



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 653 491 A5

⑤① Int. Cl.4: H 02 K 19/16
H 01 R 39/24

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENT SCHRIFT** A5

⑫① Gesuchsnummer: 1451/80

⑫② Anmeldungsdatum: 22.02.1980

⑫③ Priorität(en): 25.06.1979 US 051927

⑫④ Patent erteilt: 31.12.1985

⑫⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 31.12.1985

⑦③ Inhaber:
Westinghouse Electric Corporation,
Pittsburgh/PA (US)

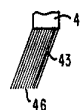
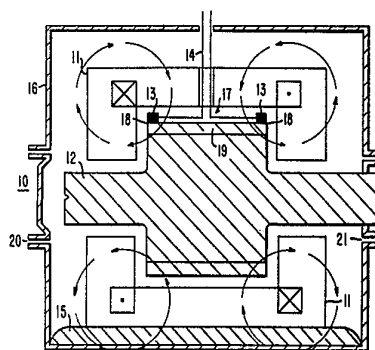
⑦② Erfinder:
McNab, Ian R., Murrysville/PA (US)
Reichner, Philip, Pittsburgh/PA (US)

⑦④ Vertreter:
A. Braun, Braun, Héritier, Eschmann AG,
Patentanwälte, Basel

⑤④ **Elektrische Maschine für Hochstrombetrieb.**

⑤⑦ Die Gleichpolmaschine für Hochstrombetrieb ist mit einer Stromkollektorbürste (13) versehen, die aus einer Vielzahl von in ihrem Biegeverhalten unabhängigen, elektrisch leitenden Metallfasern (46) besteht. Der Kontaktbereich zwischen der Stromkollektorbürstenfläche und einem rotierenden Schleifring (18) auf der Rotoroberfläche ist gegenüber der Atmosphäre abgeschirmt und mit einem nichtoxidierenden Gas beschickt, das eine bestimmte Wasserdampfmenge enthält. Dadurch wird ein Schmierfilm zwischen der Bürste und dem rotierenden Schleifring erzeugt, um die Bürstenreibung und die Bürstenabnutzung möglichst klein zu halten.

Derartige elektrische Gleichpolmaschinen mit einer solchen Stromkollektoranordnung sind einfach und billig herzustellen und zeichnen sich durch niedrige Stromkollektorverluste aus.



PATENTANSPRÜCHE

1. Elektrische Maschine für Hochstrombetrieb, umfassend ein ortsfestes (11) und ein bewegliches Element (12) sowie mindestens eine zwischen diesen beiden Elementen angeordnete Stromkollektorbürste (13), die mit einem dieser beiden Elemente in Reibkontakt steht, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromkollektorbürste (13) aus einer Vielzahl elektrisch leitender in ihrem Biegeverhalten unabhängiger Metallfasern (43) besteht, dass der Reibkontaktbereich zwischen dieser Bürste (13) und dem betreffenden Element (11; 12) gegenüber der Atmosphäre abgeschirmt und diesen abgeschirmten Bereich ein nicht-oxidierendes gasförmiges Medium zugeleitet ist, welches eine geeignete Wasserdampfmenge enthält, um einen wirksamen Schmierfilm zwischen der Bürste und dem betreffenden Element zu erzielen und dadurch den Bürstenabrieb so klein zu halten und dass die mechanische Belastung der Fasern der Bürste (13) im Kontaktbereich zwischen $4,4 \times 10^{-6}$ N pro Faser und $4,4 \times 10^{-2}$ N pro Faser liegt.

2. Maschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das nicht-oxidierende gasförmige Medium aus Kohlendioxid, Argon, Helium, Stickstoff oder Wasserstoff besteht.

3. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bürste (13) Metallfasern aufweist, die aus Kupfer, Silber, Rhodium, Ruthenium, Gold, Kobalt, Aluminium, Molybdän oder aus entsprechenden Legierungen dieser Metalle bestehen und dass die Fasern eine Dicke von 0,01 bis 1 mm und eine Länge von 2 bis 25 mm aufweisen.

4. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Partialdruck des Wasserdampfes in dem nicht-oxidierenden gasförmigen Medium oberhalb von etwa 617,8 Pa liegt.

5. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern der Bürste (13) kontinuierlich zum betreffenden Element (11; 12) nachgeführt werden, um eine Bürstenabnutzung am Kontaktbereich zu ersetzen.

6. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromkollektorbürste (13) am beweglichen Element (12) befestigt ist und in Reibkontakt mit dem ortsfesten Element (11) steht.

7. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromkollektorbürste (43) an dem ortsfesten Element (41, 42) angebracht ist, dass das sich bewegend Element ein Rotor (45) ist und dass dieser Rotor mit einer Kupferbürste (43) in Berührung steht.

8. Maschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschine eine Gleichpolmaschine ist, dass das nicht-oxidierende gasförmige Medium Kohlendioxid enthält und der Partialdampfdruck des Wasserdampfes in dem gasförmigen Medium im Bereich von 617,8 bis 2451 Pa liegt.

