



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 253 389 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**16.11.2005 Patentblatt 2005/46**

(51) Int Cl.7: **F26B 7/00**, H01F 27/14

(21) Anmeldenummer: **02405256.5**

(22) Anmeldetag: **02.04.2002**

(54) **Verfahren zum Trocknen eines Aktivteils und Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens**

Process for drying an active part, and apparatus for carrying out this process

Procédé de séchage d'une pièce active, et dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR**

(74) Vertreter: **ABB Patent Attorneys**  
**c/o ABB Schweiz AG,**  
**Intellectual Property (CH-LC/IP),**  
**Brown Boveri Strasse 6**  
**5400 Baden (CH)**

(30) Priorität: **24.04.2001 EP 01810399**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**30.10.2002 Patentblatt 2002/44**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A-02/20113** **DE-A- 3 715 235**  
**DE-A- 19 501 323** **DE-A- 19 637 313**  
**US-A- 5 424 513**

(73) Patentinhaber: **ABB Schweiz AG**  
**5400 Baden (CH)**

(72) Erfinder:  
• **Gmeiner, Paul**  
**8966 Oberwil-Lieli (CH)**  
• **Keller, Peter**  
**8032 Zürich (CH)**

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 005, no. 179 (E-082), 17. November 1981 (1981-11-17) & JP 56 107548 A (TOSHIBA CORP), 26. August 1981 (1981-08-26)

**EP 1 253 389 B1**

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

**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

5 **[0001]** Bei der Erfindung wird ausgegangen von einem Verfahren und einer Vorrichtung zum Trocknung eines mindestens eine Wicklung und Feststoffisolationen enthaltenden Aktivteils nach den Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 8. Bei der Durchführung des Verfahrens ist das Aktivteil in einem vakuumfesten Gehäuse der Vorrichtung angeordnet und wird durch Versprühen von Öl im Gehäuse und durch einen in der mindestens einen Wicklung geführten Strom auf einen durch die Temperatur der Wicklung bestimmten Temperaturendwert aufgeheizt. Bei einem gegenüber

10 Atmosphäre reduzierten Druck wird dem aufgeheizten Aktivteil Wasser entzogen.  
**[0002]** Bei geeigneter Prozessführung werden mit dem gattungsgemässen Verfahren und der gattungsgemässen Vorrichtung ein einwandfrei getrocknetes Aktivteil erreicht.

## STAND DER TECHNIK

15 **[0003]** Ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art sind in DE 195 01 323 A1 beschrieben. Beim beschriebenen Verfahren werden in einem vakuumfesten Gehäuse die Wicklungen eines Transformators mit Strom und parallel dazu durch Einsprühen von erwärmtem Öl auf eine Solltemperatur aufgeheizt und getrocknet. Das Öl wird zunächst bei Atmosphärendruck und dann - in einer Variante des Verfahrens - bei sich allmählich reduzierendem Druck versprüht. Durch die Absenkung des Drucks auf typischerweise 200 mbar wird die Entgasung und Entwässerung der Wicklungen verbessert.

20 **[0004]** Ein weiteres Verfahren zur Trocknung von Feststoffisolationen hat W.Müntener/Firma Micafil AG, Zürich/Schweiz bei einem 1999 in Stuttgart/ BRD abgehaltenen Symposium zum Thema "LFH - Trocknung: Erfahrung und Trends" vorgetragen. Bei diesem Verfahren wird ein Aktivteil eines im Feld angeordneten und mit Öl gefüllten Transformators getrocknet. Zu diesem Zweck wird eine mobile LFH - Anlage (LFH = Low Frequency Heating) an die im Aktivteil enthaltenen Oberspannungswicklungen des Transformators angeschlossen. Die Unterspannungswicklungen werden kurz geschlossen. Das Transformatorgehäuse ist mit einer Ölaufbereitungsanlage und mit einer Vakuumanlage verbunden.

25 **[0005]** Zum Trocknen wird das Aktivteil zunächst durch einen aus der LFH - Anlage gelieferten niederfrequenten Strom sowie durch Transformatorenöl aufgeheizt, wobei das Öl über die Ölaufbereitungsanlage erwärmt und umgewälzt wird.

30 **[0006]** Ist das Aktivteil auf eine vorbestimmte Solltemperatur aufgeheizt, so wird das heisse Transformatorenöl aus dem Transformatorgehäuse entfernt und der Druck im Transformatorgehäuse unter Berücksichtigung des Paschen - Gesetzes gegenüber Atmosphärendruck reduziert. Während der Druckabsenkung erfolgt eine intensive Verdampfung des in den Feststoffisolationen des Aktivteils vorhandenen Wassers. Hierbei wird in Abhängigkeit vom Druck im Inneren des Transformatorgehäuses und der Höhe der Temperatur der Ober- und/oder der Unterspannungswicklung die Grösse des Stroms verändert, um so ein schonendes Nachheizen und damit ein permanentes Abdampfen des Wassers aus den Isolationen zu erreichen.

