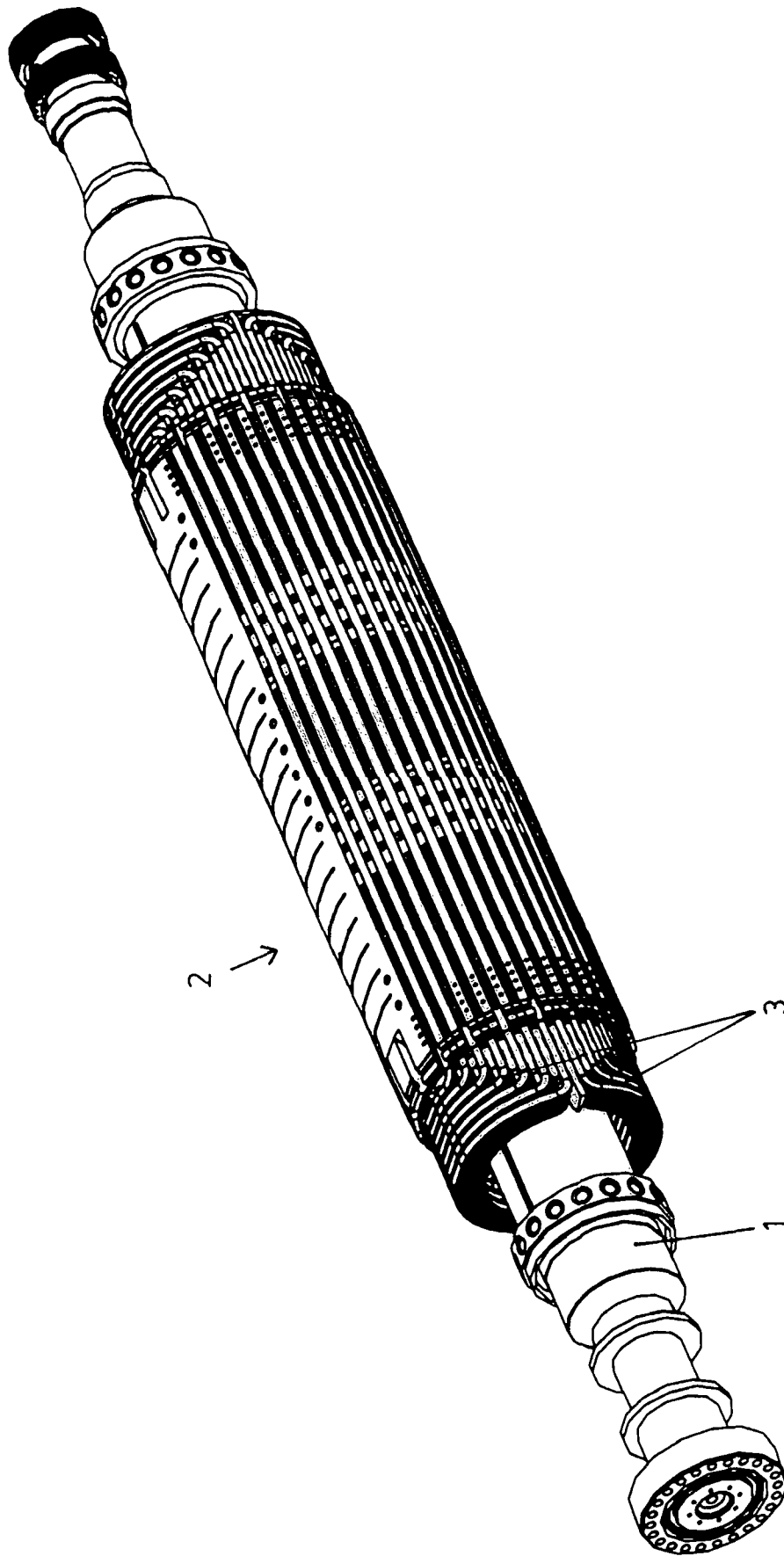
1	Welle
2	Rotor
3	Erregerwindung
4	Windung
4'	Halb-Windung
5	Leiter
5'	Halb-Leiter
6	Lötstelle
7	Kühlkanal
8	Kühlkanal
9	Isolator

