



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 0 702 504 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.03.1996 Patentblatt 1996/12

(51) Int Cl.⁶: **H05B 6/02, H05B 6/10**

(21) Anmeldenummer: **95114461.7**

(22) Anmeldetag: **14.09.1995**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE ES FR GB IT LI SE

(72) Erfinder: **Sabinski, Joachim, Dr.-Ing.**
D-01169 Dresden (DE)

(30) Priorität: **16.09.1994 DE 4432978**

(74) Vertreter: **Weissfloh, Ingo**
Prellerstrasse 26
D-01309 Dresden (DE)

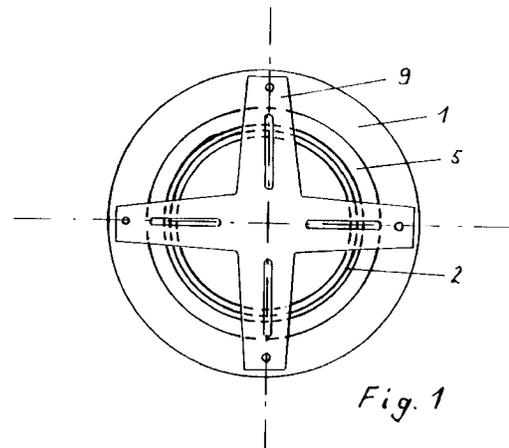
(71) Anmelder: **VEM-Elektroantriebe GmbH**
D-01242 Dresden (DE)

(54) **Thermisches Rohr und Verfahren zur induktiven Erwärmung getränkter, elektrischer Baugruppen**

(57) Mit dem thermischen Rohr wird eine induktive Einrichtung zur Erwärmung elektrischer Baugruppen nach dem Tränken dieser Baugruppen und ein Verfahren zum Trocken- und Aushärtungsprozess mit der erfindungsgemäßen Einrichtung vorgeschlagen.

Der Primärkreis (1) wird an eine Wechselspannungsquelle angeschlossen. In der Primärkreisinnenbohrung wird das thermische Rohr (2), bestehend aus einem Verbundblechrohr, wobei das innere Rohr (3) des Verbundblechrohres aus einem ferromagnetischen Material besteht und das äußere Rohr (4) aus einem nichtferromagnetischen aber elektrisch gut leitenden Material besteht, fest arretiert. Durch die Induktion kommt es zur Erwärmung des thermischen Rohres (2). Diese Wärme wird zur Aushärtung der Isolation genutzt. Mit Hilfe des thermischen Rohres (2) wird eine sogenannte Harzsicherung (Hautbildung des Harzes) vor der eigentlichen Aushärtung vorgenommen.

Anwendungsgebiete des thermischen Rohres sind insbesondere im Elektromaschinenbau gegeben.



EP 0 702 504 A2

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung und das Verfahren zur induktiven Erwärmung insbesondere zur Aushärtung und Trocknung von imprägnierten Wicklungen elektrischer Maschinen mit konzentrierter oder verteilter Wicklung in der Elektrotechnik.

Stand der Technik

In der Elektrotechnik bei der Fertigung von hochausgelegten elektrischen Maschinen ist ein wesentliches Problem die Auslegung und Herstellung der gesamten Isolationssysteme. Das Isolationssystem bestimmt die Belastbarkeit und die Lebensdauer der Erzeugnisse. Gefordert werden hohe mechanische, elektrische und thermische Eigenschaften der Isolation der Wicklungen. Dies kann nur erreicht werden, durch die Kombination verschiedener Isolierstoffe und Reaktionsharzen, wie z.B. Epoxidharzen oder Silikonharzen. Diese Isolierungen bedingen einen Ausschluß von Lufteinschlüssen.

Damit alle freien Zwischenräume zwischen Blechpaket und Wicklungswerkstoff einerseits und Wicklungswerkstoff und Nutbefestigung andererseits ausgefüllt und in der Regel die mehreren Lagen Isolierbänder durchtränkt werden, ist es notwendig die Viskosität der Reaktionsharze so niedrig wie möglich zu wählen.