35 **[0007]** Ein wirksamer Entzug des Wassers treten bei diesem Verfahren und dem Verfahren nach DE 195 01 323 A1 erst dann ein, wenn das Aktivteil auf die vorbestimmte Solltemperatur aufgeheizt und der Gehäusedruck nach Entfernen des Öls weit unter Atmosphärendruck abgesenkt ist.

## KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

45 **[0008]** Der Erfindung, wie sie in den Patentansprüchen und 8 angegeben ist, liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, welches eine rasche und besonders schonende Trocknung ermöglicht, sowie eine einfach zu realisierende Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens anzugeben.

50 **[0009]** Beim erfindungsgemässen Verfahren wird vor dem Versprühen des erwärmten Öls der Druck im Gehäuse auf einen Arbeitswert reduziert, welcher grösser ist als ein durch das Paschengesetz bestimmter Drucksollwert und kleiner als ein gegenüber Atmosphärendruck eine hohe Abdampftrate des Wassers aus dem Aktivteil sicherstellender oberer Druckgrenzwert. Zudem wird das Öl beim Arbeitswert bei eingeschaltetem Strom im Gehäuse versprüht, und wird während des Versprühens des Öls, Sammelns des versprühten Öls am Gehäuseboden sowie Wiedererwärmens und erneuten Versprühens des gesammelten Öls die Temperatur der Wicklung grösser gehalten als die Temperatur des Öls. Das Aktivteil wird so bereits zu Beginn des Aufheizvorgangs intensiv getrocknet. Es befindet sich zu diesem

55 Zeitpunkt in einem praktisch ölfreien, evakuierten Gehäuse, in dem es durch Versprühen des zuvor erwärmten Öls und durch LFH - Heizen wirksam aufgeheizt wird. Das Verfahren ist daher besonders schnell.  
**[0010]** Da das in den hygroskopischen Feststoffisolationen des zu trocknenden Aktivteils zunächst vorhandene Wasser schon bei relativ niedrigen Temperaturen aus den Isolationen entfernt wird, und da das Aktivteil über die strom-

führende Wicklung von innen und über das versprühte Öl zugleich von aussen aufgeheizt wird, wird der Trocknungsvorgang nicht nur rasch, sondern zugleich auch schonend ausgeführt. Eine Reduktion der dielektrischen Eigenschaften der Feststoffisolationen durch Polymerisation wird dadurch weitgehend ausgeschlossen. Da die Temperatur des Öls unterhalb der Temperatur der im Inneren des Aktivteils angeordneten Wicklung gehalten wird, erwärmen sich die innenliegenden Teile der Isolationen des Aktivteils stärker als die dem Öl ausgesetzten aussenliegenden Teile. Das aus dem Aktivteil zu entfernende Wasser wird daher aufgrund von Diffusionsvorgängen aus dem Inneren des Aktivteils besonders schnell nach aussen geführt.

**[0011]** Aufgrund des raschen Trockenvorganges und der kleinen Menge an Öl ist der Energieanfall vergleichsweise gering und kann das erfindungsgemässe Verfahren in sehr wirtschaftlicher Weise ausgeführt werden. Dies vor allem auch deswegen, da wegen der geringen Ölmenge eine die Aufbereitung und Erwärmung des Öls ausführende Anlage klein gehalten werden kann.

**[0012]** Um Schäden am Aktivteil mit ausreichender Sicherheit auszuschliessen, wird der reduzierte Druck im Gehäuse während des Ölsprühens und des Aufheizens der Wicklung mit Strom oberhalb eines durch das Paschen - Gesetz bestimmten Drucksollwerts gehalten.

**[0013]** Eine wirkungsvolle Steuerung des erfindungsgemässen Trocknungsverfahrens ist möglich, wenn während des Aufheizens des Aktivteils die pro Zeiteinheit aus dem Aktivteil tretende Menge an Wasser, beispielsweise durch Messung des Wasserdampfpartialdruckes im Gehäuse, erfasst wird, und wenn unterhalb eines Maximums der pro Zeiteinheit austretenden Wassermenge die Wicklungstemperatur, vor allem durch Ölsprühen, konstant gehalten wird. Bei abgeschaltetem Strom kann dann der reduzierte Druck unter den Drucksollwert abgesenkt und dann besonders wirkungsvoll und energiesparend getrocknet werden. Um den Trocknungsgrad zu verbessern, empfiehlt es sich, den Druck auf einen oberhalb des Drucksollwertes liegenden Wert anzuheben und die Wicklungstemperatur sukzessive auf einen Temperaturendwert zu erhöhen, sobald die pro Zeiteinheit anfallende Wassermenge unter einen Grenzwert gefallen ist.