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Bei vielen elektrischen Maschinen ist es notwendig, zwischen zwei relativ zueinander sich bewegenden Teilen einen elektrisch leitenden Weg zu schaffen. Beispielsweise ist es bei dynamo-elektrischen Maschinen üblich, eine Bürste oder ein elektrisch leitendes Material zu benutzen, das auf der Oberfläche eines Schleifrings oder Kommutators gleitet, um einen Strompfad zwischen dem Motor und einem externen Anschluss zu schaffen. Ein prinzipielles Erfordernis einer derartigen Bürste ist das, dass sie in der Lage sein muss, einen hohen Strom pro Flächeneinheit der Zwischenfläche zwischen der Bürste und der Oberfläche, die sie berührt, zu ermöglichen, ausserdem sollte hohe Abriebfestigkeit und niedrige Reibung vorhanden sein.

Kohlenstoff, Graphit oder Kohlenstoff-Metall-Blöcke wurden für Bürsten bisher benutzt. Diese Blöcke waren begrenzt auf Stromdichten von etwa $15,5 \text{ A/cm}^2$ (100 A/Zoll^2), und zwar für zufriedenstellenden Betrieb in Luft. Mit derartigen Bürsten steht jedoch typischerweise nur etwa $\frac{1}{10000}$ der Bürstenstirnoberfläche als tatsächliche Kontaktzwischenfläche für den Stromübergang zur Verfügung. Dies beruht auf Oxidfilmen, die im Bereich des Zwischenflächenkontaktes vorhanden sind, auf irregulärer Bürsten- und Schleifringoberflächentopographie sowie der Ansammlung von Oberflächenschmutz. Hohe Andruckkräfte zur Verbesserung des Bürstenkontaktes führten zu hohem Abrieb und zu hoher Reibung.

In der US-PS 3 668 451 sowie der US-PS 3 886 386 sollen Kontaktprobleme dadurch gelöst werden, dass aus mehreren Elementen bestehende Bürsten benutzt werden, die aus umschlossenen und mit Metall beschichteten, eng gepackten, selbst nicht leitenden Fasern aus Aluminiumoxid oder Bornitrit bestehen, oder aus langgestreckten, plattierten oder nicht-plattierten leitfähigen Kohlenstofffasern. Diese Bürsten liefern einen guten Kontaktflächenbereich zusammen mit hoher Festigkeit und Flexibilität. Sie konnten für Stromdichten in der Grössenordnung von etwa 115 A/cm^2 (1000 A/Zoll^2) benutzt werden bei gleichbleibenden Gleitgeschwindigkeiten von bis zu etwa $91,5 \text{ m/s}$ (18000 Fuss/min).

Es wurden auch Versuche unternommen, den hohen Abrieb sowie den Spannungsabfall zu beseitigen, der durch Oxidfilme entsteht, wobei z.B. als Kühlmedium Wasserstoffgas in Verbindung mit der Einführung einer kleinen Menge von Quecksilberdampf in das nicht oxidierende Kühlgas angewendet wurde, siehe die US-PS 1 922 191. In jüngerer Zeit wurde Luft – konditioniert mit Alkoholen, Äthern, Estern oder Ketonen – zur Kühlung und zur Schmierung von Bürsten von Gleichstromgeneratoren und -motoren bei hochfliegenden Flugzeugen und beim Betrieb in getrockneter Luft angewendet, wie durch die US-PS 2 662 195 und 2 703 372 gelehrt wird.

Innerhalb der letzten 15 Jahre richtete sich das Interesse auf die Entwicklung von Gleichpolmaschinen für den Schiffsantrieb oder für Impulsbetriebschweissleistungsanlagen. Im allgemeinen sind dies Maschinen, bei denen das Magnetfeld und der in den aktiven Leitern fließende Strom bezüglich dieser Leiter die Richtung beibehalten, während sich die Maschine in stetigem Betrieb befindet.

Um einen hohen Wirkungsgrad und annehmbare Maschinengrößen zu erhalten, müssen die Stromkollektorsysteme für diese hohen Strom führenden Rotormaschinen unter sehr schweren Bedingungen arbeiten. Die Stromdichtepegel an der Bürstenkontaktfläche von bis zu 775 A/cm^2 (5000 A/Zoll^2) bei kontinuierlichen Gleitgeschwindigkeiten von bis zu 6100 m/min (20000 Fuss/min). Maschinenanlagen mit Stossbelastung können 3874 A/cm^2 (25000 A/Zoll^2) bei Gleitgeschwindigkeiten von 19800 m/min (65000 Fuss/min) erreichen, und zwar für Zeiten, die in der Grössenordnung von Hunderten von Millisekunden liegen.