Um die schädlichen Lufteinschlüsse zu vermeiden, werden heute weitestgehend Vakuum-Druck-Imprägnierverfahren gewählt. In aufwendigen Imprägnieranlagen wird zunächst die vorhandene Luft weitgehend evakuiert, um dann mit Überdruck das Imprägnierharz in die freien Zwischenräume der Nuten einzubringen. Nach der Imprägnierung werden die getränkten elektrischen Maschinen in speziellen Öfen getrocknet und ausgehärtet. Die nötige Reaktionswärme wirkt dabei von außen auf die Isolation in den Nuten der Blechpakete ein. Das bedeutet, der mit der Gelierung einsetzende Aushärtungsprozeß beginnt in den Außenzonen und setzt sich nach innen weiter fort. Bei den hochreaktiven und schnell gelierenden Tränkarzen führt dies zu beträchtlichen inneren Spannungen und zu Gas- und Schrumpflunkern.

Außerdem vergeht eine relativ lange Zeit, bis der Wärmeeintrag von außen so weit erfolgt ist, daß der Gelierungsprozeß beginnt.

Das dünnflüssige Harz läuft bis zum Gelierungsprozeß teilweise wieder aus. Deshalb kann die Viskosität bestimmte Grenzwerte nicht unterschreiten, was jedoch das Eindringen des Reaktionsharzes in alle freien Zwischenräume wieder erschwert.

Zur Verhinderung des Auslaufens werden zusätzlich Katalisatoren als Beschleuniger für den Gelierungsprozeß eingesetzt. Der gesamte Tränk- und Aushärtungsprozeß ist sehr zeit- und energieaufwendig.

Durch die lange Trocknungszeit verdampfen die in

den Reaktionsharzen noch vorhandenen umweltschädlichen Lösungsmittel und bilden im Inneren des gelierenden Reaktionsharzes nicht gewünschte kleinste Gaslunker.

5 Aus der DE 33 23 154 ist ein Verfahren zur Imprägnierung und Einbettung von elektrischen Wicklungen bekannt, die diese Nachteile teilweise vermeidet. Dabei werden das Reaktionsharz und die Wicklungen zunächst getrocknet und dann wird mit Hilfe eines Vakuum-Druck-Verfahrens imprägniert bzw. vergossen. Die 10 Trocknung und Entgasung wird in Öfen durch Stromwärme im elektrischen Leiter der Wicklung unterstützt. Die damit erzielbaren Temperaturen betragen bis zu 140 °C. Anschließend erfolgt eine weitere Aushärtung in normalen Trocknungsöfen bei höheren Temperaturen. 15

Kritik des Standes der Technik

Diesem Verfahren haftet der Nachteil an, daß der 20 Zeitraum für die Erwärmung noch relativ lang ist und eine weitere Aushärtung in normalen Trocknungsöfen erforderlich ist.

Problem

25 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung und ein Verfahren zur induktiven Erwärmung von getränkten bzw. nicht getränkten elektrischen Baugruppen elektrischer Maschinen zu schaffen, die in einem kurzem Zeitraum einen hohen Wärmeeintrag ermöglicht, den Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung verbessert und die Wärmequellen im und unmittelbar und an der optimalen Stelle konzentriert und damit die Erwärmung des Bauteiles vereinfacht und sowohl eine 30 Harzsicherung als auch vollständige Aushärtung ermöglicht. 35

Erzielbare Vorteile

40 Mit der Erfindung des thermischen Rohres wirken die primäre und sekundäre Wärmequelle unmittelbar auf das auszuhärtende Bauteil.

Die Vorteile ergeben sich somit durch die direkte Wärmestrahlung am richtigen Ort und der damit gegebenen optimalen Luftführung für den konvektiven Wärmeeintrag in die jeweilige Baugruppe und in einer optimalen Wärmeleitung innerhalb der zu erwärmenden Baugruppe. Damit ergeben sich die Vorteile einer Vergleichmäßigung der Temperaturen, einer Verkürzung 45 der Aushärtezeit und eines verbesserten thermischen Wirkungsgrades.

Mit der sogenannten Harzsicherung wird eine erste Hautbildung des Harzes erreicht und damit eine Harzbindung nach dem Tränken optimiert. Weiterhin kann mit dem thermischen Rohr die vollständige Aushärtung 50 vorgenommen werden. Eine weitere Steigerung der Qualität ist damit gegeben.

