



(11) **EP 1 859 331 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**29.10.2008 Patentblatt 2008/44**

(51) Int Cl.:  
**G05D 23/19 (2006.01) H01F 27/12 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **05815353.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2005/012455**

(22) Anmeldetag: **22.11.2005**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2006/097142 (21.09.2006 Gazette 2006/38)**

(54) **VERFAHREN ZUR KÜHLUNGSSTEUERUNG AN EINEM LEISTUNGSTRANSFORMATOR**

METHOD FOR CONTROLLING COOLING ON A POWER TRANSFORMER

PROCEDE DE COMMANDE DE REFROIDISSEMENT SUR UN TRANSFORMATEUR DE PUISSANCE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR**

• **VIERECK, Karsten**  
**93059 Regensburg (DE)**

(30) Priorität: **15.03.2005 DE 102005011835**

(56) Entgegenhaltungen:  
**US-A- 4 360 849 US-A1- 2002 113 599**  
**US-A1- 2002 161 558**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**28.11.2007 Patentblatt 2007/48**

• **F. LACKMAN, P.J. GRIFFIN, W. WOLF, A. WILSON:** "Real-Time Dynamic Loading and Thermal Diagnostic of Power Transformers" **IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY**, Bd. 18, Nr. 1, 31. Januar 2003 (2003-01-31), Seiten 142-148, XP011078920

(73) Patentinhaber: **Maschinenfabrik Reinhausen GmbH**  
**93059 Regensburg (DE)**

• **SIMONSON E:** "Transformer ratings and transformer life" **IEE COLLOQUIUM TRANSFORMER LIFE MANAGEMENT**, Bd. 1998/510, Nr. 1, 22. Oktober 1998 (1998-10-22), Seiten 7/1-7/6, XP006502740 London

(72) Erfinder:  
• **KRUEGER, Thorsten**  
**93049 Regensburg (DE)**  
• **STADELMAYER, Manfred**  
**93173 Wenzenbach (DE)**

**EP 1 859 331 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung von Einrichtungen zur Kühlung eines ölgefüllten Leistungstransformators in Abhängigkeit von dessen Öl- oder Wicklungstemperatur.

**[0002]** Ölgefüllte Leistungstransformatoren werden nach ihrer Bauart und Kühlungsart international mit einem 4-Buchstaben-Code charakterisiert. Die ersten beiden Buchstaben beziehen sich dabei auf die Art der Kühlung des Transformators selbst; hierfür gibt es die dem Fachmann bekannten Kürzel ON für "Oil Natural", OF für "Oil Forced", OP für "Oil Forced", jedoch mit einer Ölkühlanlage mit Axialpumpe, OD für "Oil Directed", sowie GF für "Gas Forced" (für Transformatoren mit SF<sub>6</sub>-Kühlung) als Sonderbauart. Die nachgestellten beiden weiteren Buchstaben bezeichnen die jeweilige Art des Kühlmediums; hierzu gibt es AN für "Air Natural", AF für "Air Forced", WF für "Water Forced".

**[0003]** Durch Kombination unterschiedlicher Kühlungsarten von Transformatoren als auch unterschiedlicher Arten des Kühlmediums existieren mithin die verschiedensten Bauformen von Transformatoren, die sich durch die erläuterte Codierung darstellen lassen.

**[0004]** Weiterhin besitzt ein ölgefüllter Leistungstransformator in der Regel mehrere Kühlstufen, denen verschiedene Kühlungsarten bzw. Arten des Kühlmediums zugrunde liegen können.

**[0005]** Zur Steuerung von Kühleinrichtungen am Leistungstransformator, wie Pumpen oder Lüftern, die in den einzelnen Kühlstufen wirken, ist es bekannt, die jeweilige Temperatur des Isolieröles oder die Wicklungstemperatur zu erfassen bzw. zu berechnen und mit einem vorab vorgegebenen Grenzwert für jede Kühlstufe zu vergleichen, bei dessen Überschreitung die jeweilige Kühleinrichtung in Betrieb gesetzt wird; solange, bis der Grenzwert der jeweiligen Stufe wieder unterschritten ist.