In der britischen Patentschrift 1 256 757 wird versucht, die Stromkollektorprobleme bei dynamoelektrischen Gleichpolmaschinen dadurch zu lösen, dass ein sehr kompliziertes und kostspieliges Flüssig-Metall-Stromkollektorsystem der Natrium-Kalium-Bauart benutzt wird. Zwar liefern diese Flüssigmetall-Kollektorsysteme hohe elektrische Leitfähigkeit und Kontaktintimität, doch ergeben sich als Nachteile eine sehr schwierige Maschinenkonstruktion, Turbulenzen, Giftigkeit und Probleme bezüglich der Materialkompatibilität.

Um Gleichpolmaschinen für hohe Ströme wie auch andere Bauarten von Maschinen, die für hohe Ströme in Betracht kommen, wirtschaftlich attraktiv zu machen, müssen neuartige Stromkollektor-Anordnungen und -einrichtungen zur atmosphärischen Abschirmung entwickelt werden, die

einfach und billig sind und die die elektrischen Verluste sowie die Reibungsverluste in der Kontaktierungszone auf ein Minimum bringen. Mit der vorliegenden Erfindung soll dies erreicht werden.

Gelöst wird dies durch eine elektrische Maschine nach den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert, das in den Zeichnungen dargestellt ist. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer gekapselten, trommelförmigen, dynamoelektrischen Gleichpolmaschine,

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Bürstentestapparats, der bei Tests benutzt wurde, die beschrieben sind, und

Fig. 3 eine detaillierte Darstellung einer Bürstenkonstruktion.

In Fig. 1 ist eine gekapselte, trommelförmige, für hohen Strom geeignete dynamoelektrische Gleichpolmaschine 10 dargestellt. Die Theorie von Gleichpolmaschinen reicht zurück bis ins Jahr 1831, als Michael Faraday den ersten Gleichpolgenerator an der Royal Society vorführte. Faraday zeigte, dass eine Spannung dadurch erzeugt werden konnte, dass eine Scheibe zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets gedreht und der Strom am inneren Durchmesser wie auch am äusseren Durchmesser der Scheibe abgenommen wurde.

Ein Charakteristikum einer Gleichpolmaschine ist, dass die Ankerwicklung aus zwei Segmenten zusammengesetzt ist, wobei das eine rotiert und das andere stationär ist. Diese Konfiguration begrenzt die Anzahl der Windungen, die in der Wicklung genutzt werden können. Weil die Ankerwicklung daher nur eine kleine Anzahl von Windungen besitzt, arbeitet die Gleichpolmaschine mit niedriger Spannung und hohem Strom. Die Weiterentwicklung dieser Maschinen seit dem Jahre 1831 war nur begrenzt, weil die hohen Ströme über Gleitkontakte zwischen dem rotierenden und dem stationären Glied übertragen werden mussten.

Gleichpolmaschinen können in zwei Gruppen aufgeteilt werden, in die Scheibenbauart und in die Trommelbauart. Bei der Scheibenbauart wird ein axiales Magnetfeld durch einen Gleichstrommagneten erzeugt und von einem scheibenförmigen Rotor durchschnitten, der sich in einer Ebene senkrecht zum Feld bewegt. Während die Scheibe gedreht wird, wird in radialer Richtung aufgrund der ansteigenden Verkopplung mit dem Magnetfeld eine Spannung erzeugt. Indem auf den äusseren Durchmesser der Scheibe und im Zentrum der Scheibe Bürsten angelegt werden, kann eine elektrische Leistung abgegriffen werden, die äquivalent ist zu der eingegebenen mechanischen Leistung abzüglich der mechanischen und elektrischen Verluste des Systems.

Für die in Fig. 1 dargestellte trommelförmige Gleichpolmaschine wird ein radiales Magnetfeld durch Gleichstrommagnetspulen in einem Stator 11 erzeugt (siehe die gestrichelten Pfeile), und dieses Magnetfeld wird von einem trommelförmigen Rotor 12 geschnitten. Wenn der Rotor umläuft, wird eine Spannung erzeugt. Da auf den beiden Enden des trommelförmigen Rotors Bürsten 13 angeordnet sind, kann eine elektrische Leistung von diesem System über Zuleitungen 14 abgegriffen werden. Eine Basis 15, ein Gehäuse 16 und ein Luftspalt 17 sind ebenfalls abgebildet; wenn der Rotor 12 rotiert, bewegt sich der Kraftlinienfluss des Rotors quer zu den Magnetlinien des Kraftfeldes im Luftspalt. Die Bürsten 13 sind zwischen dem Rotor 12 und einem stationären Glied angeordnet, das die Bürsten hält und in Fig. 1 nicht dargestellt ist.