## Ansprüche

1. Elektrischer Generator für die Stromgewinnung in Kraftwerken, mit einem, eine Welle (1) aufweisenden Rotor (2) sowie mit einer, auf der Welle (1) angeordneten Erregerwicklung (3), wobei die Erregerwicklung (3) aus mehreren Windungen (4) und die Windungen (4) jeweils aus mehreren Leitern (5) bestehen, dadurch gekennzeichnet, daß die Windungen (4) jeweils aus zwei Halb-Windungen (4') bestehen, die an ihren beiden korrespondierenden freien Enden elektrisch und mechanisch miteinander verbunden sind.
2. Elektrischer Generator nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Enden der beiden Halb-Windungen (4') miteinander verlötet sind.
3. Elektrischer Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Halb-Windungen (4') C-förmig ausgebildet sind.
4. Elektrischer Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die axialen Leiterabschnitte der Leiter (5) der Windungen (4) in Querrichtung verlaufende Kühlkanäle (7) in Form von Bohrungen aufweisen.
5. Elektrischer Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die kreisförmigen Tangentialleiter der Leiter (5) der Windungen (4) in Längsrichtung des Leiters (5) sich erstreckende Kühlkanäle (8) aufweisen.
6. Elektrischer Generator nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiter (5) der Windungen (4) als flache Vollprofile ausgebildet sind, daß auf der Flachseite dieser Vollprofile offene Kanäle ausgebildet sind und daß unter Zwischenanordnung eines flächigen Isolators (9) die Leiter (5) mit ihren Flachseiten aneinanderliegen und dabei die Kühlkanäle (8) dazwischen definieren.

7. Verfahren zum Herstellen eines Leiters (5) für den Rotor (2) eines elektrischen Generators für die Stromgewinnung in Kraftwerken nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß von einem Leitervollprofil ausgegangen wird, welches über die gesamte Länge das gleiche Querschnittsprofil aufweist, und daß zur Schaffung des vorgegebenen Querschnittsprofils bereichsweise das Leitervollprofil durch Materialentfernung bearbeitet wird, wobei diese Bearbeitung nach oder vor einem Zurechtbiegen des Leiters (5) in die gewünschte Form durchgeführt wird.
  
8. Verfahren zum Sanieren der Leiter (5) für den Rotor (2) eines elektrischen Generators für die Stromgewinnung in Kraftwerken, dadurch gekennzeichnet, daß die bestehenden Leiter oder Windungen durch Leiter (5) oder Windungen (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 ersetzt werden oder durch Leiter (5) oder Windungen (4) ersetzt werden, welche nach Anspruch 7 hergestellt sind.