**[0006]** Die Berechnungen der erläuterten Momentanwerte der Temperatur des Isolieröles oder der Wicklungstemperatur sind dem Fachmann geläufig, sie sind in der IEC 354 "Loading guide for oilimmersed power transformers", Seiten 25ff, insbesondere Seite 33f, ausführlich beschrieben. Abhängig von der Art des Transformators und der jeweiligen Kühlstufe sind in dieser IEC die unterschiedlichsten Variablen und Parameter sowie insgesamt unterschiedliche Berechnungsvorschriften festgelegt.

**[0007]** Aus der US 2002/0161558 A1 sind ein Gerät und implizit ein entsprechendes Verfahren zur Steuerung von Einrichtungen zur Kühlung eines ölgefüllten Leistungstransformators mit mindestens einer Kühlstufe in Abhängigkeit von dessen Öl- oder Wicklungstemperatur bekannt. Dabei wird die Öl- bzw. Wicklungstemperatur gemäß den Rechenvorschriften der genannten IEC ermittelt und als Basis für die Betätigung der Kühlstufen mit einem jeweiligen entsprechenden Grenzwert verglichen. Bei diesem bekannten Gerät und dem entsprechenden Verfahren müssen also zunächst einmal, für

jede Kühlstufe getrennt, die jeweiligen Variablen, die der Trafoart in Kombination mit der jeweiligen Kühlungsart entsprechen, mühevoll aus der IEC zusammengesucht und in eine entsprechende Steuereinheit eingegeben werden, damit eine korrekte Berechnung von Öl- bzw. Wicklungstemperatur und in der Folge ein Vergleich mit einem kühlstufenabhängigen Grenzwert erfolgen können. Eine solche Eingabe ist für den Anwender umständlich. Zum einen ist es mühevoll, die einzelnen Parameter korrekt aus der IEC zu entnehmen. Oft steht die IEC dem Anwender gerade nicht zur Verfügung, oft ist das Bedienpersonal im Umgang mit der umfangreichen Publikation ungeübt. Zum anderen können Fehler bei der Auswahl der jeweiligen Parameter und Formeln aus dem Normenwerk und ihrer manuellen Übertragung in eine entsprechende Steuereinheit auftreten.

**[0008]** Hier setzt die Erfindung an. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, das dem Anwender diese aufwändigen Tätigkeiten abnimmt.

**[0009]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches gelöst. Bei diesem Verfahren ist es nur noch notwendig, Bauart und Kühlungsarten des jeweiligen Leistungstransformators zu identifizieren und die eingangs erläuterte buchstabencodierte Charakterisierung der jeweiligen Kühlungsart des Transformators und des Kühlmediums in seinen jeweiligen Kühlstufen anzugeben. Diese wenigen notwendigen Angaben zum Leistungstransformator sind dem Anwender bekannt; sie sind auf dem Typenschild enthalten und lassen sich leicht, einfach und ohne Übertragungsfehler in eine entsprechende Steuereinheit übernehmen.

**[0010]** Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt den Umstand, dass die zur Berechnung der spezifischen Öl- sowie Wicklungstemperaturen anzuwendenden Rechenvorschriften, einschließlich der jeweiligen Variablen und Parameter, in der genannten IEC eindeutig festgelegt und somit vom Anwender zwingend zu verwenden sind. Diese Werte sind daher bereits werksseitig nichtflüchtig gespeichert, so dass praktisch nur noch ein Parameter von Hand eingegeben werden muss: Die 4-Buchstaben-Codierung für jede vorhandene Kühlstufe des entsprechenden Leistungstransformators.

**[0011]** Lediglich bei Änderung der IEC, wenn sich die festgelegten Parameter und Rechenvorschriften ändern sollten, wäre eine Änderung der nichtflüchtig gespeicherten Werte notwendig. Da solche Änderungen relevanter Kriterien in verbindliche Normen jedoch nur sehr selten zu erwarten sind, allenfalls nach etlichen Jahren, kann der Aufwand für eine solche interne Nachparametrierung in Kauf genommen werden.

**[0012]** Zur Durchführung des Verfahrens eignet sich beispielsweise das von der Anmelderin angebotene elektronische Steuergerät TAPCON® 260.

**[0013]** Die Erfindung soll nachfolgend an Hand von Zeichnungen beispielhaft noch näher erläutert werden. Es zeigen:

Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in schema-

tischer Darstellung aller nacheinander ablaufender Verfahrensschritte

Figur 2 eine erweiterte Darstellung wichtiger Verfahrensschritte sowie der Parameterauswahl beim erfindungsgemäßen Verfahren.