Weitere Ausgestaltung der Erfindung

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Ansprüchen 2 bis 10 angegeben. Die Weiterbildungen nach Anspruch 2 stellt einen Sonderfall dar, bei dem der magnetische Rückschluß wegfällt. Die Weiterbildungen nach Anspruch 3, 4, 7 und 8 dienen zur besseren Anpassung des thermischen Rohres an die unterschiedlichen Durchmesser der Primärkreise. Die Weiterbildungen nach Anspruch 5 und 6 dienen zur guten elektrischen Verbindung der Kreissegmente des thermischen Rohres. Eine Weiterbildung, bei der der Primärkreis und Sekundärkreis miteinander vertauscht sind, ist in Anspruch 9 beschrieben. Mit der Weiterbildung des Anspruches 10 wird die thermische Wirkung der Einrichtung verstärkt. Das Verfahren unter Nutzung der erfindungsgemäßen Einrichtung ist im Anspruch 11 beschrieben.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele und der Verfahrensschritte

Ein Ausführungsbeispiel ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen

Fig. 1 die schematisierte Darstellung des Primärkreises und des Sekundärkreises als thermisches Rohr und

Fig. 2 die schematisierte Darstellung des thermischen Rohres mit paarweisen Kreissegmenten innerhalb des Primärkreises.

Die erfindungsgemäße Einrichtung dient zum Trocknen und Aushärten von mit Tränklack oder Harzen imprägnierten Baugruppen elektrischer Maschinen insbesondere von Primärkreisen 1. Als Sekundärkreis 2 wird ein Verbundblechrohr 2, weiterhin als thermisches Rohr 2 bezeichnet, verwendet. Das thermische Rohr 2 besteht aus einem inneren Rohr 3 mit ferromagnetischen Eigenschaften, im Ausführungsbeispiel vorzugsweise aus einem ca. 3 mm dicken Eisenrohr. Das äußere Rohr 4 besteht aus einem nichtferromagnetischen aber elektrisch gut leitenden Material, im Ausführungsbeispiel vorzugsweise aus einem 1 mm dicken Kupferrohr. Im äußeren Rohr 4, welches zum Primärkreis 1 näher liegt, wird durch die wechselnde Feldeinwirkung des Primärkreises 1 über damit im Zusammenhang entstehende Wirbelströme Wärme erzeugt. Am Primärkreis 1 wird dazu eine Wechselfeldspannung $< 0,4 U_N$ angelegt, die in der Wicklung des Primärkreises 1 ebenfalls Wärme erzeugt. Das thermische Rohr 2 stellt die sekundäre Wärmequelle und die Wicklung des Primärkreises 1 stellt die primäre Wärmequelle dar. Die Wechselfeldspannung kann eine Frequenz von 50 Hz besitzen, andere Frequenzen sind jedoch auch denkbar. Der Spannungsanschluß erfolgt im Ausführungsbeispiel bei Drehstromständen dreiphasig, kann aber auch andersphasig, z. B. zweipha-

sig bei zeitlichem Wechsel der Phasenanschlüsse erfolgen. Die Wechselfeldspannung erzeugt in der Ständerwicklung ein Drehfeld oder bei Anschluß < 3 -Phasen ein Wechselfeld in der Ständerbohrung. Das Dreh- oder Wechselfeld durchsetzt das in der Ständerbohrung feststehende thermische Rohr 2. Der Eisenanteil des inneren Rohres 3 konzentriert den magnetischen Rückschluß des Feldes bei gleichzeitiger Verstärkung des Flusses und trägt, wenn auch im geringeren Umfang als das äußere Rohr 4, ebenfalls über die Wirkung der Wirbelströme zur Wärmegewinnung bei. Das thermische Rohr stellt somit die Hauptwärmequelle für den Prozeß dar. Die Endtemperatur sowie die Zeitkonstante des Temperaturverlaufes im thermischen Rohr 2 können sowohl über die Ständerspannung (Primärkreisspannung), deren Frequenz als auch über den Luftspalt 5 zwischen thermischem Rohr 2 und Primärkreis 1 eingestellt werden. Die Sicherung einer schnellen und gleichmäßigen Erwärmung der Baugruppe bei sofortiger Erwärmung des Harzes in der Hauptisolierung bedingt einen Ständerstrom gleich bzw. größer dem Nennstrom und eine schnelle Erwärmung des thermischen Rohres 2 auf die maximal zulässige Temperatur. Die gleichmäßige Erwärmung im Trocken- und Aushärteprozeß bedingt einen Luftspalt 5 von ca. 20 mm bis 70 mm.

