

(19)



(11)

EP 3 726 547 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.10.2020 Patentblatt 2020/43

(51) Int Cl.:
H01F 27/14 (2006.01) **H01F 27/40** (2006.01)
H05K 7/20 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19170055.8**

(22) Anmeldetag: **18.04.2019**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

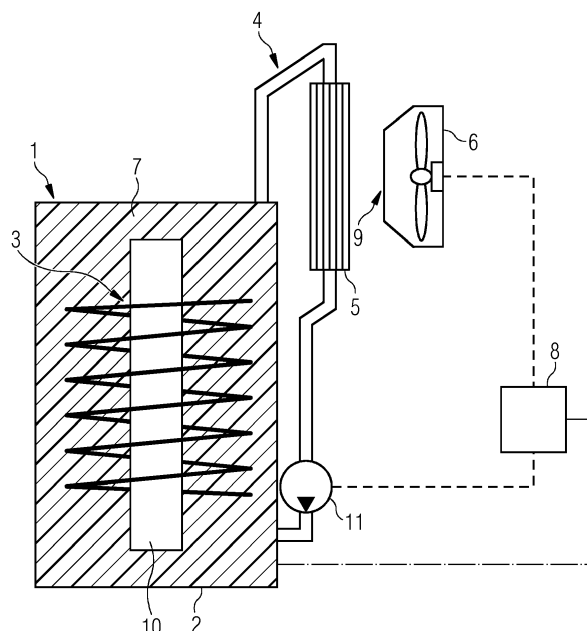
(72) Erfinder: **Scala, Mario**
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter: **Maier, Daniel Oliver**
Siemens AG
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR TROCKNUNG EINES EIN MEHRSTUFIGES KÜHLSYSTEM AUFWEISENDEN TRANSFORMATORS UND KÜHLERSTEUERUNG FÜR EINEN SOLCHEN TRANSFORMATOR**

(57) Verfahren zur Trocknung eines ein mehrstufiges Kühlsystem aufweisenden Transformators (1), insbesondere Leistungstransformators oder einer Drossel, mit mindestens einer Transformatorwicklung (3) und mindestens einem Isoliermittel (7) zur elektrischen Isolation, wobei die Kühlstufen eine niedrigste Kühlstufe und eine höchste Kühlstufe umfassen, wobei die einzelnen Kühlstufen jeweils mit einem Belastungsbereich des Transformators (1) assoziiert sind und bei Erreichen des jeweiligen Belastungsbereichs des Transformators (1) aktiviert werden, wobei der Belastungsbereich

eine Funktion ist, die zumindest von einer Temperatur des Transformators (1) abhängt, und wobei das Verfahren zur Trocknung während des Betriebs des Transformators (1) durchgeführt wird. Es wird vorgeschlagen, dass eine obere Kühlstufe, die über der niedrigsten Kühlstufe liegt, deaktiviert wird oder bleibt und die unmittelbar unter der oberen Kühlstufe liegende Kühlstufe aktiviert wird oder bleibt, während sich der Transformator (1) im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungsbereich befindet.

**EP 3 726 547 A1**

Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Trocknung eines ein mehrstufiges Kühlsystem aufweisenden Transformators, insbesondere Leistungstransformators oder einer Drossel, mit mindestens einer Transformatorwicklung und mindestens einem Isoliermittel zur elektrischen Isolation, wobei die Kühlstufen eine niedrigste Kühlstufe und eine höchste Kühlstufe umfassen, wobei die einzelnen Kühlstufen jeweils mit einem Belastungszustandsbereich des Transformators assoziiert sind und bei Erreichen des jeweiligen Belastungszustandsbereichs des Transformators aktiviert werden, wobei der Belastungszustandsbereich eine Funktion ist, die zumindest von einer Temperatur des Transformators abhängt, und wobei das Verfahren zur Trocknung während des Betriebs des Transformators durchgeführt wird.

[0002] Weiters betrifft die vorliegende Erfindung eine Kühlersteuerung für einen ein mehrstufiges Kühlsystem aufweisenden Transformator, insbesondere Leistungstransformator oder eine Drossel, mit mindestens einer Transformatorwicklung und mindestens einem Isoliermittel zur elektrischen Isolation.

STAND DER TECHNIK

[0003] Leistungstransformatoren stellen Investitionsgüter mit relativ hohen Kosten und einer erwünschten langen Betriebsdauer dar. Zur Erzielung der letztgenannten Eigenschaft unterliegt das Material des Transformators, insbesondere der Transformatorisolation, die vor allem zur elektrischen Isolation der Transformatorwicklungen dient und beispielsweise eine Kombination von Öl und Zellulosepapier umfasst, bei der Herstellung eines Transformators einem Trocknungsprozess, da Feuchtigkeit die Alterung im Betrieb beschleunigt. Im Betrieb kommt es allerdings zu einem Anstieg des Feuchtegehaltes, weshalb Transformatoren, insbesondere das Material der Transformatorisolation, von Zeit zu Zeit getrocknet werden könnten, um die Lebensdauer der Transformatoren zu erhöhen.

[0004] Hierzu ist es aus dem Stand der Technik bekannt, die Aktivteile von Transformatoren in einer Vapour-Phase-Trocknungsanlage zu trocknen, vgl. z.B. <https://de.wikipedia.org/wiki/Vapour-Phase-Trocknung>. Da der jeweilige, zu trocknende Transformator hierzu in einen Trocknungssofen eingebracht werden muss, findet diese Trocknung klarerweise nicht während des Betriebs des Transformators statt und verursacht entsprechende Stillstandzeiten.