**[0014]** Zuerst soll an Hand von Figur 1 das komplette Verfahren beschrieben werden.

**[0015]** Einmalig wird werksseitig in dem jeweiligen Regler bzw. dem elektronischen Steuergerät, in dem das Verfahren ablaufen soll, eine nichtflüchtige Speicherung aller möglichen 4-Buchstaben-Codierungen und der zugeordneten spezifischen Variablen und Rechenvorschriften gemäß der erläuterten IEC vorgenommen.

**[0016]** Weiterhin erfolgt zunächst die nichtflüchtige Speicherung von Grenzwerten  $\vartheta_1 \dots \vartheta_n$  für die Öl- bzw. Wicklungstemperatur für jede beim entsprechenden Leistungstransformator vorhandene Kühlstufe 1...n.

**[0017]** Nachdem dies erfolgt ist, kann das eigentliche Verfahren beginnen. Zunächst erfolgt die Eingabe der jeweiligen Kühlungsart des Transformators und der Art des Kühlmediums für jede vorhandene Kühlstufe 1...n getrennt im 4-Buchstaben-Code.

**[0018]** Nachfolgend erfolgt im Rechner aus den nichtflüchtig gespeicherten Wertepaaren aller möglicher 4-Buchstaben-Codierungen das Auslesen der lt. IEC zutreffenden Rechenvorschriften, Variablen und Konstanten für die eingegebenen Werte zur jeweiligen Berechnung von Öl- bzw. Wicklungstemperatur  $\vartheta$ .

**[0019]** Mit diesen Werten erfolgt nachfolgend die tatsächliche Berechnung des aktuellen Öl- bzw. Wicklungstemperatur-Istwertes  $\vartheta$ .

**[0020]** Diese Berechnung erfolgt gemäß der für den jeweiligen Transformator zutreffenden spezifischen Vorschriften der IEC 354. Für diese Berechnung werden die Top-Oil-Temperatur, der Laststrom, der Lastfaktor - das ist der Quotient aus Laststrom und Bemessungsstrom - und weitere spezifische, in der IEC vorgesehene Parameter verwendet.

**[0021]** Anschließend erfolgt ein Vergleich der berechneten Öl- bzw. Wicklungstemperatur  $\vartheta$  mit dem Grenzwert  $\vartheta_1 \dots \vartheta_n$  für jede Kühlstufe 1...n getrennt. Für diesen Vergleich werden die nicht flüchtig gespeicherten Grenzwerte  $\vartheta_1 \dots \vartheta_n$  verwendet.

**[0022]** Mit der Formulierung "getrennter Vergleich" ist gemeint, dass zunächst geprüft wird, ob der errechnete Wert  $\vartheta$  den Grenzwert  $\vartheta_1$ , für die erste Kühlstufe überschreitet. Ist dies der Fall, wird die erste Kühlstufe aktiviert. Weiterhin wird geprüft, ob der errechnete Wert  $\vartheta$  so groß ist, dass er darüber hinaus auch den Grenzwert  $\vartheta_2$  der zweiten Kühlstufe überschreitet. In einem solchen Fall wird auch die zweite Kühlstufe aktiviert. Dieser Vergleich wird für eventuell weitere Kühlstufen auf analoge Weise fortgesetzt.

**[0023]** Zusätzlich ist es sinnvoll, bei Überschreiten des Grenzwertes  $\vartheta_n$  für die letzte (höchste) vorhandene Kühlstufe n zusätzlich noch die Auslösung von einer Warnung, ggf. auch das Stillsetzen des Transformators zu

veranlassen.

**[0024]** Die wichtigsten Verfahrensschritte sollen nachfolgend an Hand der Figur 2 noch einmal verdeutlicht werden. Das für die Durchführung des Verfahrens in diesem Beispiel verwendete Steuergerät weist vier Schaltkontakte S1...S4 auf; es ist für einen Transformator mit bis zu vier verschiedenen Kühlstufen 1...4 verwendbar. Sind beim jeweiligen Transformator weniger Kühlstufen vorhanden, bleiben die übrigen Kontakte unbenutzt.