**[0014]** Die Qualität der Trocknung kann zusätzlich erhöht werden, wenn nach dem Ölsprühen das Öl bei reduziertem Druck aus dem Gehäuse entfernt und die Wicklungstemperatur hierbei durch Heizen mit Strom konstant gehalten wird. Durch periodisches Senken des reduzierten Drucks bei abgeschaltetem Strom unter den Drucksollwert können dann auch noch geringe Wasserreste aus dem Aktivteil entfernt werden.

**[0015]** Eine geeignete Vorrichtung zur Trocknung des Aktivteils gemäß dem Patentanspruch 8 enthält neben einem das Aktivteil aufnehmenden vakuumdichten Gehäuse, einem im Boden des Gehäuses vorgesehenen Abfluss, einem Öleinlass und einer über eine Ölförderpumpe mit dem Abfluss und über eine Leitung mit dem Öleinlass verbundenen Ölaufbereitungsanlage auch mindestens eine in der Decke des Gehäuses angeordnete Sprühvorrichtung und einen in der Ölaufbereitungsanlage vorgesehenen Ölerhitzer mit einem Ausgang, der über die Leitung und den Öleinlass mit der Sprühvorrichtung verbunden ist. Das Öl wird so von oben auf das Aktivteil aufgesprüht und kann dann auf einem relativ langen Fliessweg viel Wärme abgeben. Dadurch dass die Sprühvorrichtung mehrere über die Decke verteilte und auf das Aktivteil ausgerichtete Sprühdüsen aufweist, welche vorteilhafterweise verstellbar ausgebildet sind, kann das Öl gezielt versprüht werden und so der Wirkungsgrad der Vorrichtung zusätzlich erhöht werden.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0016]** In den Zeichnungen ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung vereinfacht dargestellt, und zwar zeigt:

Fig.1 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens mit einem ein Aktivteil eines elektrischen Gerätes aufnehmenden Gehäuse, einer LFH-Anlage, einer Ölaufbereitungsanlage und einer Ölsprühvorrichtung, und

Fig.2 ein Diagramm, in dem wichtige Parameter des erfindungsgemässen Verfahrens, wie die Temperaturen  $T_{oil}$ , des zu versprühenden Öls und  $T_w$  einer Wicklung des Aktivteils, der Gesamtdruck  $p$  im Gehäuse, der Wasserdampfpartialdruck  $p_{H_2O}$  im Gehäuse und der von der LFH-Anlage abgegebene Strom  $I$  in Funktion der Zeit dargestellt sind.

#### WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

**[0017]** In allen Figuren beziehen sich gleiche Bezugszeichen auf gleichwirkende Teile. In der in Fig.1 dargestellten Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens bezeichnet 1 ein vakuumdichtes Gehäuse, welches über eine nicht bezeichnete Ventilanordnung mit einer Vakuumanlage 2 verbindbar ist. Das Gehäuse nimmt ein Aktivteil 3 eines elektrischen Gerätes, beispielsweise eines Transformators, auf. Ist der Transformator ölfüllt, dann kann das Transformatorgehäuse als Gehäuse 1 dienen. Das Gehäuse kann aber auch irgendein anderer vakuumdichter, temperaturbeständiger Behälter sein mit vakuumdichten Stromdurchführungen und kann anstelle eines grossen Aktivteils

auch mehrere kleine Aktivteile aufnehmen.

**[0018]** Das Aktivteil 3 enthält mindestens eine Wicklung und die Wicklung isolierende hygroscopische Feststoffisolationen. Das aus Fig.1 ersichtliche Aktivteil enthält darüber hinaus einen Eisenkern 4 und drei jeweils einer Phase eines dreiphasigen Stroms zugeordnete Spulenblöcke 5, welche jeweils eine Ober- und eine Unterspannungswicklung aufweisen. Die Unterspannungswicklungen 6 sind ausserhalb des Gehäuses kurzgeschlossen, wohingegen die Oberspannungswicklungen 7 mit dem Stromausgang einer ausserhalb des Gehäuses 1 angeordneten niederfrequenten Wechselstrom oder Gleichstrom erzeugenden LFH - Anlage 8 verbunden sind.