[0005] Weiters sind aus dem Stand der Technik Versuche zur Trocknung während des Betriebs bekannt, bei denen Filterkartuschen eingesetzt werden, um laufend Feuchtigkeit aus dem Transformatoröl bzw. aus der Isolierflüssigkeit zu absorbieren bzw. extrahieren. Über die Trocknung der Isolierflüssigkeit setzt sich der Trocknungsprozess in der festen Isolation fort. Nachteilig hierbei ist die in der Praxis extrem lange Prozessdauer, insbesondere für die feste Isolation, die sogar ein Jahr überschreiten kann. Dies kann zu einem weiteren Nachteil führen, nämlich bei der Beurteilung eines Transformators, da - abhängig vom Trocknungsverfahren, insbesondere bei Extraktionsverfahren mit Vakuum - aus der Isolierflüssigkeit nicht nur die gelöste Feuchte, sondern auch andere gelöste Komponenten wie z.B. Fehlgase entfernt werden. Während des Trocknungsprozesses kann dadurch mittels der üblichen Ölanalytik (vgl. z.B. <https://de.wikipedia.org/wiki/Leistungstransformator#Ölanalyse>) nicht mehr der Zustand des Isolationssystems überwacht werden.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0006] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Möglichkeit zur raschen Trocknung von Transformatoren während des Betriebs zur Verfügung zu stellen.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0007] Zur Lösung der genannten Aufgabe ist es bei einem Verfahren zur Trocknung eines ein mehrstufiges Kühlsystem aufweisenden Transformators, insbesondere Leistungstransformators oder einer Drossel, mit mindestens einer Transformatorwicklung und mindestens einem Isoliermittel zur elektrischen Isolation, wobei die Kühlstufen eine niedrigste Kühlstufe und eine höchste Kühlstufe umfassen, wobei die einzelnen Kühlstufen jeweils mit einem Belastungszustandsbereich des Transformators assoziiert sind und bei Erreichen des jeweiligen Belastungszustandsbereichs des Transformators aktiviert werden, wobei der Belastungszustandsbereich eine Funktion ist, die zumindest von einer Temperatur des Transformators abhängt, und wobei das Verfahren zur Trocknung während des Betriebs des Transformators durchgeführt wird, erfindungsgemäß vorgesehen, dass eine obere Kühlstufe, die über der niedrigsten Kühlstufe liegt, deaktiviert wird oder bleibt und die unmittelbar unter der oberen Kühlstufe liegende Kühlstufe aktiviert wird oder bleibt, während sich der Transformator im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungszustandsbereich befindet.

[0008] Ein Belastungszustand im Belastungszustandsbereich verursacht eine Alterung des Transformators und ist explizit zumindest von der Temperatur des Transformators abhängig.

[0009] Der Transformator wird somit im konkret vorliegenden Arbeitspunkt auf eine höhere Temperatur, die im fol-

genden auch als "erhöhte Temperatur" bezeichnet wird, gelegt als ohne diese Maßnahme.

[0010] "Bereich" im Begriff Belastungszustandsbereich deutet zum einen an, dass es sich nicht um einen mathematischen Punkt handelt, mit dem die Kühlstufe assoziiert ist, sondern dass die Kühlstufe mit einem in der Praxis zwangsweise auftretenden Bereich von Belastungszuständen assoziiert ist. Beispielsweise macht es in der Praxis keinen Unterschied, ob die Temperatur $X^{\circ}\text{C}$ oder eine geringfügig andere, z.B. $X^{\circ}\text{C} + 0,1^{\circ}\text{C}$, vorliegt, obgleich mathematisch streng genommen ein quantitativ geringfügig anderer Belastungszustand vorliegt. Zum anderen können bewusst ein gewisser Temperaturbereich und damit ein gewisser Bereich von Belastungszuständen mit der jeweiligen Kühlstufe assoziiert sein.

[0011] Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird mittels einer geeignet gewählten Reduktion der Kühlleistung - somit ohne zusätzliche Heizmittel - eine Temperaturerhöhung auf eine erhöhte Temperatur bewirkt. Sofern das mindestens eine Isoliermittel eine feste Isolation umfasst, welche feste Isolation insbesondere hygroskopisches Material wie Zellulose beinhaltet (beispielsweise in festem Material, sog. Pressspan oder "Pressboard", oder Wickelpapier), ist diese erhöhte Temperatur groß genug, um Feuchtediffusion aus der festen Isolation zu fördern. Sofern das mindestens eine Isoliermittel eine flüssige Isolation, insbesondere Öl wie z.B. Mineralöl, umfasst, wird durch die erhöhte Temperatur die Aufnahmekapazität der flüssigen Isolation für die Feuchtigkeit erhöht, wobei die Feuchtigkeit in an sich bekannter Weise - z.B. mittels Filterkartuschen, welche z.B. wiederum Zellulose oder andere geeignete Materialien enthalten können - aus der Flüssigkeit entfernt werden kann. Hierdurch ergeben sich deutlich schnellere und effizientere Trocknungsbedingungen, wobei die Trocknung während des laufenden Betriebs vorgenommen werden kann und typischerweise nur wenige Wochen dauert.

[0012] Es sei bemerkt, dass unter der "Temperatur des Transformators" prinzipiell unterschiedliche Messgrößen verstanden werden können, beispielsweise eine Heißöltemperatur oder die Temperatur an einer bestimmten besonders heißen Stelle ("Hotspots") der festen Isolation bzw. des Transformators. Die Heißöltemperatur wird typischerweise im Bereich eines Deckels eines mit Öl gefüllten Gehäuses des Transformators gemessen, wobei im Gehäuse die Transformatorwicklung und der Transformator Kern angeordnet sind. Die Temperatur des Hotspots im festen Material liegt üblicherweise über der Heißöltemperatur. Dieser Wert kann entweder auf Basis der Heißöltemperatur unter Berücksichtigung des Laststroms abgeschätzt werden, oder es erfolgt eine direkte Messung der Hotspottemperatur mit hochspannungsfester Sensorik, insbesondere mittels Lichtleitersensoren.

[0013] Wie bereits festgehalten kann das mindestens eine Isoliermittel sowohl eine feste als auch eine flüssige Isolation beinhalten, insbesondere Zellulosepapier und/oder Öl. Das mindestens eine Isoliermittel dient dabei insbesondere zur elektrischen Isolation der mindestens einen Transformatorwicklung bzw. von deren metallischen Leitern.