**[0025]** Im oberen Teil von Figur 2 ist gezeigt, wie sich aus der jeweiligen Kühlungsart (das sind die ersten beiden Großbuchstaben) und der entsprechenden Art des Kühlmediums (das sind die folgenden beiden Großbuchstaben) die bereits besprochene 4-Buchstaben-Codierung ergibt.

**[0026]** Die Kühlstufe 0, d. h. der normale Betrieb, erhält üblicherweise immer die Bezeichnung ONAN. Kühlstufen mit gleicher Kühlungsart werden aufsteigend mit einem Index bezeichnet, der mit der Ziffer 1 beginnt. Jeder Kühlstufe sind charakteristische Parameter, der Gradient  $gr$ , der Wicklungsexponent  $y$  und die Wicklungszeitkonstante  $\tau$ , zugeordnet, die von der Art des Transformators und der Kühlungsart, mithin von der jeweiligen 4-Buchstaben-Codierung, abhängen.

**[0027]** In der Mitte von Figur 2 ist die Matrix aller möglicher 4-Buchstaben-Codierungen und der zugeordneten erläuterten Parameter gezeigt, so wie sie nichtflüchtig gespeichert werden.

**[0028]** Aus dieser Matrix werden die jeweiligen relevanten Parameter ausgelesen, die sich aus der Eingabe der Transformatoren- und Kühlungsart konkret für die einzelnen Kühlstufen ergeben. Mit diesen Parametern erfolgt dann die Berechnung der aktuellen Öl- bzw. Wicklungstemperatur  $\vartheta$ .

**[0029]** Im unteren Teil von Figur 2 ist die nichtflüchtige Speicherung der Grenzwerte  $\vartheta_1 \dots \vartheta_n$  für jede Kühlstufe 1...n - hier als prozentualer Schaltepunkt in Grad Celsius über der jeweils berechneten Wicklungstemperatur  $\vartheta$  ausgedrückt, gezeigt.

**[0030]** Mit diesen nichtflüchtig gespeicherten Werten erfolgt nachfolgend der beschriebene Vergleich der berechneten Temperatur  $\vartheta$  mit dem jeweiligen Grenzwert  $\vartheta_1 \dots \vartheta_n$  für jede Kühlstufe 1...n getrennt. Im hier gezeigten Beispiel besitzt der Transformator tatsächlich vier Kühlstufen 1...4, so dass alle am Steuergerät vorhandenen Kontakte S1...S4 hier belegt sind.

**[0031]** Zusätzlich sind in diesem Beispiel noch zwei weitere Schaltkontakte 5 und 6 vorgesehen, wobei der Schaltkontakt 5 bei Überschreiten des Grenzwertes  $\vartheta_4$  für die letzte Kühlstufe 4 ein Warnsignal auslöst, das signalisiert, dass die regulären Kühlstufen offensichtlich nicht in der Lage sind, den (übermäßig) erhitzten Leistungstransformator wieder herunterzukühlen. Eine Ursache hierfür kann z. B. in einer ausgefallenen Pumpe liegen.

**[0032]** Ein weiterer Schaltkontakt 6 wird ausgelöst, wenn auch der Grenzwert für diese Warnmeldung noch deutlich überschritten wird; dann wird der gesamte

Transformator stillgesetzt, um Schäden zu vermeiden.

**[0033]** Im gezeigten Beispiel sind die Kühlstufen 1...3 in der Bauart ONAF ausgeführt und, wie oben erläutert, daher um einem Index 1...3 ergänzt. Die letzte Kühlstufe 4 ist in diesem Beispiel vom Typ OPAF.

**[0034]** Prinzipiell lässt sich beim erfindungsgemäßen Verfahren sowohl die berechnete Öltemperatur als auch die berechnete Wicklungstemperatur als Vergleichsgröße verwenden, weswegen hier durchgängig beide Arten von berechneter Temperatur mit dem gleichen Bezugszeichen  $\vartheta$  versehen sind. Unterschiede ergeben sich allerdings hinsichtlich der Ansprechempfindlichkeit, da sich die Wicklungstemperatur wesentlich rascher ändert als die Öltemperatur, die mit einer bestimmten Trägheit dieser nachfolgt.