**[0019]** Im Boden des Gehäuses 1 ist ein Abfluss 9 vorgesehen, durch den am Gehäuseboden gesammeltes Öl 10 mit Hilfe einer Ölförderpumpe 11 in einen Ölerhitzer 12 einer Ölaufbereitungsanlage 13 abgezogen werden kann. Der Ausgang des Ölerhitzers 12 ist über einen Öleinlass 14 mit einer in der Decke des Gehäuses 1 angeordneten Sprühvorrichtung 15 verbunden. Diese Sprühvorrichtung weist mehrere über der Decke verteilte Sprühdüsen 16 auf, welche auf das Aktivteil ausgerichtet sind. Zumindest einige der Sprühdüsen 16 können auch an den Seitenwänden des Gehäuses 1 angeordnet sein. Dadurch und durch verstellbar ausgerichtete Sprühdüsen kann das Aktivteil 3 gezielt und nicht nur von oben, sondern auch von der Seite besprüht werden.

**[0020]** Die Wirkungsweise dieser Vorrichtung wird anhand von Fig. 2 näher erläutert: In dem mit dem Aktivteil 3 beladenen Gehäuse 1 wird mit der Vakuumanlage 2 zunächst der Druck  $p$  reduziert. Der bei der Durchführung des Verfahrens verwendete Arbeitswert des reduzierte Drucks sollte grösser sein als ein durch das Paschengesetz vorgegebener Drucksollwert  $p_{\text{pasch}}$ . Unterhalb dieses Drucksollwertes könnte es auf Grund des Paschengesetzes beim in einem elektrischen Feld zu Überschlägen kommen. Beim Anlegen einer Heizspannung an das Aktivteil könnten dann elektrische Entladungen auftreten, die zu einer Beeinträchtigung des Isolationsvermögen des Aktivteils führen könnten. Der Arbeitswert des reduzierten Drucks sollte aber auch möglichst klein sein, um eine hohe Abdampftrate für das aus dem Aktivteil zu entfernende Wasser zu haben. Der Arbeitswert liegt unter 100 mbar, typischerweise bei 10 bis 30 mbar.

**[0021]** An einem Zeitpunkt  $t_1$  ist der Druck ausreichend reduziert. Es wird nun das Aktivteil mit einem durch die Oberspannungswicklungen 7 geführten niederfrequenten Wechselstrom  $I$  und mit einem in den Unterspannungswicklungen 6 hervorgerufenen Induktionsstrom aufgeheizt. Gleichzeitig wird in der Ölaufbereitungsanlage 13 erwärmtes Öl zur Sprühvorrichtung 15 geführt und von dort auf die Oberfläche des Aktivteils 3 aufgesprüht. Durch das kombinierte Heizen mit Strom und mit Öl wird erreicht, dass die zum Trocknen des Aktivteils erforderliche Wärme gleichzeitig von innen und von aussen zugeführt wird.

**[0022]** Dadurch wird eine besonders rasche und schonende Trocknung erreicht. In den Feststoffisolationen gebundenes Wasser wird von den aufgeheizten Wicklungen weg nach aussen an die Oberflächen der Feststoffisolationen geführt und abgedampft. Da das Aktivteil 3 beim Aufheizen einem reduzierten Druck ausgesetzt ist, kann das Wasser bereits zu Beginn des Aufheizvorganges vom Aktivteil 3 abdampfen. Die pro Zeiteinheit abdampfende Wassermenge wird indirekt über eine Wasserdampf - Partialdruckmessung ermittelt und ist in Fig.2 als Kurve  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  dargestellt. Zugleich werden auch die Temperaturen  $T_{\text{oil}}$  des versprühten Öls und  $T_w$  der Wicklungen des Aktivteils 3 erfasst. Während die Öltemperatur  $T_{\text{oil}}$  direkt mit einem Temperatursensor ermittelt wird, basiert die Wicklungstemperatur  $T_w$  auf einem in bekannter Weise aus den Temperaturen von Ober- und Unterspannungswicklung errechneten Mittelwert (vgl. z.B. den eingangs zitierten Stand der Technik nach W. Müntener). Die entsprechenden Temperaturkurven sind ebenfalls in Fig. 2 eingetragen. Ersichtlich wird während des Trocknungsprozesses  $T_w$  stets etwas grösser als  $T_{\text{oil}}$  gehalten. Es ist so sichergestellt, dass das im Aktivteil 3 vorhandene Wasser von innen nach aussen geführt wird. Das abgedampfte Wasser wird über die Vakuumanlage 2 abgesaugt.

**[0023]** Zum Zeitpunkt  $t_2$  ist die Wicklungstemperatur  $T_{w1}$  schon relativ gross und liegt nicht mehr sehr weit (beispielsweise 10 oder 20°C) unterhalb eines zulässigen Temperaturendwertes  $T_{\text{end}}$  von beispielsweise 110°C. Da bei dieser Temperatur  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  ein Maximum der pro Zeiteinheit abgegebenen Wassermenge überschritten ist, wird an diesem Zeitpunkt die Wicklungstemperatur  $T_w$  konstant auf  $T_{w1}$  gehalten. Auch die Öltemperatur wird konstant gehalten. Das Konstanthalten kann überwiegend durch Öl sprühen bewirkt werden. Es empfiehlt sich jedoch, intermittierend auch mit Strom zu heizen, da dann zum einen sichergestellt ist, dass  $T_w$  stets über  $T_{\text{oil}}$  liegt und das Wasser im Aktivteil von innen nach aussen diffundiert, und da dann zum anderen während einer Strompause der Druck  $p$  unter den Drucksollwert  $T_{\text{pasch}}$  abgesenkt und das nach aussen geführte Wasser besser vom Aktivteil abgedampft werden kann.