[0014] Allgemein gilt, dass bei steigender Belastung bzw. bei höheren Belastungszustandsbereichen die Kühlleistung erhöht wird und umgekehrt. Die Änderung der Kühlleistung kann stufig erfolgen, wodurch automatisch Kühlstufen definiert sind. Die Kühlleistung kann aber auch im Wesentlichen kontinuierlich erfolgen, beispielsweise indem eine Drehzahl kontinuierlich gesteuert wird, wobei sich aber natürlich auch in diesem Fall Kühlstufen definieren lassen, beispielsweise als gewisse Drehzahlbereiche. Man könnte in diesem Fall auch von virtuellen Kühlstufen sprechen. Solche Kühlstufen bzw. virtuellen Kühlstufen bilden das Kühlsystem aus.

[0015] Die mit den Kühlstufen assoziierten Belastungszustandsbereiche können definiert oder vorgebar sein.

[0016] Es versteht sich, dass das erfindungsgemäße Verfahren auch als computerimplementiertes Verfahren vorgehen sein kann.

[0017] Grundsätzlich ist es denkbar, dass die Temperatur des Transformators von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird, die damit implizit auch den Belastungszustand bzw. den Belastungszustandsbereich beeinflussen. Selbstverständlich ist es aber auch möglich, dass der Belastungszustandsbereich bzw. der Belastungszustand explizit von weiteren Größen abhängt, beispielsweise von der elektrischen Last bzw. der strommäßigen Belastung des Transformators und/oder der Umgebungstemperatur. Diese Größen können bei bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens zusätzlich berücksichtigt werden. Entsprechend ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass der Belastungszustandsbereich außerdem von der strommäßigen Belastung des Transformators abhängt und dass die obere Kühlstufe nur dann deaktiviert wird oder bleibt und die unmittelbar unter der oberen Kühlstufe liegende Kühlstufe nur dann aktiviert wird oder bleibt, wenn die strommäßige Belastung unter einen Schwellwert abgesunken ist und/oder den Schwellwert nicht übersteigt, wobei der Schwellwert unter einem Maximalwert der strommäßigen Belastung des Transformators im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungszustandsbereich und innerhalb dieses Belastungszustandsbereichs liegt.

[0018] D.h. das Erzielen der erhöhten Temperatur ist in diesem Fall mit einer gegenüber dem Maximalwert reduzierten strommäßigen Belastung bzw. elektrischen Last des Transformators gekoppelt. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass die im Transformator tatsächlich vorliegende Temperaturverteilung bei weitem nicht so inhomogen ist wie bei hohen Betriebsströmen bzw. elektrischen Lasten. Hohe elektrische Transformatorlasten sind nämlich üblicherweise mit einer ausgeprägten Inhomogenität der Temperaturverteilung gekoppelt, sodass einerseits die bereits erwähnten Heißstellen markant auftreten, während andererseits gerade die stärker befeuchteten Teile der Isolation ein nur eher moderates Temperaturniveau aufweisen. Bei den kühleren Stellen lagert sich sodann die meiste Feuchte an. Durch den erfindungsgemäßen Ansatz wird ein Zustand genutzt, bei dem die Heißstellen lediglich moderat ausgeprägt sind und auch kühleren

Bereiche besser erwärmt bzw. schneller getrocknet werden. Das Risiko von ausgeprägten lokalen Heißstellen mit extremer Alterung ist praktisch nicht gegeben. Somit kann mittels des erfindungsgemen Verfahrens auch der schlimmste Fall ausgeschlossen werden, nämlich eine Gasblasenbildung im Isoliersystem, die im Hochspannungsbereich zu einem sofortigen Schaden durch Explosion und somit zum Ausfall des Transformators führen kann - mit Brandgefahr und großem Restaurierungsaufwand.

[0019] Konkret können beispielsweise Heiltemperaturen erzielt werden, die im Bereich von z.B. maximal 80°C liegen. Die sich bei diesen Heiltemperaturen ergebende Temperaturverteilung im Transformator ist dann typischerweise derart, dass in der festen Isolation nur geringfügige Heißstellen unter 95°C auftreten. Es sei bemerkt, dass diese lediglich beispielhaft genannten Zahlen auch von der Wärmeklasse der eingesetzten Materialien abhängen.

[0020] Indem nur geringfügige Heißstellen erzeugt werden, führt der Trocknungsvorgang praktisch zu keiner relevant erhöhten Alterung des mindestens einen Isoliermittels.

[0021] Vorgesehene Mittel zur Messung des entsprechenden Kennwerts, insbesondere entsprechende Strom- bzw. Leistungssensoren, sind an sich bekannt.

[0022] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemen Verfahrens ist vorgesehen, dass der Schwellwert höchstens 80%, bevorzugt höchstens 70%, besonders bevorzugt höchstens 60%, des Maximalwerts der Belastung des Transformators im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungszustandsbereich beträgt. Auf diese Weise lassen sich inhomogene Temperaturverteilungen mit schädlichen Heißstellen deutlich reduzieren, wobei durch die erhöhte Temperatur auch der Nachteil von kühleren Bereichen mit schlechteren Trocknungseigenschaften minimiert wird, sodass die Gesamtisolation bzw. sämtliche Isoliermittel eine für die Trocknung vorteilhafte Temperatur erhält bzw. erhalten.

[0023] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemen Verfahrens ist vorgesehen, dass die obere Kühlstufe die höchste Kühlstufe ist. Auf diese Weise wird durch den mit der höchsten Kühlstufe einhergehenden Belastungszustandsbereich sichergestellt, dass die sich einstellende erhöhte Temperatur für die Trocknung besonders hoch ist, wodurch sich eine besonders rasche Trocknung erreichen lässt.