### Patentansprüche

- Verfahren zur Steuerung von Einrichtungen zur Kühlung eines ölgefüllten Leistungstransformators mit mindestens einer Kühlstufe (1...n) in Abhängigkeit von dessen Öl- oder Wicklungstemperatur  $\vartheta$ , wobei die Öl- bzw. Wicklungstemperatur  $\vartheta$  gemäß den Vorschriften der IEC ermittelt wird und mit einem entsprechenden Grenzwert verglichen wird, dass im Ergebnis des Vergleiches Informationen für die Betätigung der mindestens einen Kühlstufe erzeugt werden, dass die jeweilige Kühlstufe (1...n) betätigt wird, wenn deren jeweiliger Grenzwert  $\vartheta_1... \vartheta_n$  überschritten ist und dass eine Warnung, eine Fehlermeldung oder die Auslösung eines Schutzschalters veranlasst wird, falls die aktuelle Öl- bzw. Wicklungstemperatur  $\vartheta$  auch einen Grenzwert für die letzte Kühlstufe (n) überschreitet, **dadurch gekennzeichnet, dass** die jeweilige Kühlungsart des Transformators und die Art des Kühlmediums für jede vorhandene Kühlstufe (1...n) getrennt in 4-Buchstaben-Codierung eingegeben werden, **dass** die jeweils eingegebene 4-Buchstaben-Codierung mit einer vorab nichtflüchtig gespeicherten Tabelle aller technisch möglichen 4-Buchstaben-Codierungen und der zugeordneten spezifischen Variablen und Rechenvorschriften gemäß IEC verglichen wird, **dass** die für die eingegebenen 4-Buchstaben-Codierungen jeweils zutreffenden Rechenvorschriften, Variablen und Konstanten für die Berechnung der Öl- bzw. Wicklungstemperatur  $\vartheta$  ermittelt werden und dass jede berechnete Öl- bzw. Wicklungstemperatur  $\vartheta$  mit jeweils einem nichtflüchtig gespeicherten Grenzwert  $\vartheta_1... \vartheta_n$  für die Öl- bzw. Wicklungstemperatur für jede vorhandene Kühlstufe (1...n) verglichen wird.

### Claims

- Method for controlling installations for cooling an oil-filled power transformer with at least one cooling stage (1...n) in dependence on the power transformer's oil or winding temperature  $\zeta$ ., whereby the oil or winding temperature  $\zeta$ . is calculated in compliance with the IEC specifications and compared with a respective limit value, so that information for activating the minimum number of at least one cooling stage results from the comparison, so that the respective cooling stage (1...n) is activated if its respective limit value  $\zeta_1... \zeta_n$  is exceeded and an alert, an error message or the triggering of a protective switch is actuated if the actual oil or winding temperature  $\zeta$  also exceeds a limit value of the last cooling stage (n), **characterised by the fact** that the type of the respective transformer cooling system and the type of the coolant are entered separately in a 4-letter code for each existing cooling stage (1..n), that the respective 4-letter code that has been entered is compared with a non-volatile table stored in advance of all technically possible 4-letter codes and with the attributed specific variables and calculation specifications in compliance with IEC, that the respective calculation specifications, variables and constants for calculating the oil or winding temperature  $\zeta$ . for the entered 4-letter code are determined and that each calculated oil or winding temperature  $\zeta$  is compared with each non-volatile stored limit value  $\zeta_1... \zeta_n$  for the oil or winding temperature of each existing cooling stage (1...n).

### Revendications

- Procédé pour la commande de dispositifs servant au refroidissement d'un transformateur de puissance rempli d'huile avec au moins un étage de refroidissement (1 ...n) en fonction de sa température d'huile ou d'enroulement S, la température d'huile ou d'enroulement  $\vartheta$  étant déterminée conformément aux prescriptions CEI et comparée à une valeur limite correspondante, pour que dans les résultats du comparatif, des informations soient générées pour l'actionnement d'un étage de refroidissement au moins, pour que l'étage de refroidissement respectif (1...n) soit actionné si sa valeur limite respective  $\vartheta_1... \vartheta_n$  est dépassée et pour qu'un avertissement, un message d'erreur ou le déclenchement d'un disjoncteur de protection soit lancé si la température d'huile ou d'enroulement  $\vartheta$  actuelle dépasse aussi une valeur limite pour le dernier étage de refroidissement (n), **caractérisé en ce que**