Die trommelförmige Gleichpolmaschine besitzt die gleichen elektrischen und mechanischen Begrenzungen, wie die scheibenförmige Gleichpolmaschine, bei der hohe Umfangsgeschwindigkeiten die Konstruktion der gleitenden elektrischen Bürsten 13 begrenzen. Die Spannung dieser Maschinen

kann für den Scheibentyp dadurch erhöht werden, dass die Scheiben segmentiert werden und die Segmente zueinander in Serie geschaltet werden, oder indem mehrere Scheiben in Serie geschaltet werden. Für eine Gleichpolmaschine der Trommelbauart kann die Spannung dadurch erhöht werden, dass die Trommel segmentiert wird und die Segmente zueinander in Serie geschaltet werden, oder dass mehrere Trommeln in Serie geschaltet werden. Der Ausdruck «Gleichpolmaschine» soll somit auch alle diese verschiedenen Bauarten mitumfassen.

In der dynamoelektrischen Maschine 10 wird Strom durch eine Bürste übertragen, die aus mehreren Bürstenelementen besteht und aus einer grossen Anzahl von flexiblen, d.h. mechanisch voneinander unabhängigen Fasern zusammengesetzt ist, die gemeinsam als geeignete Kontaktleitung arbeiten, und zwar in Verbindung mit einer feuchtigkeitsgesteuerten nicht-oxidierenden Atmosphäre. Die bei Biegung voneinander unabhängigen Fasern sind jeweils flexibel und können sich frei und unabhängig bewegen. Sie sind an ihrem Kontaktende auseinander gespreizt und werden nicht durch Verdrehen oder Einhüllen in einen Mantel zusammengepresst. Die Bürsten 13 werden mit einem solchen Druck oder einer Kraft angepresst, so dass sie in Kontakt mit dem Rotor an der Oberfläche des Schleifrings 18 stehen. Die Bürsten stellen einen mechanischen und elektrischen Kontakt mit einem Schaltkreis her, der an Leiter 14 angeschlossen ist. Der Trommelrotor 12, in Fig. 1 dargestellt, kann, wenn er aus Stahl besteht, einen aus Aluminium, Kupfer oder anderem hochleitendem Material bestehenden Mantel 19 besitzen, der auf der Aussenfläche der Trommel angebracht ist.

Eine Bürste 13 besteht aus einer Vielzahl von Elementen, im allgemeinen aus 5 bis 10 Millionen. Zwar sind einzelne Bürsten 13 als stationäre Teile der Maschine dargestellt, doch könnten die Bürsten auch kreisförmig und um ein rotierendes Glied, beispielsweise auf dem Umfang des Rotors, angeordnet sein, und mehrere 100 000 000 Einzelelemente umfassen. Geeignete Fasern werden aus Metallen wie Silber, Rhodium, Ruthenium, Gold, Kobalt, Aluminium, Molybdän, Kupfer und dessen Legierungen ausgewählt. Kupfer ist bevorzugt. Die Fasern, wenn sie kreisförmigen Querschnitt besitzen, besitzen eine Dicke bzw. einen Durchmesser, der zwischen 10 bis 1000 Mikron liegt. Im vorliegenden Falle soll mit «Dicke», die auch den Durchmesser umfasst, ein Mass gemeint sein, das sowohl bei kreisförmigen wie auch bei rechteckigen Konfigurationen benutzt wird. Die Fasern besitzen eine freie Länge von vorzugsweise 2 bis 25 mm.

Faserdicken von 10 Mikron bilden eine brüchige Bürste und bedingen sehr kurze Längen oder eine verringerte Andruckkraft, wodurch diese Art Bürsten nur einen schlechten Bürstengleitkontakt, bedingt durch Rotorexzentrizitäten wie auch aufgrund eines Schmiermittelfilmaufbaus zwischen der Bürste und dem Schleifring, gestattet. Faserdicken von mehr als 1000 Mikron ergeben eine zu steife Bürste, die extrem lange Elemente erfordern können und eine erhöhte Andruckkraft für einen guten Bürstengleitkontakt bedingen. Dies kann zu einem Durchbruch der Fasern durch den Schmierfilm führen, was einen übermässigen Wärmefluss und Abrieb zur Folge hat. Der Schleifring 18 kann aus Metallen oder Legierungen hergestellt sein, die oben bereits angeführt wurden. Bevorzugt ist Kupfer oder mit Silber plattiertes Kupfer. Der mechanische von den Fasern ausgeübte Andruck am Schleifring oder einer anderen bewegten Oberfläche ist kritisch und muss zwischen $4,4 \times 10^{-6}$ N bis $4,4 \times 10^{-2}$ N pro Faser (1×10^{-6} bis 1×10^{-2} lb/Faser) liegen. Werte von über $4,4 \times 10^{-2}$ N pro Faser (1×10^{-2} lb/Faser) können ein Durchbrechen des Schmierfilms verursachen. Werte unterhalb von $4,4 \times 10^{-6}$ N pro Faser (1×10^{-6} lb/Faser) können eine Reduktion der elektrischen Übertragungsfähigkeit bewirken.