**[0024]** Zum Zeitpunkt  $t_3$  fällt nicht mehr sehr viel Wasser an. Daher werden ab diesem Zeitpunkt bei einem oberhalb des Drucksollwertes  $p_{\text{pasch}}$  liegenden Druck  $p$  die Öl- und die Wicklungstemperatur sukzessive erhöht. Bei jeder Temperaturerhöhung fällt zunächst eine vergleichsweise grosse Wassermenge an. Nach Überschreiten eines Maximum werden jeweils wieder die Öl- und die Wicklungstemperaturen konstant gehalten und bei intermittierendem Heizstrom  $I$  in Strompausen der Druck  $p$  unter den Drucksollwert  $p_{\text{pasch}}$  abgesenkt.

**[0025]** Zum Zeitpunkt  $t_4$  ist die Endtemperatur  $T_{\text{end}}$  erreicht und wird das Heizen durch Öl sprühen eingestellt. Durch Stromheizung wird das Aktivteil auf Endtemperatur gehalten. Bei einem oberhalb des Drucksollwertes  $p_{\text{pasch}}$  liegenden Druck wird das Öl 10 nun vollständig aus dem Gehäuse 1 abgezogen. Mit dem Abziehen des Öls werden zugleich auch durch das Öl vom Aktivteil abgespülte Verunreinigungen aus dem Gehäuse entfernt.

[0026] Zum Zeitpunkt  $t_5$  ist das Öl entfernt. Es kann nun in einer sich anschliessenden Feinvakuumphase durch intermittierendes Heizen und Drucksenken noch restliches Wasser aus dem Aktivteil entfernt werden. Abschliessend kann dann bei abgeschalteter elektrischer Heizung das Gehäuse belüftet und das getrocknete Aktivteil entnommen oder frisches Öl in das Gehäuse gefüllt werden.

5

Bezugszeichenliste

[0027]

10	1	Gehäuse
	2	Vakuumanlage
	3	Aktivteil
	4	Eisenkern
	5	Spulenblock
15	6	Unterspannungswicklung
	7	Oberspannungswicklung
	8	LFH - Anlage
	9	Abfluss
	10	Öl
20	11	Ölförderpumpe
	12	Ölerhitzer
	13	Ölaufbereitungsanlage
	14	Öleinlass
	15	Sprühvorrichtung
25	16	Sprühdüsen
	I	Strom einer LFH-Anlage
	p	Gesamtdruck
	$p_{H_2O}$	Wasserdampfpartialdruck
	$p_{pasch}$	Drucksollwert
30	T	Temperatur
	$T_{end}$	Temperaturendwert
	$T_w$	Wicklungstemperatur
	$T_{w1}$	konstante Wicklungstemperatur
	$T_{oil}$	Öltemperatur
35	t	Zeit
	$t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$	Zeitpunkte

Patentansprüche

40

1. Verfahren zur Trocknung eines mindestens eine Wicklung (6, 7) und Feststoffisolationen enthaltenden Aktivteils (3) in einem vakuumdichten Gehäuse (1), bei dem das Aktivteil durch Versprühen von erwärmtem Öl (10) im Gehäuse (1) und durch einen in der mindestens einen Wicklung geführten Strom (I) auf einen Temperaturendwert ( $T_{end}$ ) aufgeheizt und dem Aktivteil (3) bei einem gegenüber Atmosphäre reduzierten Druck (p) Wasser entzogen wird, **dadurch gekennzeichnet**,  
 45 **dass** vor dem Versprühen des erwärmten Öls der Druck (p) im Gehäuse auf einen Arbeitswert reduziert wird, welcher grösser ist als ein durch das Paschengesetz bestimmter Drucksollwert ( $p_{pasch}$ ) und kleiner als ein gegenüber Atmosphärendruck eine hohe Abdampftrate des Wassers aus dem Aktivteil sicherstellender oberer Druckgrenzwert,  
 50 **dass** das Öl beim Arbeitswert bei eingeschaltetem Strom (I) im Gehäuse (10) versprüht wird, und **dass** während des Versprühens des Öls (10), Sammeln des versprühten Öls am Gehäuseboden sowie Wiedererwärmens und erneuten Versprühens des gesammelten Öls (10) bei Arbeitsdruck und eingeschaltetem Strom (I) die Temperatur ( $T_w$ ) der Wicklung grösser gehalten wird als die Temperatur ( $T_{oil}$ ) des Öls.
- 55 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** während des Ölsprühens und des Aufheizens der Wicklung mit Strom der reduzierte Druck im Gehäuse oberhalb eines durch das Paschengesetz bestimmten Drucksollwertes ( $p_{pasch}$ ) gehalten wird.