le mode de refroidissement respectif du transformateur et le type d'agent de refroidissement sont entrés séparément sous forme de codage à 4 lettres pour chaque étage de refroidissement (1 ...n),  
le codage à 4 lettres respectivement entré est comparé à un tableau non volatil enregistré préalablement qui contient tous les codages à 4 lettres réalisables techniquement et aux variables et règles de calcul spécifiques assignées selon CEI,  
les règles de calcul, variables et constantes respectivement applicables pour le calcul de la température d'huile ou d'enroulement 9 sont déterminées pour les codages à 4 lettres entrés et chaque température d'huile ou d'enroulement 9 calculée est comparée à une valeur limite enregistrée de manière non volatile  $\theta_1 \dots \theta_a$  pour la température d'huile ou d'enroulement pour chaque étage de refroidissement existant (1...n).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

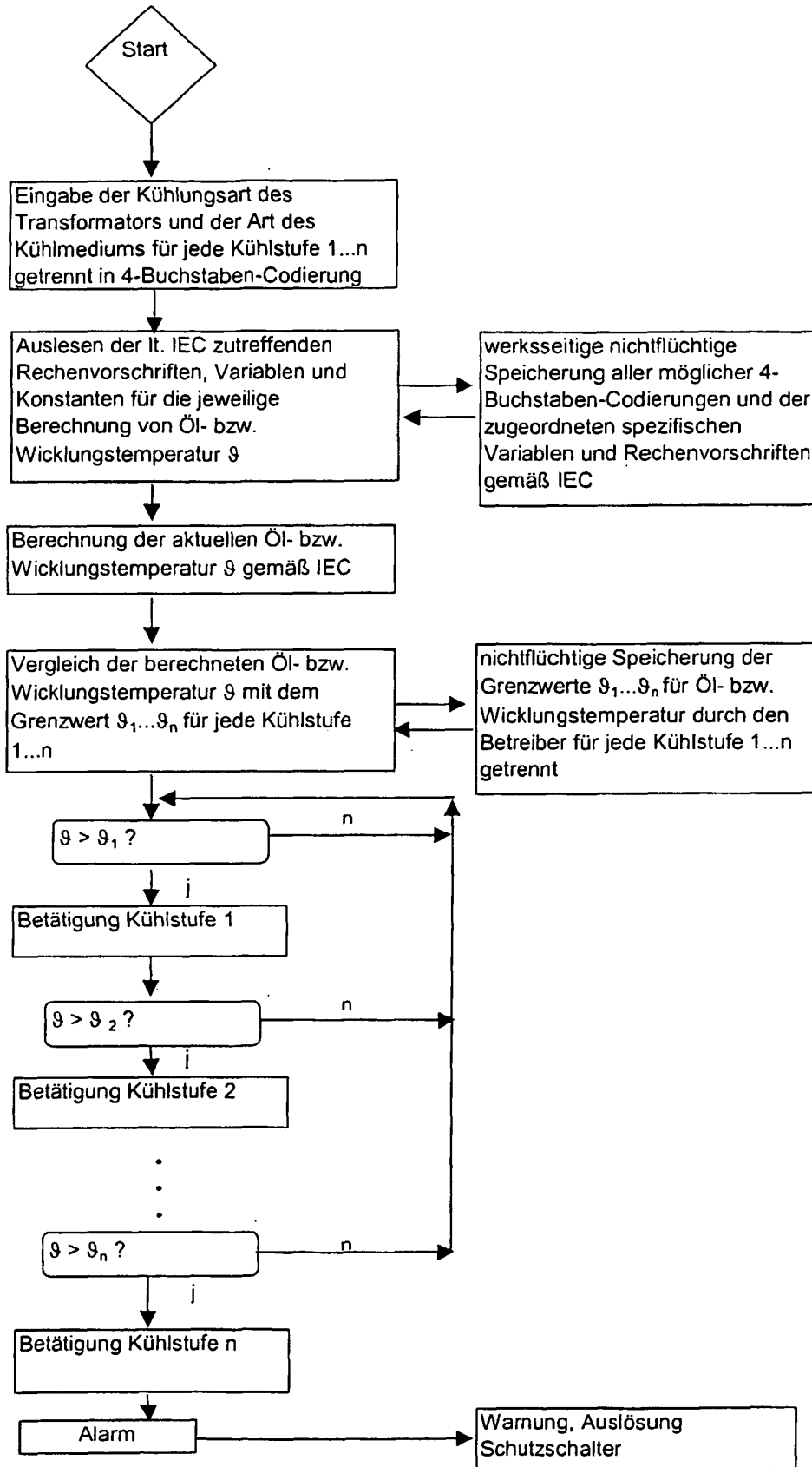


Fig. 1

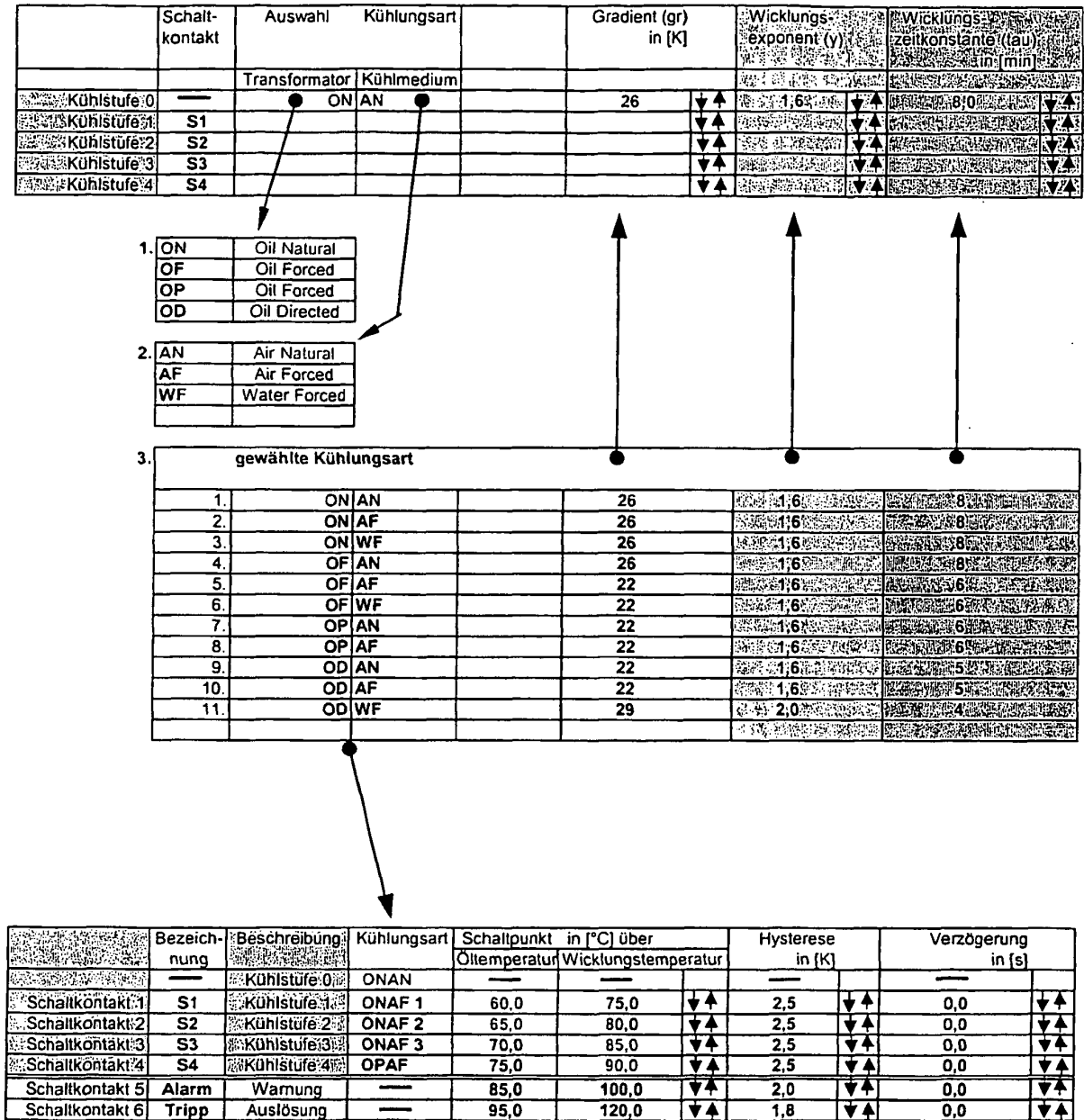


Fig. 2

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 20020161558 A1 [0007]