[0024] Heutzutage eingesetzte Khlersteuerungen von Transformatoren können dazu eingerichtet sein, Aspekten, die über die reine Kühlung hinausgehen, - zumindest in einem gewissen Maß - Rechnung zu tragen, indem die Kühlung entsprechend gesteuert wird. Beispielsweise können solche Khlersteuerungen eine Verminderung der Gesamtverluste, eine Erhöhung der Überlastfähigkeit und/oder eine Vergleichsmäßigung der Abnutzung der Kühlaggregate steuern. Vorteilhafterweise können solche Khlersteuerungen zur Durchführung des erfindungsgemen Verfahrens herangezogen werden, insbesondere indem die Software der jeweiligen Kühlersteuerung entsprechend angepasst wird. Daher ist es bei einer Kühlersteuerung für einen ein mehrstufiges Kühlsystem aufweisenden Transformator, insbesondere Leistungstransformator oder eine Drossel, mit mindestens einer Transformatorwicklung und mindestens einem Isoliermittel zur elektrischen Isolation erfindungsgemä vorgesehen, dass die Kühlersteuerung zur Durchführung eines erfindungsgemen Verfahrens eingerichtet ist. D.h. die Kühlersteuerung kann geeignete Mittel, insbesondere des Kühlsystems, derart ansteuern, dass das erfindungsgeme Verfahren mit Hilfe dieser Mittel durchgeführt wird.

[0025] Wie bereits erwähnt, kann die Kühlersteuerung hierzu eine entsprechende Software aufweisen bzw. verwenden, die beispielsweise in einen Speicher der Kühlersteuerung geladen ist. Es ist weiters denkbar, dass diese Software auch über ein Netzwerk übertragen oder auf einem Datenträger verbreitet werden kann. Daher ist erfindungsgemä ein Computerprogrammprodukt vorgesehen, umfassend Befehle, die bewirken, dass die erfindungsgeme Kühlersteuerung das erfindungsgeme Verfahren ausführt.

[0026] Analog ist erfindungsgemä ein Transformator, insbesondere Leistungstransformator oder Drossel, mit mindestens einer Transformatorwicklung und mindestens einem Isoliermittel zur elektrischen Isolation, umfassend ein mehrstufiges Kühlsystem sowie die erfindungsgeme Kühlersteuerung vorgesehen.

[0027] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemen Transformators ist vorgesehen, dass mindestens drei Kühlstufen vorgesehen sind. Dies begünstigt das Erzielen hinreichend großer erhöhter Temperaturen für eine schnelle Trocknung sowie gleichzeitig eine möglichst homogene Temperaturverteilung, da die unmittelbar unter der oberen Kühlstufe liegende Kühlstufe nicht die niedrigste Kühlstufe sein muss.

[0028] Für eine optimale Isolation einerseits und eine gute Kühlung andererseits ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemen Transformators vorgesehen, dass das mindestens eine Isoliermittel Isolierflüssigkeit, insbesondere Öl, umfasst und vorzugsweise eine Zellulose aufweisende Feststoffisolation. Die Isolierflüssigkeit bzw. das Öl fungiert dabei gleichzeitig als Isolator und als Kühlmittel. Es kann sich hierbei beispielsweise um Mineralöl, Pflanzenöl oder synthetische Flüssigkeiten wie Silikonöl handeln. Darüberhinaus sind Isolierflssigkeiten mit erhöhten Flammpunkten denkbar.

[0029] Weiters ist es für eine optimale Isolation einerseits und eine gute Kühlung andererseits bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemen Transformators vorgesehen, dass das mindestens eine Isoliermittel eine Feststoffisolation umfasst, die vorzugsweise Zellulose oder Aramid aufweist. Als hygroskopes Material wie Zellulose als Feststoffisolation, die typischerweise die mindestens eine Transformatorwicklung bzw. deren Windungen umgibt, kann z.B. Zellulosepapier oder Pressspan bzw. "Pressboard"-Material vorgesehen sein. Aramid wiederum weist vor

allen bei sehr hohen Temperaturen vorteilhafte Eigenschaften auf, wobei Aramid auch Feuchtigkeit aufnimmt, obgleich es bis zu einem gewissen Grad imprägnierbar ist.

[0030] Bei besonders bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Transformators ist zur optimalen Kühlung unter Verwendung von Isolierflüssigkeit bzw. Öl vorgesehen, dass die folgenden Kühlstufen in aufsteigender Reihenfolge vorgesehen sind: ONAN, ONAF; oder KNAN, KNAF; oder ODAF1, ODAF2; oder KDAF1, KDAF2; oder OFAF1, OFAF2; oder KFAF1, KFAF2; oder ONAN, OFAN; oder KNAN, KFAN; oder ONAN, ODAN, ODAF; oder KNAN, KDAN, KDAF; oder ONAN, ONAF1, ONAF2; oder KNAN, KNAF1, KNAF2.

[0031] Bei diesen besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen sind also sowohl zweistufige als auch dreistufige Kühlsysteme vorgesehen.

[0032] Die angegebenen Bezeichnungen sind in der Kühltechnik übliche Begriffe, vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BChlung>. "O" steht für "Oil", "K" für eine Isolierflüssigkeit Isolierflüssigkeit mit im Vergleich zum Öl erhöhter Wärmeklasse bzw. erhöhtem Flammpunkt, "N" für "Natural" (hier wird das jeweilige Medium bzw. Fluid nur aufgrund natürlich vorkommender Konvektion bewegt), "F" für "Forced" (hier werden zur Bewegung des Mediums bzw. Fluids Pumpen eingesetzt), "D" für "Directed" (hier wird gezielt bzw. gerichtet zu den Wicklungen gepumpt), "A" für "Air". Die Ziffern bezeichnen in aufsteigender Reihenfolge eine erhöhte Anzahl der entsprechenden Kühlmittel zur Bewegung des jeweiligen Kühlmediums/-fluids, d.h. AF1 steht für eine gewisse Anzahl von Lüftern bzw. Ventilatoren, wohingegen AF2 für eine vergleichsweise höhere Anzahl von Ventilatoren steht.

[0033] Es sei bemerkt, dass sowohl Radiatoren als auch Kühler eingesetzt werden können, wobei Kühler zwingend Lüfter und Pumpen voraussetzen, wohingegen bei Radiatoren auch natürliche Konvektion der Kühlmedien/-fluide vorgesehen sein kann.

[0034] Allgemein sei noch angemerkt, dass außer Luft auch ein anderes Kühlfluid eingesetzt werden könnte, beispielsweise ein anderes Gas oder eine Flüssigkeit wie z.B. Wasser.