## EP 1 253 389 B1

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Aufheizens des Aktivteils die pro Zeiteinheit aus dem Aktivteil (3) austretende Menge an Wasser ( $p_{H_2O}$ ) erfasst wird, und dass unterhalb eines Maximums der pro Zeiteinheit austretenden Wassermenge die Temperatur ( $T_w$ ) der stromgeheizten Wicklung konstant gehalten wird.
- 5
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei konstanter Wicklungstemperatur ( $T_{w1}$ ) und bei abgeschaltetem Strom (I) der reduzierte Druck (p) unter den Drucksollwert ( $p_{pasch}$ ) abgesenkt wird.
- 10
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** unterhalb eines Grenzwertes der pro Zeiteinheit anfallenden Wassermenge der Druck auf einen oberhalb des Drucksollwertes liegenden Wert angehoben wird und sodann die Wicklungstemperatur ( $T_w$ ) sukzessive auf den Temperaturendwert ( $T_{end}$ ) erhöht wird.
- 15
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Ölsprühen ( $t_4$ ) das Öl bei reduziertem Druck aus dem Gehäuse entfernt und die Wicklungstemperatur hierbei durch Heizen mit Strom konstant gehalten wird.
- 20
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Entfernen des Öls ( $t_5$ ) der reduzierte Druck bei abgeschaltetem Strom periodisch unter den Drucksollwert ( $p_{pasch}$ ) gesenkt wird.
- 25
8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, enthaltend ein das Aktivteil (3) aufnehmendes vakuumdichtes Gehäuse (1), einen im Boden des Gehäuses (1) vorgesehenen Abfluss (9), einen Öleinlass (14) und eine über eine Ölförderpumpe (11) mit dem Abfluss (9) und über eine Leitung mit dem Öleinlass (14) verbundene Ölaufbereitungsanlage (13), **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Decke des Gehäuses (1) mindestens eine Sprühvorrichtung (15) angeordnet ist, und dass die Ölaufbereitungsanlage (13) einen Ölerhitzer (12) enthält mit einem Ausgang, der über die Leitung und den Öleinlass (14) mit der Sprühvorrichtung (15) verbunden ist.
- 30
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sprühvorrichtung (15) mehrere über der Decke verteilte und auf das Aktivteil (3) ausgerichtete Sprühdüsen (16) aufweist.
- 35
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sprühdüsen verstellbar ausgebildet sein.

### Claims

- 35
1. Method for drying an active part (3) containing at least one winding (6, 7) and solid insulations, in a vacuum-tight housing (1), in which the active part is heated to a final temperature value ( $T_{fin}$ ) by warmed oil (10) being sprayed in the housing (1) and by means of a current (I) carried in the at least one winding, and, at a pressure (p) reduced in relation to atmospheric pressure, water is extracted from the active part (3), **characterized in that**, before the spraying of the warmed oil, the pressure (p) in the housing is reduced to a working value which is higher than a desired pressure value ( $p_{pasch}$ ) determined Paschen's Law and lower than an upper pressure limit value which, in relation to atmospheric pressure, ensures a high evaporation rate of the water from the active part, **in that** at the working value, the oil is sprayed in the housing (10), with the current (I) switched on, and **in that**, during the spraying of the oil (10), the collection of the sprayed oil on the housing bottom and also the rewarming and renewed spraying of the collected oil (10) at the working pressure, and with the current (I) switched on, the temperature ( $T_w$ ) of the winding is kept higher than the temperature ( $T_{oil}$ ) of the oil.
- 40
2. Method according to Claim 1, **characterized in that**, during the spraying of the oil and heating of the winding by means of current, the reduced pressure in the housing is maintained above a desired pressure value ( $p_{pasch}$ ) determined by means of Paschen's Law.
- 45
3. Method according to one of Claims 1 and 2, **characterized in that**, during the heating of the active part, the quantity of water ( $p_{H_2O}$ ) emerging from the active part (3) per unit time is detected, and **in that**, below a maximum water quantity emerging per unit time, the temperature ( $T_w$ ) of the current-heated winding is kept constant.
- 50
4. Method according to Claim 3, **characterized in that**, at a constant winding temperature ( $T_{w1}$ ) and with the current (I) switched off, the reduced pressure (p) is lowered below the desired pressure value ( $p_{pasch}$ ).
- 55