Die Anpassung des thermischen Rohres 2 an unterschiedliche Verfahrensparameter und der universelle Einsatz dieses über mehrere Primärkreisgrößen hinweg, wurde erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das thermische Rohr 2 aus mindestens zwei oder mehreren Kreissegmenten 6 besteht. Die Konstruktion des thermischen Rohres 2 im Ausführungsbeispiel umfaßt vier Kreissegmente 6, wobei jeweils zwei Kreissegmente 6 über Scharniere 7 paarweise verbunden sind. Die Länge des thermischen Rohres 2 entspricht im Minimum der größten Blechpaketlänge eines Primärkreises 1. Die Arretierung des thermischen Rohres 2 zur Primärkreisinnenbohrung erfolgt mittels eines Adapters unter Nutzung des Anstelldruckes durch die Wärmeausdehnung des thermischen Rohres 2 oder durch ein Kreuz 9 mit Langlöchern vorzugsweise über den Zentrierrand des Primärkreises 1. Die Kreissegmente 6 des thermischen Rohres 2 sind vorzugsweise durch flexible, elektrische Leiter 8 verbunden und können sich überlappen. Zur besseren Handhabung und Einstellung der Einrichtung können an der Innenseite des thermischen Rohres 2 im Bereich der Scharniere 7 Feststeller 10 angeordnet sein.

Zur Verstärkung der thermischen Wirkung ist im Ausführungsbeispiel ein Lüfter in einer thermisch isolierten Hüllkonstruktion angeordnet, der die Luft durch die Primärkreisbohrung beidseitig des thermischen Rohres 2 und über die Primärkreisaußenseite im Kreislauf führt.

Die Kombination der Erwärmung der Primärkreiswicklung und des thermischen Rohres 2 wirkt primär auf die für die Spannungsfestigkeit entscheidenden Wicklungs-Nut-Zahn-Bereiche, wodurch sich die Temperaturen der Wicklung im Nut- und Wickelkopfbereich und über der Hauptisolierung im Nutbereich gegenüber der

konventionellen Erwärmung vergleichmäßigen. Dies stellt die Grundlage für die Verkürzung der Anwärzeit und eine schnellere Erreichung des Aushärtegrades der Hauptisolierung dar, was technisch zu einer Verkürzung der Aushärzeit führt.

Die Einrichtung des Ausführungsbeispielen beinhaltet einen dreiphasigen Anschluß. Die Spannung wird über einen Regeltrafo in 20%-Schritten geregelt. Zur Minimierung der Trafoleistung erfolgt auf der Sekundärseite des Trafos die Kompensation der induktiv belasteten und zu erwärmenden Baugruppe. Die Stellung der Spannung des Trafos erfolgt geregelt über die Meßwerte der Prozeßbestimmenden Temperaturen an der auszuhärtenden Baugruppe.

Die Kompensationsanlage schaltet bei 20 % der Heizspannung zu und kompensiert automatisch zu Beginn des Prozesses. Die jeweilig eingestellte Kapazität wird während des Trocken- und Aushärteprozesses beibehalten.

Der Prozeß kann bei dieser Einrichtung auch mit 20 % bis 40 % der Heizspannung gefahren werden. Die Wirkung des thermischen Rohres 2 wird durch die Verkleinerung des Luftspaltes 5 wieder auf die vergleichbare Endtemperatur bei Verkürzung der thermischen Zeitkonstante gebracht und damit wesentlich erhöht.

Die wesentliche Wärmequelle in diesem Prozeß ist somit das thermische Rohr 2. Die Wärmequelle Primärkreiswicklung wirkt bedingt durch den kleineren Strom, der im Quadrat eingeht, nur noch untergeordnet.