[0035] Zu den Ausführungsbeispielen ONAN, ODAN, ODAF und KNAN, KDAN, KDAF: ODAF steht für "Oil Directed Air Forced", d.h. das Öl wird mittels mindestens einer Ölpumpe gerichtet gepumpt und mindestens ein Lüfter ist eingeschaltet, wodurch die höchste Kühlstufe mit stärkster Kühlung realisiert ist. Dabei zirkuliert das Öl in einem Kühlkreislauf, der zumindest einen Radiator zum Wärmetausch mit der Umgebung und mindestens einen Lüfter bzw. Ventilator umfasst, vorzugsweise mindestens einen Axialventilator, bei dem die Drehachse eines Laufrads parallel bzw. axial zu einem Luftstrom verläuft. Durch den mindestens einen Lüfter kann - verglichen zur Kühlung mit natürlicher Konvektion - eine wesentlich höhere Kühlung des mindestens einen Radiators bzw. ein wesentlich höherer Wärmetausch mit der Umgebungsluft erzielt werden.

[0036] KDAF bezeichnet eine Kühlstufe analog zu ODAF, wobei statt Öl eine Isolierflüssigkeit mit erhöhter Wärmeklasse bzw. erhöhtem Flammpunkt zum Einsatz kommt.

[0037] Durch Abschalten des mindestens einen Lüfters verbleibt lediglich die Luftzirkulation aufgrund von natürlicher Konvektion, sodass die Kühlleistung in der mittleren Kühlstufe gegenüber der höchsten Kühlstufe erniedrigt ist. Entsprechend steht ODAN für "Oil Directed Air Natural".

[0038] KDAN bezeichnet eine Kühlstufe analog zu ODAN, wobei statt Öl die Isolierflüssigkeit mit erhöhter Wärmeklasse bzw. erhöhtem Flammpunkt zum Einsatz kommt.

[0039] Wird nun auch noch die mindestens eine Pumpe abgeschaltet, kann das Öl nur noch aufgrund der natürlichen Konvektion zirkulieren, wodurch sich die Kühlleistung in der niedrigsten Kühlstufe gegenüber der mittleren Kühlstufe nochmals verringert. Entsprechend steht ONAN für "Oil Natural Air Natural".

[0040] KNAN bezeichnet eine Kühlstufe analog zu ONAN, wobei statt Öl die Isolierflüssigkeit mit erhöhter Wärmeklasse bzw. erhöhtem Flammpunkt zum Einsatz kommt.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0041] Die Erfindung wird nun anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die Zeichnung ist beispielhaft und soll den Erfindungsgedanken zwar darlegen, ihn aber keinesfalls einengen oder gar abschließend wiedergeben. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Transformators

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0042] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Transformators 1, der über eine Transformatorwicklung 3 verfügt, die um einen Transformator Kern 10 gewickelt ist. Die Transformatorwicklung 3 besteht

zumindest aus einer figürlich nicht weiter dargestellten Unter- sowie Oberspannungswicklung. Weiters ist die Transformatorwicklung 3, genauer deren elektrischer Leiter, zur elektrischen Isolierung mit Zellulosepapier (nicht extra dargestellt) umwickelt.

[0043] Die Transformatorwicklung 3 und der Transformator Kern 10 sind in einem Gehäuse 2 des Transformators 1 angeordnet, das mit einem Transformatoröl 7 gefüllt ist. Bei dem Transformatoröl 7 kann es sich z.B. um Mineralöl handeln. Das Transformatoröl 7 dient einerseits ebenfalls zur elektrischen Isolierung. D.h. Isoliermittel des Transformators 1 umfassen das Transformatoröl 7 und das Zellulosepapier, wobei letzteres mit Transformatoröl 7 entsprechend getränkt ist.

[0044] Andererseits dient das Transformatoröl 7 der Kühlung, da die Transformatorwicklung 3 während des Betriebs des Transformators 1 Wärme erzeugt, die mit der elektrischen Last bzw. der strommäßigen Belastung des Transformators 1 steigt. Das Transformatoröl 7 kann dabei in einem das Gehäuse 2 umfassenden Kühlkreislauf 4 zirkulieren. Die Zirkulation des Transformatoröls 7 kann durch natürliche Konvektion stattfinden und/oder mittels einer Pumpe 11 erzwungen werden. Im Kühlkreislauf 4 ist weiters mindestens ein Radiator 5 vorgesehen, um Wärmeaustausch zwischen dem Transformatoröl 7 und Umgebungsluft zu ermöglichen. Hierbei wird der Radiator 5 durch die Umgebungsluft gekühlt, wobei die Umgebungsluft Wärme vom Radiator 5 aufnimmt. Kühlere Umgebungsluft kann dem Radiator 5 über natürliche Konvektion zugeführt werden und/oder mittels mindestens eines Ventilators 6. Wenn die Kühlung des Radiators 5 mittels des Ventilators 6 erfolgt, wird Umgebungsluft vom Ventilator 6 angesaugt und an einer dem Radiator 5 zugewandten Austrittsseite 9 des Ventilators 6 auf den Radiator 5 geblasen.

[0045] Im dargestellten Ausführungsbeispiel werden insbesondere das Transformatoröl 7, die Pumpe 11, der Radiator 5 und der Ventilator 6 dazu verwendet, drei Kühlstufen - eine niedrigste Kühlstufe, eine mittlere Kühlstufe und eine höchste Kühlstufe - des Transformators 1 zu realisieren.

[0046] Diese Kühlstufen sind mit zugehörigen Belastungszustandsbereichen assoziiert, d.h. jede der Kühlstufen ist einem Belastungszustandsbereich zugeordnet, wobei jeder Belastungszustandsbereich einen Bereich von Belastungszuständen umfasst, die eine Alterung des Transformators 1 verursachen. Dabei ist der Belastungszustand bzw. der Belastungszustandsbereich zumindest von der Temperatur des Transformators 1 abhängig. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Belastungszustand bzw. der Belastungszustandsbereich außerdem explizit von der elektrischen Last bzw. der strommäßigen Belastung des Transformators 1 abhängig.