In Kombination mit den auf einer Vielzahl von Elementen aufgebauten Bürsten wird innerhalb des Gehäuses während des Betriebs eine gesteuerte Schutzgasatmosphäre aufrechterhalten, wie beim Spalt 17. Um einen Betrieb ohne Isolierfilmbildung, übermässigen Hitzeaufbau und Bürstenabnutzung sicherzustellen, muss eine sauerstofffreie Atmosphäre mit bestimmter Feuchtigkeit und hoher thermischer Leitfähigkeit vorgesehen werden, wobei diese Atmosphäre aus einem Gas ist, das vorzugsweise ausgewählt wird aus Kohlendioxid, Argon, Helium, Stickstoff oder Wasserstoff allein oder in Mischung.

Das angefeuchtete nicht-oxidierende Gas kann innerhalb der Maschine vollständig eingeschlossen sein, oder es kann fortlaufend durch die Maschine hindurchgeführt werden, wie beispielsweise durch Zuführung an Einlässen 20 und Abzug an Auslässen 21. Das angefeuchtete Gas muss die Kontaktfläche zwischen der Bürste und dem Schleifring berühren und in diese eindringen, um einen Schmiereffekt zu bewirken. Das Gas muss in einer solchen Menge mit Wasser angereichert sein, dass es ausreichend ist, um eine Adsorption eines extrem dünnen Wasserdampffilms auf der Oberfläche der Bürste und des Schleifrings zu ermöglichen, wodurch sich Schmiereigenschaften zwischen der Bürste und dem Schleifring ergeben. Es wird angenommen, dass die Dicke dieses H₂O-Films in der Grössenordnung von 1 bis 10 Molekülen liegt und vorzugsweise im wesentlichen ununterbrochen ist. Im allgemeinen wird der Teildruck des Wasserdampfes in dem Gas grösser als die Sättigung im Gefrierpunkt von 617,8 bis 2451 Pa (0,09 bis 0,36 psi) der Sättigung bei Raumtemperatur sein. Unterhalb eines Teildruckes von 617,8 Pa (0,09 psi) der Sättigung im Gefrierpunkt kann der gebildete Schmierfilm unterbrochen sein und einen nur geringen Schmiereffekt zeigen. Oberhalb von 2451 Pa (0,36 psi) der Sättigung bei Raumtemperatur könnte der Film dazu neigen, den Stromübergang an der Bürsten-Schleifring-Zwischenfläche zu behindern, und in ungeheizten Bereichen der Maschine könnte Kondensation auftreten.

Der Einsatz von Bürstenfasern, die eine gute thermische Leitfähigkeit besitzen und die Bildung des für eine niedrige Kontaktreibung sorgenden Schmierfilms an der Bürstenfläche liefert eine durchschnittliche Temperatur in der Kontakt-Zwischenfläche zwischen den Bürsten und dem Schleifring von 75 bis 200 °C.

Der Luftabschluss verhindert eine starke Oxidation und dementsprechend eine hohe Abriebrate bzw. einen hohen Kontaktfilmwiderstand, je nach der mechanischen Belastung und der mechanischen Festigkeit des Oberflächenfilms. Es wird angenommen, dass durch die Einführung von Wasserdampf auf dem rotierenden Schleifring und an der Bürstenfläche, dort wo diese den Schleifring berührt, ein gesteuerter Zwischenflächenfilm erzeugt wird, und zwar aufgrund von Physisorption oder Chemisorption, was für einen erfolgreichen Betrieb notwendig ist.

Die Aufteilung der Bürste in viele im wesentlichen parallele und mechanisch voneinander getrennte und bei Biegung voneinander unabhängige metallische Elemente, wie in Fig. 3 der Zeichnungen dargestellt, ermöglicht eine entsprechende Verteilung der mechanischen Belastung über die Gleitzwischenfläche. Flexibilität und die Freiheit zu unabhängiger Bewegung für jede Faser ist erforderlich, um eine gleichförmige Lastverteilung sicherzustellen und zu ermöglichen, dass die Bürste Unregelmässigkeiten der Schleifringoberfläche folgen kann. Jedes Element kann dann als ein getrennter Kontakt bei einer stark verringerten Belastung angesehen werden. In Kombination mit dem oben beschriebenen Schmierfilm wird es dadurch möglich, dass die metallische Oberfläche in einer ausreichenden Dichte gleiten kann, um eine Elektronenleitung durch den schmierenden Zwischenfilm zu ermögli-

chen, und dabei jedoch einen im wesentlichen direkten metallischen Kontakt und örtliches Verschweissen vermeidet.

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand einer elektrischen Gleichpolmaschine beschrieben wurde, lässt sich die Erfindung selbstverständlich auch in vorteilhafter Weise bei jeder anderen Art von rotierender oder linear sich bewegend elektrischer Maschine oder Einrichtung anwenden, beispielsweise bei grossen Motoren, die einen elektrisch leitenden Pfad zwischen zwei Teilen erfordern, von denen der eine oder beide Teile relativ zueinander bewegt werden. Somit kann die Bürste auch entweder an das stationäre oder an das bewegliche Teil angebracht werden.