Zur Vermeidung von größeren Umfangskräften auf das thermische Rohr 2 bei kleinen Luftspalten 5 kann die Drehstromwicklung auch zweiphasig an Spannung gelegt werden.

Die völlige Vertauschung der Einrichtung ist durchführbar, d.h. der Primärkreis 1 als Erregerkreis kann innen liegen und außen um den Primärkreis 1 herum liegt das thermische Rohr 2. Diese Variante wird beim Trocknen und Aushärten von Läufern elektrischer Maschinen benutzt. Ist der Läufer ein Kurzschlußläufer, so muß im Erregerkreis mit einer hohen Frequenz gearbeitet werden.

In einer weiteren Variante kann auch das thermische Rohr 2 nur aus einem nichtferromagnetischen aber elektrisch gut leitenden Material bestehen. Das im Normalfall innere Rohr 3 des Verbundbleches fällt dann weg. Damit verringert sich die Wärmemenge, die zum Aufheizen des thermischen Rohres 2 benötigt wird.

Der gesamte Aushärteprozeß kann nach diesem Verfahren im Gegensatz zu den konventionellen Verfahren in drei Verfahrensschritte unterteilen. Im ersten Verfahrensschritt wird das Harz in kürzester Zeit im Wicklungsbereich angelieft. Damit tritt eine Harzsicherung ein. Die Harzsicherung soll dabei vor dem Aushärten an den Stellen, wo die Geschlossenheit des Harzsystems eine besondere Bedeutung hinsichtlich der Isolation hat, schnell auf die Temperatur erwärmt werden, bei der die Polymerisation des Harzes einsetzt (z. B. bei Epoxid-Anhydrid-Systemen ca. 85° C). Diese Phase ist bei diesem

Harzsystem durch die geringere Beweglichkeit der Molekülgruppen bei ca. 120° C abgeschlossen. Danach tritt die zweite Phase, das Aufheizen auf die Aushärtetemperatur bei einer Vergleichmäßigung aller Temperaturen der Baugruppen ein. Die dritte Phase entspricht der konventionellen Aushärtephase. Bedingt durch die schnelle Erreichung der Aushärtetemperatur auch im Wicklungsbereich verkürzt sich der Gesamtprozeß.

Eine weitere Verkürzung des Prozesses kann durch eine zusätzliche Luftherwärmung erreicht werden. Diese Kopplung mit einem konventionellen Verfahren würde jedoch eine Verschlechterung des Wirkungsgrades ergeben.

In Sonderfällen kann auch der Wegfall der ersten Phase gewünscht sein. Trotzdem ermöglicht das Verfahren einen durchgehend gleichmäßigen Temperaturanstieg über alle Bereiche der auszuhärtenden Baugruppe bei nahezu gleicher Energieeinsparung.

Mit diesem Verfahren kann über eine Reduzierung des Luftspaltes 5 eine wesentliche Erhöhung der Wärmestrahlung erreicht werden, die die oberflächlichen Harzschichten auf der Spulenhauptisolierung, auf der Spulenschaltung und auf den Nutkeilen so beeinflusst, daß es zu einer Art Hautbildung kommt.

Die Harzsicherung kann noch innerhalb des Tränkbehälters nach Abschluß des Tränkprozesses durchgeführt werden. Die Isolierteile mit ihrer geringen Wärmeleitfähigkeit unterstützen im Gegensatz zu den Eisenteilen diesen Prozeß, wodurch das Abtropfen überflüssigen Harzes von den Eisenteilen nicht beeinflusst wird.

Die Frequenz der Spannung sollte auf das jeweilige Harz abgestimmt sein.

Bei einem 2-Phasenanschluß können die Anschlüsse gewechselt werden. Die Wärmeleitfähigkeit des thermischen Rohres 2 sorgt für einen Temperaturengleich auf diesem.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur induktiven Erwärmung von Baugruppen elektrischer Maschinen, bestehend aus einem Primärkreis und Sekundärkreis, dadurch gekennzeichnet, daß der Primärkreis (1) als Erregerkreis durch ein Wechsel- oder Drehstromkreis gespeist wird und der Sekundärkreis (2) am Primärkreis (1) arretiert ist und aus einem thermischen Verbundblechrohr (2) besteht, wobei das innere Rohr (3) des Verbundbleches aus einem ferromagnetischen Material besteht und das äußere Rohr (4), welches zum Primärkreis (1) näher liegt, aus einem nichtferromagnetischen aber elektrisch gut leitenden Material besteht und der Luftspalt (5) zwischen dem Primärkreis (1) und dem Sekundärkreis (2) variabel ist.
2. Einrichtung zur induktiven Erwärmung gemäß Anspruch 1,