[0047] Mittels einer Kühlersteuerung 8 werden mit zunehmendem Belastungszustandsbereich sukzessive immer höhere Kühlstufen aktiviert und bei abnehmendem Belastungszustandsbereich die höheren Kühlstufen sukzessive deaktiviert. D.h. die niedrigste Kühlstufe ist mit einem niedrigen Belastungszustandsbereich assoziiert, die mittlere Kühlstufe mit einem mittleren Belastungszustandsbereich und die höchste Kühlstufe mit einem hohen Belastungszustandsbereich.

[0048] In Fig. 1 deuten punktierte Linien an, dass die Kühlersteuerung 8 wirkverbunden mit der Pumpe 11 und dem Ventilator 6 ist, um diese wahlweise ein- oder auszuschalten. Die strichpunktierte Linie in Fig. 1 deutet an, dass die Kühlersteuerung 8 Informationen über den aktuellen Belastungszustand bzw. Belastungszustandsbereich des Transformators 1 verarbeitet. Diese Informationen können über an sich bekannte Mittel, insbesondere Sensoren für die Temperatur des Transformators 1 sowie für die elektrische Leistungsaufnahme oder für den auf der Sekundärseite des Transformators 1 fließenden Strom, zur Verfügung gestellt werden.

[0049] Die höchste Kühlstufe ist im dargestellten Ausführungsbeispiel ODAF ("Oil Directed Air Forced"), d.h. das Transformatoröl 7 wird mit der Pumpe 11 gerichtet durch den Kühlkreislauf 4 gepumpt und der Ventilator 6 ist aktiviert, sodass eine maximale Kühlleistung realisiert ist.

[0050] Durch Abschalten des Ventilators 6 wird ODAN ("Oil Directed Air Natural") als die mittlere Kühlstufe im dargestellten Ausführungsbeispiel realisiert, bei der lediglich die Luftzirkulation aufgrund von natürlicher Konvektion verbleibt, sodass die Kühlleistung in der mittleren Kühlstufe gegenüber der höchsten Kühlstufe erniedrigt ist. Es sei bemerkt, dass es alternativ auch denkbar wäre, die mittlere Kühlstufe durch Abschalten der Pumpe 11 und Laufenlassen des Ventilators 6 zu realisieren, was als ONAF ("Oil Natural Air Forced") bezeichnet würde.

[0051] Wird beim dargestellten Ausführungsbeispiel nun auch noch die Pumpe 11 abgeschaltet, kann das Transformatoröl 7 nur noch aufgrund der natürlichen Konvektion zirkulieren, wodurch sich die Kühlleistung in der niedrigsten Kühlstufe gegenüber der mittleren Kühlstufe nochmals verringert. D.h. die niedrigste Kühlstufe im dargestellten Ausführungsbeispiel ist ONAN ("Oil Natural Air Natural").

[0052] Die Kühlersteuerung 8 ist außerdem dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Trocknung durchzuführen, d.h. insbesondere die Pumpe 11 und den Ventilator 6 in Abhängigkeit vom Belastungszustandsbereich des Transformators 1 so anzusteuern, dass das erfindungsgemäße Verfahren während des Betriebs des Transformators 1 folgendermaßen durchgeführt wird: Eine obere Kühlstufe, die über der niedrigsten Kühlstufe liegt, wird deaktiviert oder bleibt deaktiviert und die unmittelbar unter der oberen Kühlstufe liegende Kühlstufe wird aktiviert oder bleibt aktiviert, während sich der Transformator 1 im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungszustandsbereich befindet. Dabei wird im dargestellten Ausführungsbeispiel die obere Kühlstufe nur dann deaktiviert oder bleibt deaktiviert und wird die unmittelbar unter der oberen Kühlstufe liegende Kühlstufe nur dann aktiviert oder bleibt aktiviert, wenn die strommäßige Belastung unter einen Schwellwert abgesunken ist und/oder den Schwellwert nicht übersteigt, wobei der Schwellwert

unter einem Maximalwert der strommäßigen Belastung des Transformators 1 im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungszustandsbereich und innerhalb dieses Belastungszustandsbereichs liegt.

[0053] Vorzugsweise ist die obere Kühlstufe die höchste Kühlstufe.

[0054] Der Schwellwert kann gegenüber dem Maximalwert der strommäßigen Belastung des Transformators 1 im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungszustandsbereich beispielsweise um mindestens 20%, bevorzugt um mindestens 30%, besonders bevorzugt um mindestens 40%, erniedrigt sein.

[0055] Weitere Illustration des erfindungsgemäßen Verfahrens:

Die folgende Tabelle A gibt ein Beispiel für eine konventionelle dreistufige Kühlung des in Fig. 1 dargestellten Transformators 1. Der angegebene typische Laststrom ist in Prozent des Nennstroms bzw. maximalen Laststroms angegeben. Typischerweise ist der angegebene Laststrom dabei abhängig von der Umgebungstemperatur und der Dynamik des Systems und verschiebt sich entsprechend bei hohen Umgebungstemperaturen zu kleineren Prozentwerten und umgekehrt bei tiefen Umgebungstemperaturen zu höheren Prozentwerten. Insofern ist bei Anwendung des Trockenmodus bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Trocknen eine hohe Umgebungstemperatur vorteilhaft, um auch bei kleineren Lastströmen eine effiziente Trocknung zu erzielen.

[0056] Der Belastungszustandsbereich, der mit den Kühlstufen jeweils assoziiert ist, ist eine Funktion von sowohl der Temperatur des Transformators 1, wobei die Temperatur insbesondere eine Heißöltemperatur sein kann, als auch vom Laststrom.

TABELLE A - KONVENTIONELLE DREISTUFIGE KÜHLUNG

Kühlstufe	1	2	3
Type	ONAN	ONAF	ODAF
Eingeschaltete Zusatzaggregate	-	Lüfter	Pumpen+ Lüfter
Schwelltemperatur "Ein" [°C]		60	70
Schwelltemperatur "Aus" [°C]		50	60
Auftretende Temperaturen[°C]	<60	50-70	>60
Typischer Laststrom	<60%	60-80%	>80%

[0057] Eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Trocknungsverfahrens ist demgegenüber in der folgenden Tabelle B illustriert. Klarerweise gilt auch für das Verfahren gemäß Tabelle B, dass der Belastungszustandsbereich, der mit den Kühlstufen jeweils assoziiert ist, eine Funktion von sowohl der Temperatur des Transformators 1, wobei die Temperatur insbesondere eine Heißöltemperatur sein kann, als auch vom Laststrom ist.