Fig. 1



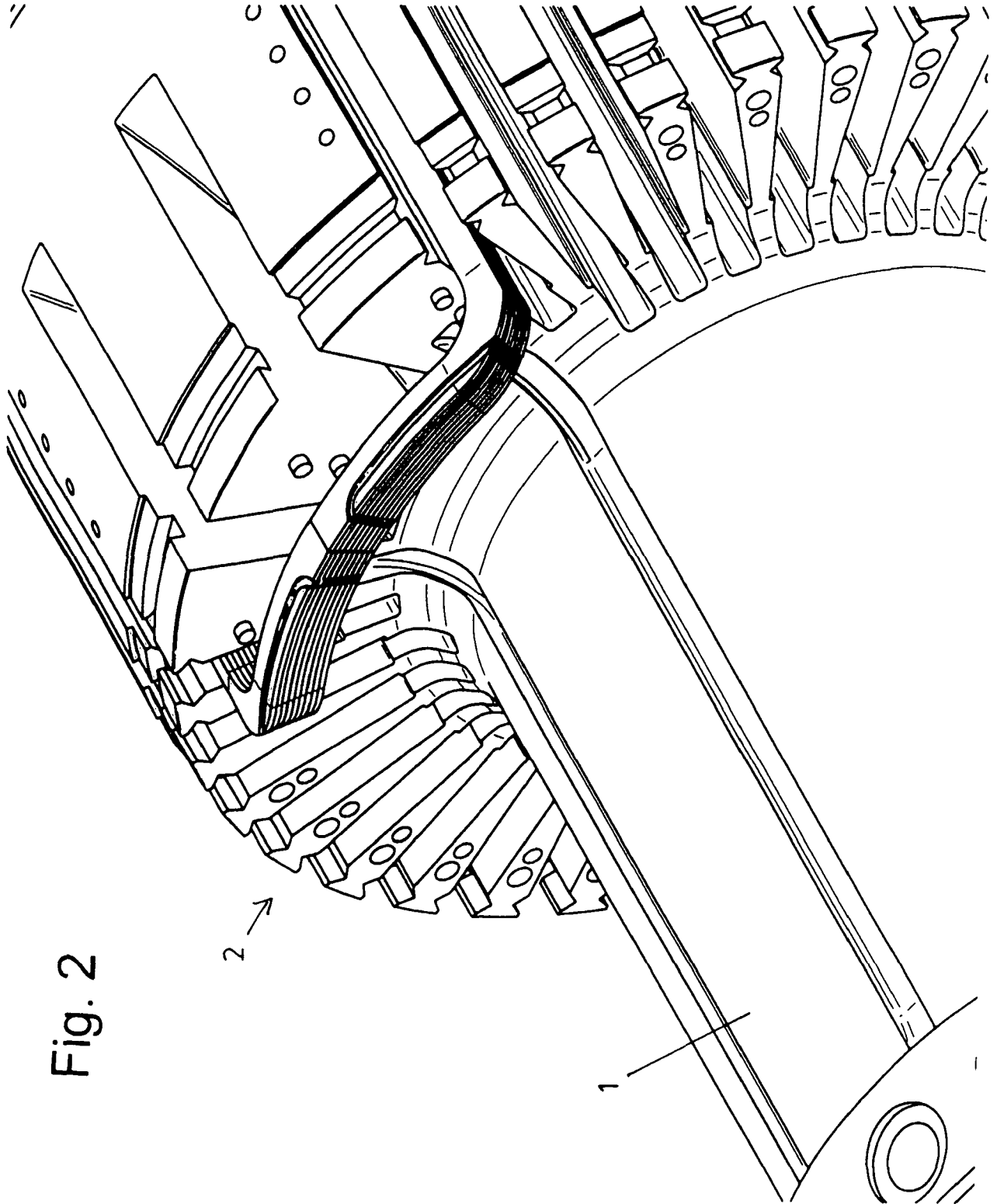


Fig. 2

Fig. 3 a

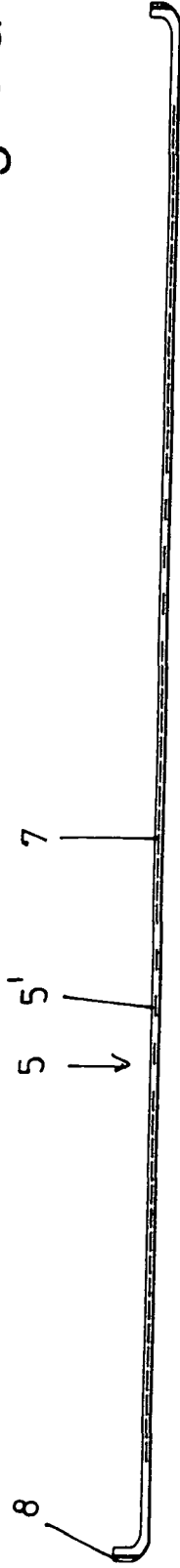
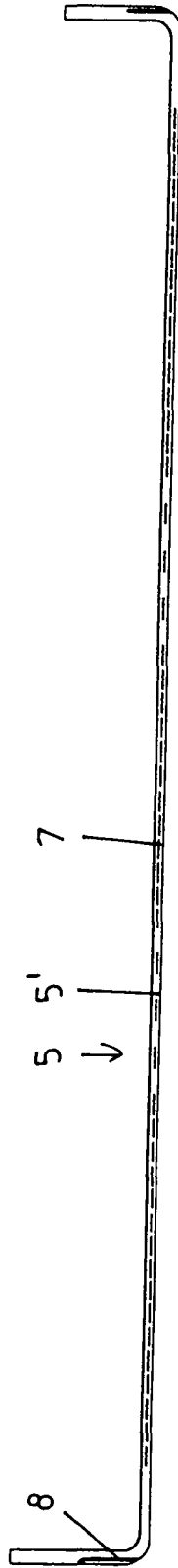