5. Method according to Claim 4, **characterized in that**, below a limit value of the water quantity occurring per unit time, the pressure is raised to a value above the desired pressure value and the winding temperature ( $T_w$ ) is then increased successively to the final temperature value ( $T_{fin}$ ).
6. Method according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that**, after the spraying of oil ( $t_4$ ), the oil is removed from the housing at reduced pressure and the winding temperature is at the same time kept constant by heating with current.
7. Method according to Claim 6, **characterized in that**, after the removal of the oil ( $t_5$ ), the reduced pressure is lowered periodically below the desired pressure value ( $p_{pasch}$ ), with the current switched off.
8. Device for carrying out the method according to one of Claims 1 to 7, containing a vacuum-tight housing (1) accommodating the active part (3), an outflow (9) provided in the bottom of the housing (1), an oil inlet (14) and an oil preparation plant (13) which is connected to the outflow (9) via an oil feed pump (11) and to the oil inlet (14) via a line, **characterized in that** at least one spray device (15) is arranged in the ceiling of the housing (1), and **in that** the oil preparation plant (13) contains an oil heater (12) having an outlet which is connected to the spray device (15) via the line and the oil inlet (14).
9. Device according to Claim 8, **characterized in that** the spray device (15) has a plurality of spray nozzles (16) distributed over the ceiling and oriented towards the active part (3).
10. Device according to Claim 9, **characterized in that** the spray nozzles are designed adjustably.

## 25 Revendications

1. Procédé de séchage d'une pièce active (3) contenant au moins un enroulement (6, 7) et des isolations en matière solide dans un boîtier étanche au vide (1), dans lequel la pièce active est chauffée par pulvérisation d'huile chauffée (10) dans le boîtier (1) et par un courant (I) guidé dans l'au moins un enroulement à une valeur finale de température ( $T_{end}$ ) et de l'eau est extraite de la pièce active (3) à une pression (p) réduite par rapport à l'atmosphère, **caractérisé en ce que**
- la pression (p) dans le boîtier est réduite à une valeur de travail avant la pulvérisation de l'huile chauffée, laquelle valeur de travail est supérieure à une valeur de consigne de pression ( $p_{pasch}$ ) déterminée selon la loi de Paschen et est inférieure à une valeur limite de pression supérieure assurant par rapport à la pression atmosphérique une haute vitesse d'évaporation de l'eau hors de la pièce active,
- en ce que** l'huile est pulvérisée dans le boîtier (10) à la valeur de travail lorsqu'un courant (I) est enclenché, et **en ce que** pendant la pulvérisation de l'huile (10), la collecte de l'huile pulvérisée au fond du boîtier ainsi que le réchauffement et la pulvérisation supplémentaire de l'huile collectée (10) à la pression de travail et avec un courant (I) enclenché, la température ( $T_w$ ) de l'enroulement est maintenue plus élevée que la température ( $T_{oil}$ ) de l'huile.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** pendant la pulvérisation de l'huile et le chauffage de l'enroulement avec du courant, la pression réduite dans le boîtier est maintenue au dessus d'une valeur de consigne de pression ( $p_{pasch}$ ) déterminée par la loi de Paschen.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** pendant le chauffage de la pièce active, la quantité d'eau ( $p_{H_2O}$ ) sortant par unité de temps hors de la pièce active (3) est détectée, et **en ce qu'**en dessous d'un maximum de quantité d'eau sortant par unité de temps, la température ( $T_w$ ) de l'enroulement chauffé par le courant est maintenue constante.
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** pour une température d'enroulement constante ( $T_{w1}$ ) et pour un courant (I) coupé, la pression réduite (p) est abaissée sous la valeur de consigne de pression ( $p_{pasch}$ ).
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce qu'**en dessous d'une valeur limite de la quantité d'eau formée par unité de temps, la pression est augmentée à une valeur située au-dessus de la valeur de consigne de pression et ensuite la température d'enroulement ( $T_w$ ) est successivement augmentée à la valeur finale de température ( $T_{end}$ ).
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**après la pulvérisation de l'huile

## EP 1 253 389 B1

( $t_4$ ), l'huile est extraite du boîtier à pression réduite et la température d'enroulement est dans ce cas maintenue constante par chauffage avec un courant.