TABELLE B - AUSFÜHRUNGSFORM DES ERFINDUNGSGEMÄSSEN VERFAHRENS

Kühlstufe	1	2	3
Type	ONAN	ODAN	ODAF
Eingeschaltete Zusatzaggregate	-	Pumpen	Pumpen+ Lüfter
Laststrom < 70%			
Schwelltemperatur "Ein" [°C]		70	80
Schwelltemperatur "Aus" [°C]		65	76
Auftretende Temperaturen[°C]	<70	65-80	>75
Trocknungsmodus: >60°C			
Laststrom ≥ 70%			
Schwelltemperatur "Ein" [°C]		68	70
Schwelltemperatur "Aus" [°C]		60	66
Auftretende Temperaturen[°C]	<68	60-70	>65
Trocknungsmodus: >60°C			

[0058] In Tabelle B sind zwei Fälle dargestellt sind, nämlich einmal für einen Laststrom $< 70\%$ des Nennstroms und einmal für einen Laststrom $\geq 70\%$ des Nennstroms. Eine effiziente Trocknung findet dabei jeweils bei mehr als 60°C statt.

[0059] Es sei bemerkt, dass aus Tabelle B hervorgeht, dass die mittlere Kühlstufe ODAN statt ONAF gewählt ist, wofür keine strukturelle Änderung am Transformator 1 vorgenommen werden muss. Über die Kühlersteuerung 8 werden die entsprechenden Typen der Kühlung einfach eingestellt.

[0060] Gegenüber der konventionellen Kühlung gemäß Tabelle A wird bei der in Tabelle B illustrierten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens speziell bei Belastungszustandsbereichen, die zur höchsten Kühlstufe gemäß Tabelle A gehören, die zweite Kühlstufe verwendet. Entsprechend sind die bei Betrieb der zweiten Kühlstufe auftretenden Temperaturen in Tabelle B deutlich höher als in Tabelle A, was eine effiziente Trocknung während des Betriebs des Transformators 1 ermöglicht.

Bezugszeichenliste:

[0061]

- 1 Transformator
- 2 Gehäuse des Transformators
- 3 Transformatorwicklung, mit um den Leiter gewickeltem Zellulosepapier
- 4 Kühlkreislauf
- 5 Radiator
- 6 Ventilator
- 7 Transformatoröl
- 8 Kühlersteuerung
- 9 Austrittsseite des Ventilators
- 10 Transformator kern
- 11 Pumpe

Patentansprüche

1. Verfahren zur Trocknung eines ein mehrstufiges Kühlsystem aufweisenden Transformators (1), insbesondere Leistungstransformators oder einer Drossel, mit mindestens einer Transformatorwicklung (3) und mindestens einem Isoliermittel (7) zur elektrischen Isolation, wobei die Kühlstufen eine niedrigste Kühlstufe und eine höchste Kühlstufe umfassen, wobei die einzelnen Kühlstufen jeweils mit einem Belastungszustandsbereich des Transformators (1) assoziiert sind und bei Erreichen des jeweiligen Belastungszustandsbereichs des Transformators (1) aktiviert werden, wobei der Belastungszustandsbereich eine Funktion ist, die zumindest von einer Temperatur des Transformators (1) abhängt, und wobei das Verfahren zur Trocknung während des Betriebs des Transformators (1) durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine obere Kühlstufe, die über der niedrigsten Kühlstufe liegt, deaktiviert wird oder bleibt und die unmittelbar unter der oberen Kühlstufe liegende Kühlstufe aktiviert wird oder bleibt, während sich der Transformator (1) im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungszustandsbereich befindet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Belastungszustandsbereich außerdem von der strommäßigen Belastung des Transformators (1) abhängt und dass die obere Kühlstufe nur dann deaktiviert wird oder bleibt und die unmittelbar unter der oberen Kühlstufe liegende Kühlstufe nur dann aktiviert wird oder bleibt, wenn die strommäßige Belastung unter einen Schwellwert abgesunken ist und/oder den Schwellwert nicht übersteigt, wobei der Schwellwert unter einem Maximalwert der strommäßigen Belastung des Transformators (1) im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungszustandsbereich und innerhalb dieses Belastungszustandsbereichs liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwellwert höchstens 80% , bevorzugt höchstens 70% , besonders bevorzugt höchstens 60% , des Maximalwerts der strommäßigen Belastung des Transformators (1) im zur oberen Kühlstufe gehörigen Belastungszustandsbereich beträgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die obere Kühlstufe die höchste Kühlstufe ist.
5. Kühlersteuerung (8) für einen ein mehrstufiges Kühlsystem aufweisenden Transformator (1), insbesondere Leistungstransformator oder eine Drossel, mit mindestens einer Transformatorwicklung (3) und mindestens einem Iso-

liermittel (7) zur elektrischen Isolation, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kühlersteuerung (8) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 eingerichtet ist.

5 **6.** Transformator (1), insbesondere Leistungstransformator oder Drossel, mit mindestens einer Transformatorwicklung (3) und mindestens einem Isoliermittel (7) zur elektrischen Isolation, umfassend ein mehrstufiges Kühlsystem sowie die Kühlersteuerung (8) nach Anspruch 5.