Fig. 3 b



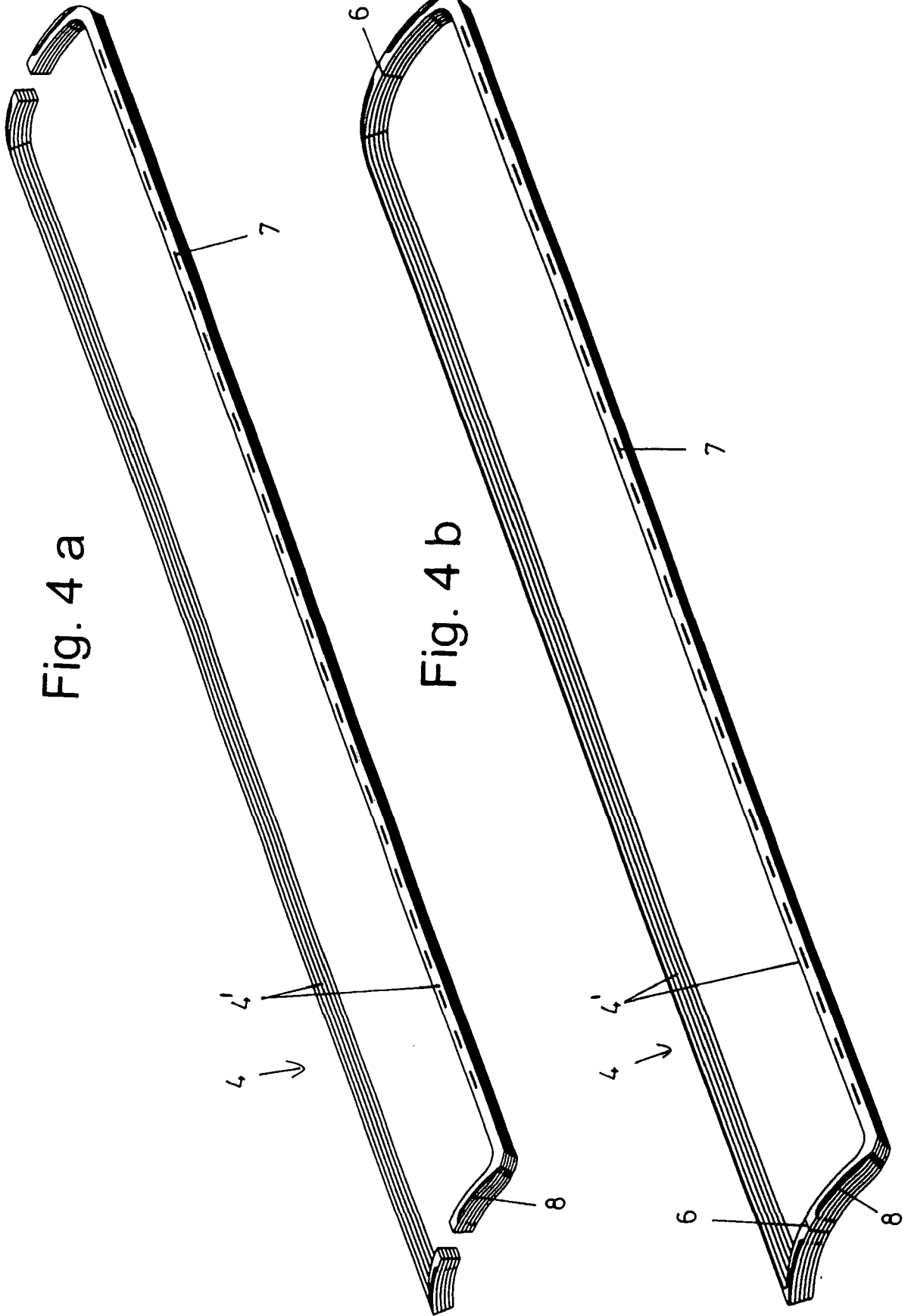


Fig. 4 a

Fig. 4 b

Fig. 5