Im folgenden seien verschiedene Tests beschrieben.

15 Test 1

Eine aus einem einzigen Bündel bestehende Faserbürste wurde in einem einfachen durch das Eigengewicht einen Andruck erzeugenden Stromkollektorsystem getestet, wie in Fig. 2 gezeigt. Das System wurde in eine abgedichtete Kammer eingeschlossen, um die Atmosphäre steuern zu können. Die Bürste war ein von Hand aufgedrehtes Kupferkabel und bestand aus 168 separaten Kupferelementen, jeweils mit einem Durchmesser von 127 Mikron. Die Länge der Elemente der Bürste vom Halter betrug etwa 8 mm. Jedes Kupferfaserelement war mechanisch und in seiner Biegsamkeit von anderen Faserelementen unabhängig.

Das Kabel 40, in Fig. 2 und 3 der Zeichnungen dargestellt, passte in einen Kupferhalter 41, der an einem Andruckarm 42 befestigt war. Das ausgebreitete Bürstenende 43 sprang von der Vorderseite des Halters vor und bestand aus unabhängigen, im wesentlichen parallelen Fasern. Eine Feststellschraube 44 blockierte die Bürste in der Teststellung, ermöglichte aber eine periodische oder fortlaufende Nachführung durch den Halter, um die Bürste zu erneuern und den Bürstenabrieb zu ersetzen, indem das Kabel 40, das auch im Stromnebenschluss benutzt wurde, vorgeschoben wurde. Der Nebenschluss war so angeordnet, dass seine Wirkung auf die Bürstenkontaktkraft möglichst klein gemacht wurden, wobei die Bürstenkontaktkraft gemessen wurde, nachdem die elektrischen Verbindungen vollständig waren. Die abgedichtete Kammer ist nicht dargestellt.

Die Bürste 43 wurde in einem Winkel von etwa 45° relativ zu der Schleifringoberfläche 45 angeordnet, die einen Durchmesser von 82,6 mm aufwies. Die verwendeten Schleifringe bestanden entweder aus massivem Kupfer oder aus mit Silber plattiertem Kupfer. Die Bürstenfläche wurde der Krümmung des Schleifrings angepasst, um so einen guten Kontakt an der Zwischenfläche 46 zwischen Bürste und Schleifring zu erhalten, wobei Aluminiumoxidthuch der Körnung 240 verwendet wurde, das mit der Belagseite nach aussen um die Peripherie des rotierenden Schleifrings herumgewickelt wurde. Der Bürstenabrieb wurde durch einen Abriebsensor, bei 47 dargestellt, gemessen. Nachdem die richtige Krümmung auf der Bürstenoberfläche hergestellt war und das Schleiftuch entfernt war, wurde der Spannungsabfall zwischen der Schleifringoberfläche und dem Bürstenhalter gemessen.

Die meisten der Kontaktspannungsabfalltests wurden mit angefeuchtetem Kohlendioxidgas oder Argon als nicht oxidierendem gasförmigem Medium durchgeführt. Ein ununterbrochener Strom von angefeuchtetem, nicht oxidierendem Gas wurde durch die Kammer hindurchgeleitet, in der der Druck im wesentlichen atmosphärischer Druck war, um einen ununterbrochenen Schmierfilm auf der Zwischenfläche zwischen Bürste und Schleifring zu erhalten. Der Teildruck des Wasserdampfes betrug 2451 Pa (0,36 psi) Raumtemperatursättigung. Die Schleifringgeschwindigkeit wurde meist auf 725 m/min (2380 Fuss/min) gehalten, entsprechend einer Drehzahl von 2800 U/min für den Schleifring. Die Bürste war

bezüglich des Schleifrings positiv. Die Stromdichten wurden berechnet aufgrund des Querschnitts einer jeden Faser. Die

Ergebnisse sind in der untenstehenden Tabelle 1 angegeben, meist für Laufzeiten von 2 Stunden:

Tabelle 1

Stromdichte (A/cm ²)	Gleitgeschwindigkeit (m/min)	Anzahl Bürstenfasern (Cu)	Schleifringoberfläche	Wasserdampfbelad. Gas	Spannungsabfall (mV)	Gesamte Kontaktdruckkraft (N)
1240	725	168	Cu	CO ₂	48	0,168
1240	725	168	Ag	CO ₂	14	0,178
1240	725	168	Ag	Ar	14	0,178
1240	910	168	Ag	CO ₂	9	0,28
10075	725	168	Ag	CO ₂	125	0,218

Die Faserkontaktbelastung betrug etwa $10,8 \times 10^{-4}$ N/Faser ($2,4 \times 10^{-4}$ lb/Faser). Diese Daten von einer simulierten Atmosphäre für eine unter Strom stehende Umgebung einer laufenden Maschine zeigen sehr niedrige Spannungsverluste für den Kupferschleifring und ausserordentlich gute Resultate für den silberplattierten Schleifring, wenn entweder angefeuchtetes Kohlendioxidgas oder Argongas benutzt wird. Zum Vergleich mit der Faserbürste bei 1240 A/cm² (8000 A/Zoll²) wurde bei einer konventionellen Metall-Graphit-Bürste von 3,2 cm² Fläche mit 95% Cu und gleichem Strom bei einer spezifischen Belastung von 15,5 A/cm² (100 A/Zoll²) ein Spannungsabfall von ungefähr 100 mV gemessen.