7. Transformator (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens drei Kühlstufen vorgesehen sind.

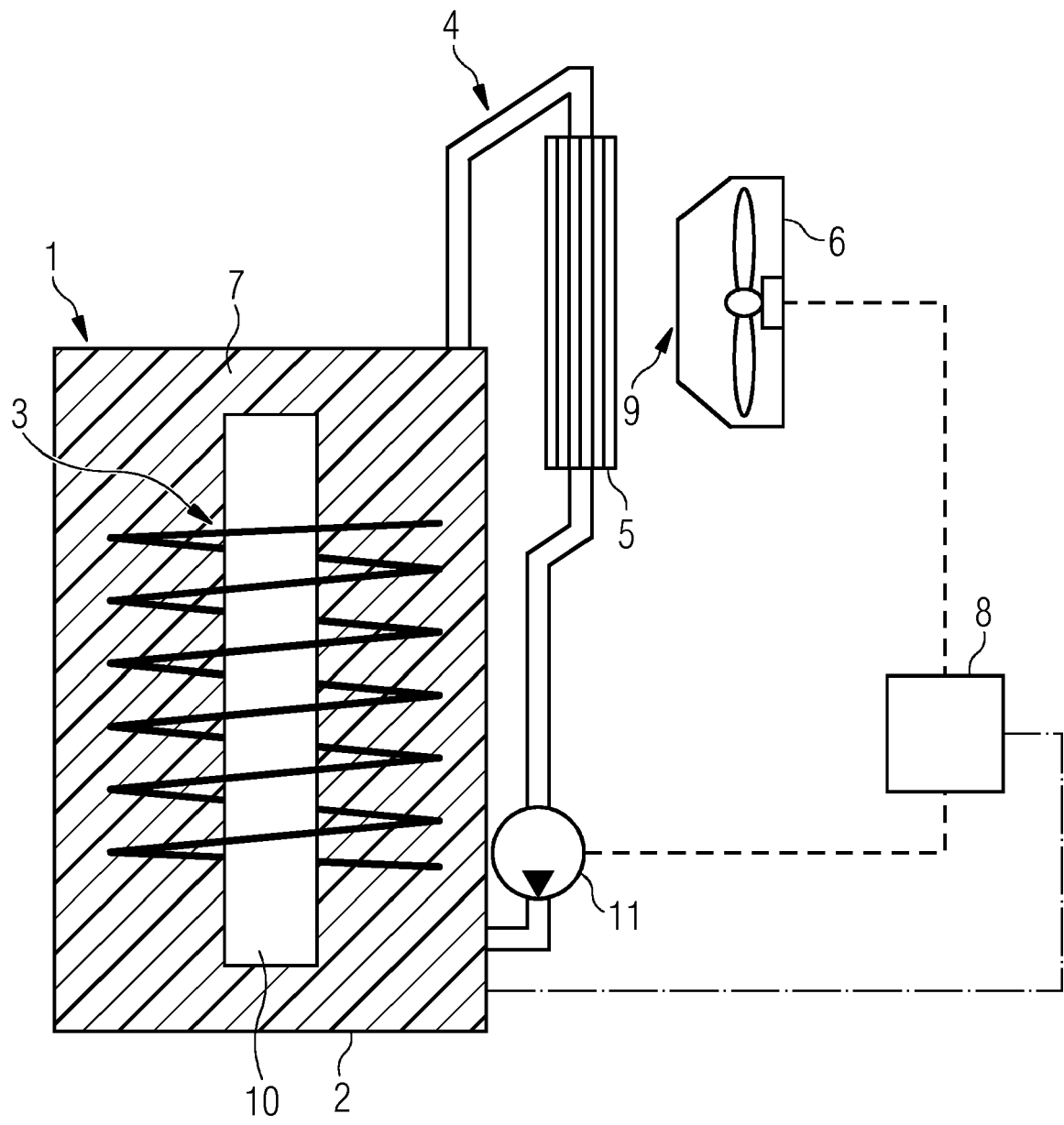
10 **8.** Transformator (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Isoliermittel Isolierflüssigkeit, insbesondere Öl (7), umfasst.

9. Transformator (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Isoliermittel eine Feststoffisolierung umfasst, die vorzugsweise Zellulose oder Aramid aufweist.

15 **10.** Transformator (1) nach Anspruch 7 und Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die folgenden Kühlstufen in aufsteigender Reihenfolge vorgesehen sind:

20 ONAN, ONAF; oder KNAN, KNAF;
oder ODAF1, ODAF2; oder KDAF1, KDAF2;
oder OFAF1, OFAF2; oder KFAF1, KFAF2;
oder ONAN, OFAN; oder KNAN, KFAN;
oder ONAN, ODAN, ODAF; oder KNAN, KDAN, KDAF;
25 oder ONAN, ONAF1, ONAF2; oder KNAN, KNAF1, KNAF2.

11. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bewirken, dass die Kühlersteuerung (8) nach Anspruch 5 das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 ausführt.





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 17 0055

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	H Borsi ET AL: "Life Extension of the Transformer Insulation with an Innovative Online Drying and Filtering system", 20. Oktober 2003 (2003-10-20), XP055630367, Gefunden im Internet: URL:http://www.daneshir.ir/fileEssay/98-E-TRN-387.pdf [gefunden am 2019-10-09] * das ganze Dokument *	1-11	INV. H01F27/14 H01F27/40 H05K7/20
A	EP 0 043 511 A1 (TRANSFORMATOREN UNION AG [DE]) 13. Januar 1982 (1982-01-13) * Zusammenfassung * * Seite 2, Zeile 5 - Seite 3, Zeile 6 * * Seite 3, Zeile 32 - Seite 4, Zeile 29; Abbildungen 1,3,5 *	1-11	
A	BORSI H ET AL: "Drying of transformer insulation using zeolite", IEEE ELECTRICAL INSULATION MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, Bd. 20, Nr. 1, 1. Januar 2004 (2004-01-01), Seiten 20-30, XP011107478, ISSN: 0883-7554, DOI: 10.1109/MEI.2004.1266362 * das ganze Dokument *	1-11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01F H05K
A	DE 197 57 955 A1 (BORSI HOSSEIN PROF DR ING [DE]; GOCKENBACH ERNST PROF DR ING [DE]) 1. Juli 1999 (1999-07-01) * Zusammenfassung * * Spalte 2, Zeile 14 - Zeile 51 *	1-11	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 15. Oktober 2019	Prüfer Warneck, Nicolas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 17 0055

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-10-2019

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 0043511	A1	13-01-1982	CA	1179423 A	11-12-1984
				DE	3025661 A1	04-02-1982
				DK	297881 A	08-01-1982
15				EP	0043511 A1	13-01-1982
				JP	S5752115 A	27-03-1982
				US	4456899 A	26-06-1984

	DE 19757955	A1	01-07-1999	KEINE		
20	-----					
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82