- 5
7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'**après l'extraction de l'huile ( $t_5$ ), la pression réduite, avec un courant coupé, est abaissée périodiquement sous la valeur de consigne de pression ( $p_{\text{pasch}}$ ).
- 10
8. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, contenant un boîtier (1) étanche au vide recevant la pièce active (3), une évacuation (9) prévue dans le fond du boîtier (1), une entrée d'huile (14) et une installation de fourniture d'huile (13) connectée par le biais d'une pompe de refoulement en huile (11) à l'évacuation (9) et par le biais d'une conduite à l'entrée d'huile (14), **caractérisé en ce que** dans le couvercle du boîtier (1) est disposé au moins un dispositif de pulvérisation (15), et **en ce que** l'installation de fourniture d'huile (13) contient un dispositif de chauffage d'huile (12) avec une sortie, lequel est connecté par le biais de la conduite et de l'entrée d'huile (14) au dispositif de pulvérisation (15).
- 15
9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le dispositif de pulvérisation (15) présente plusieurs buses de pulvérisation (16) réparties sur le couvercle et orientées sur la pièce active (3).
- 20
10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** les buses de pulvérisation sont réalisées de manière réglable.

25

30

35

40

45

50

55



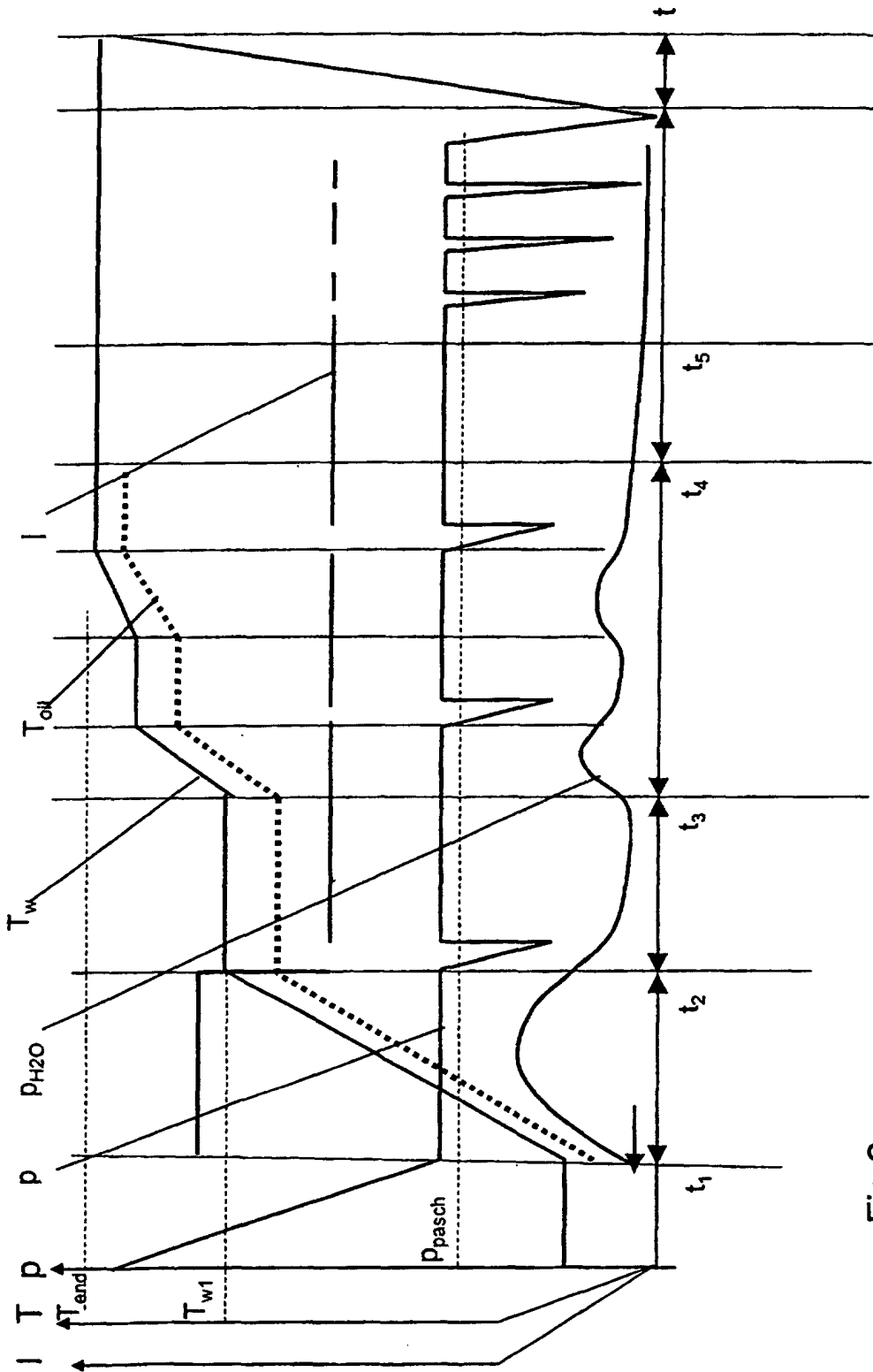


Fig.2