Bei der genannten Faserbürste lag die durchschnittliche Bürstenzwischenflächen-Kontakttemperatur gut unterhalb von 200 °C, wodurch sich zeigt, dass ein schmierender Wasserdampffilm gebildet wurde und dass die Verwendung einer Vielzahl von unabhängigen, thermisch gut leitenden Fasern die Wärme gut ableitete. Nach jedem Test wurde die Bürstenoberfläche untersucht und in jedem Falle zeigte sich minimaler Abrieb mit keiner erkennbaren Oxidation und Verschweissung von Fasern. Beim Betrieb mit 10 075 A/cm² (65 000 A/Zoll²), wobei nach etwa zwei Stunden Laufzeit der Strom oberhalb von 9300 A/cm² (60 000 A/Zoll²) lag, überschritt die Zwischenflächentemperatur 300 °C und es wurde eine gewisse Deformation der Bürste bemerkt. Jedoch zeigte der Test, dass ein Betrieb der Bürsten und des Schleifrings für kurze Zeitperioden selbst bei ausserordentlich hohen Strömen möglich ist.

Wenn der Teildruck des Wasserdampfes in dem Kohlendioxidgas auf 617,8 Pa (0,09 psi Eispunktsättigung) reduziert wurde, trat eine leichte Aufrauung der Bürstenspur auf der Schleifringoberfläche auf, und die Spannungsabfallmessungen begannen uneinheitlich zu werden. Eine Teildruckreduzierung unter diesen Wert würde vergrösserte Aufrauung der

Kontaktoberfläche und erhöhten elektrischen Kontaktwiderstand erzeugen.

Die Einführung von Raumluft erzeugte sehr stark schwankende Messungen des Kontaktspannungsabfalls sowie schnellen Abrieb der Bürste und der Schleifringoberfläche. Somit ist es die Kombination des verwendeten Gases und der Menge des vorhandenen Wasserdampfes, die einerseits für die Schaffung einer Gleitkontaktoberfläche niedriger Reibung sorgt, andererseits immer noch eine wirksame Stromübertragung ermöglicht.

Test 2

Eine Vielfach-Bündel-Faserbürste wurde über einen Bereich von Stromdichten und Gleitgeschwindigkeiten untersucht. Das Testgerät war etwas grösser, doch war der Betrieb ähnlich dem des Beispiels 1, und es wurden ähnliche Faserkontaktbelastungen aufrechterhalten. Jedoch bestand die Bürste aus 15 Bündeln (3 Reihen von 5 Bürsten), wodurch 2520 von Hand aufgedrehte und getrennte Kupferelemente mit jeweils einem Durchmesser von 0,127 mm (5×10^{-3} Zoll) und einer ungefähren Länge von 7,9 mm (0,31 Zoll) vorhanden waren. Die Bürste wurde zu einer rechteckigen Form zusammengesetzt, um sie in einem herkömmlichen Halter einpassen zu können.

Jedes Faserelement war mechanisch und in seinem Biegeverhalten unabhängig. Die Enden des Bürstenkabels waren verlötet, um zwei Stromnebenschlüsse zu bilden. Die Bürstenoberfläche war an die Schleifringoberfläche konturmässig angepasst, wie bei Beispiel 1 dargestellt.

Die Vielfach-Bündelbürste wurde in einem Winkel von ungefähr 45° bezüglich der Oberfläche des Kupferschleifrings angeordnet, der einen Durchmesser von 356 mm aufwies. Die Ergebnisse der Kontaktspannungsabfalltests sind in der untenstehenden Tabelle für meist zweistündige Laufperioden wiedergegeben:

Tabelle 2

Stromdichte (A/cm ²)	Gleitgeschwindigkeit (m/min)	Anzahl Bürstenelem. (Cu)	Schleifringoberfläche	Wasserdampfbelad. Gas	Spannungsabfall (mV)
620	725	2,520	Cu	CO ₂	35
1240	725	2,520	Cu	CO ₂	43
1550	725	2,520	Cu	CO ₂	60
2325	3000	2,520	Cu	CO ₂	80

Diese Daten einer simulierten unter hohem Strom stehenden Umgebung für eine Maschine unter Verwendung von Vielfach-Bündelbürsten – wie es vermutlich kommerziell

durchgeführt werden würde – zeigen niedrige Spannungsverluste an den Kupferschleifringen sowohl bei 620 A/cm² (4000 A/Zoll²) bei Geschwindigkeiten von 725 m/min (2380

Fuss/min) und bei 2325 A/cm^2 ($15\,000 \text{ A/Zoll}^2$) bei 3000 m/min (9840 Fuss/min).