- dadurch gekennzeichnet,
daß das thermische Rohr (2) nur aus einem nicht-ferromagnetischen aber elektrisch gut leitenden Material in Rohrform, durchbrochene Rohrform oder aus Ringen besteht.
- 3.** Einrichtung zur induktiven Erwärmung gemäß Anspruch 1 und 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß das thermische Rohr (2) aus mindestens zwei oder mehreren Kreissegmenten (6) besteht, die vorzugsweise paarweise mit Scharnieren (7) miteinander verbunden sind.
- 4.** Einrichtung zur induktiven Erwärmung nach Anspruch 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Kreissegmente (6) des thermischen Rohres (2) sich teilweise überlappen.
- 5.** Einrichtung zur induktiven Erwärmung nach Anspruch 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Kreissegmente (6) des thermischen Rohres (2) durch flexible elektrische Leiter (8) verbunden sind.
- 6.** Einrichtung zur induktiven Erwärmung nach Anspruch 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Kreissegmente (6) des thermischen Rohres (2) auf ihrer Außenseite in definierten Bereichen zusätzlich mit einem elektrisch gut leitenden Kontaktstoff versehen sind.
- 7.** Einrichtung zur induktiven Erwärmung nach Anspruch 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Kreissegmente (6) des thermischen Rohres (2) außerhalb des Primärkreises (1) radial verschiebbar, an einem am Primärkreis (1) befestigten Kreuz (9) mit Langlöchern oder an einer separaten Haltevorrichtung befestigt sind.
- 8.** Einrichtung zur induktiven Erwärmung nach Anspruch 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Kreissegmente (6) des thermischen Rohres (2) im Bereich der Scharniere (7) auf der Innenseite Feststeller (10) besitzen.
- 9.** Einrichtung zur induktiven Erwärmung nach Anspruch 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß das thermische Rohr (2) in ein eigenständiges inneres Rohr (3) aus ferromagnetischem Material, welches gleichzeitig zur Halterung des thermischen Rohres (2) dienen kann und in ein eigenständiges
- äußeres Rohr (4) aus nichtferromagnetischem Material aufgeteilt ist, wobei der Luftspalt zwischen diesen Rohren variabel sein kann.
- 10.** Einrichtung zur induktiven Erwärmung nach Anspruch 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Primärkreis (1) als Erregerkreis innen liegt und außen um den Primärkreis (1) herum das thermische Rohr (2) liegt, wobei das innere Rohr (3) und das äußere Rohr (4) getauscht sind, d.h. das Rohr mit den ferromagnetischen Eigenschaften liegt in diesem Fall außen.
- 11.** Einrichtung zur induktiven Erwärmung nach Anspruch 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Lüfter zur Luftumwälzung angeordnet ist, der die Luft so umwälzt, daß der Wärmetransport vom thermischen Rohr (2) in die elektrische Baugruppe unterstützt wird.
- 12.** Verfahren zur induktiven Erwärmung, Trocknung und Aushärtung von getränkten bzw. nicht getränkten elektrischen Baugruppen unter gleichzeitiger Ausnutzung der erzeugten Wärme infolge eines Stromflusses durch diese Baugruppe,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Erwärmung durch den Stromfluß durch die elektrische Baugruppe und zusätzlich durch ein thermisches Rohr (2) infolge Strahlung und Konvektion erfolgt und in einem ersten Verfahrensschritt durch eine schnelle Erwärmung die sogenannte Harzsicherung erreicht wird, in einem zweiten Verfahrensschritt die Aufheizung auf die Aushärtetemperatur und in einem dritten Verfahrensschritt die Aushärtung erfolgt, wobei die Harzsicherung als Hautbildung aber auch als eine umfassende Angellierung des Harzes im gesamten Wicklungsbereich durchgeführt werden kann.