In allen Fällen betrug die durchschnittliche Bürstenzwischenflächen-Kontakttemperatur weit weniger als 200°C , was zeigt, dass der gebildete ununterbrochene Schmierfilm und die Benutzung einer Vielzahl von thermisch gut leitenden Fasern die Wärme gut ableitete. Nach jedem Test wurde die Bürstenoberfläche untersucht und zeigte in jedem Falle mini-

male Abnutzung mit keiner sichtbaren Oxidation oder Verschweissung der Fasern.

Die Benutzung von Silberfasern oder anderen Faserarten oder die Verwendung von anderen Schleifringoberflächen als die oben erwähnten, würde ähnliche ausgezeichnete Ergebnisse liefern, wie auch die Verwendung von anderen angefeuchteten nicht toxidierenden Atmosphären als die vorstehend erwähnten.

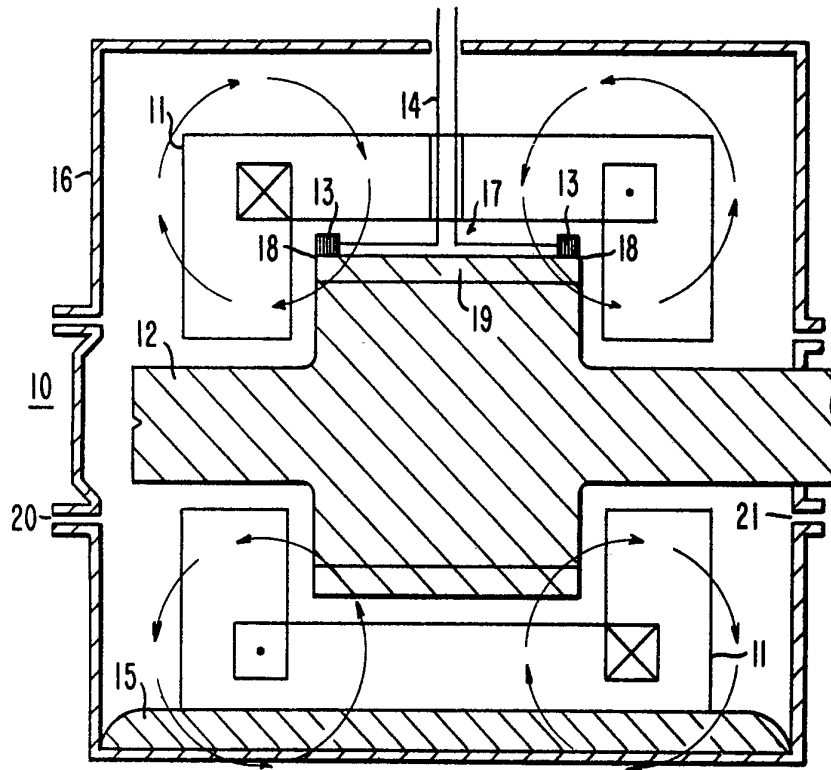


FIG. 1

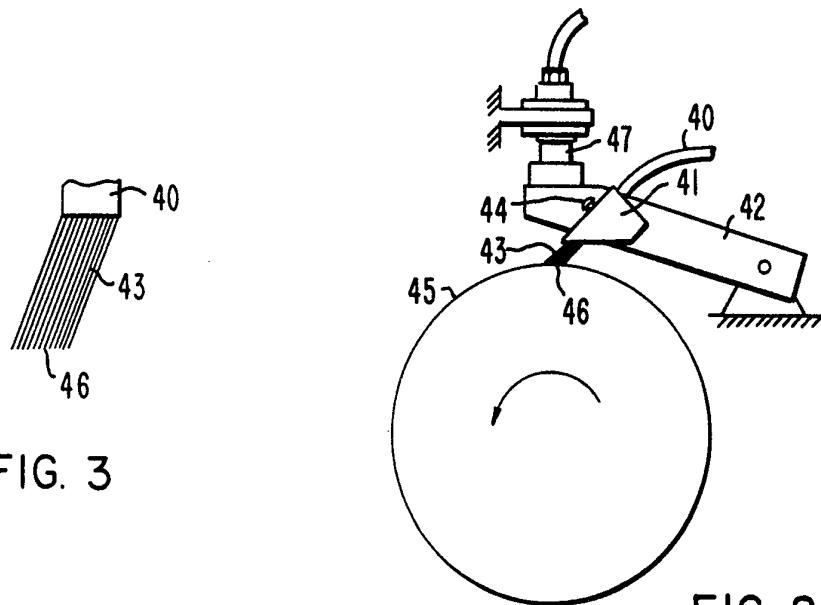


FIG. 3

FIG. 2