

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung des Kontaktabbrandes bei Stufenschaltern, speziell des Kontaktabbrandes von Lichtbogen schaltenden Kontakten, bei denen diese Kontakte als mechanische Schaltkontakte ausgebildet sind.

[0002] Stufenschalter sind seit vielen Jahren zur unterbrechungslosen Umschaltung zwischen verschiedenen Wicklungsanzapfungen von Stufentransformatoren in großen Zahlen weltweit im Einsatz. Solche Stufenschalter bestehen üblicherweise aus einem Wähler zur leistungslosen Anwahl der jeweiligen Wicklungsanzapfung des Stufentransformators, auf die umgeschaltet werden soll, und einem Lastumschalter zur eigentlichen Umschaltung von der bisherigen auf die neue, vorgewählte Wicklungsanzapfung. Der Lastumschalter weist dazu üblicherweise Schaltkontakte und Widerstandskontakte auf. Die Schaltkontakte dienen dabei zur direkten Verbindung der jeweiligen Wicklungsanzapfung mit der Lastableitung, die Widerstandskontakte zur kurzzeitigen Beschaltung, d. h. Überbrückung mittels eines oder mehrerer Überschaltwiderstände. Zwar sind in den letzten Jahren auch bereits Lastumschalter mit Thyristoren oder auch Vakuumschaltzellen als Schaltelementen bekannt geworden, dennoch weist die überwiegende Zahl aller in Betrieb befindlichen Lastumschalter heute und wohl auch in nächster Zeit noch mechanische Kontakte auf.

[0003] Die Schalt- und Widerstandskontakte solcher Stufenschalter bestehen üblicherweise aus einer lichtbogenresistenten Kupfer-Wolfram-Legierung. Beim Schalten dieser Kontakte entstehen regelmäßig Lichtbögen, die geringe Mengen des Kontaktmaterials abschmelzen bzw. verbrennen und so zu einem Kontaktabbrand führen. Der Kontaktabbrand von Schalt- und Widerstandskontakten ist somit ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung des Zustandes eines Stufenschalters sowie zur Vorhersage notwendig werdender Inspektionen. Alle Lastumschalter-Systeme von Stufenschaltern sind in ihrer Kinematik in gewisser Weise abhängig vom Abbrand der Schalt- und Widerstandskontakte. Brennen die Kontakte unterschiedlich stark ab, so können sich die Schalt- und Überlappungszeiten der einzelnen Schaltschritte innerhalb der Sequenz bei einer Lastumschaltung derart verändern, dass ein sicheres Funktionieren nicht mehr gewährleistet ist. Daher sind in den Inspektionsanleitungen von Stufenschaltern üblicherweise die zulässigen Abbrandunterschiede bzw. Abbrandgrenzwerte angegeben. Werden diese Grenzen überschritten, müssen die Kontakte entweder durch neue ersetzt werden oder es müssen Schalt- und Widerstandskontakte gegeneinander getauscht werden. Ist ein Kontakt vollständig abgebrannt, muss er ohnehin ersetzt werden.

[0004] Es sind bereits zahlreiche Verfahren bekannt geworden, mit denen eine solche Kontaktverschleißüberwachung bzw. - daraus abgeleitet - eine

Restlebensdauerermittlung an Stufenschaltern oder an anderen Hochspannungsschaltkontakten erfolgen soll. Die bekannten Verfahren lassen sich in verschiedene Gruppen einteilen:

5 Aus der DE-GM 296 19 365 und EP 0 948 006 sind rein optische Verfahren zur Restlebensdaueranzeige bzw. zur Abbrandanzeige bekannt.

Aus den DE-OS 35 15 027 und DE-PS 40 28 721 sind Verfahren bekannt, bei denen der Bogenstrom zwischen den Kontakten ermittelt und als Kriterium verwendet wird.

10 Aus der DE-PS 195 44 926 ist ein Verfahren unter Verwendung der Lichtbogenspannung bekannt.

Die DE-OS 44 27 006 beschreibt ein Verfahren, bei dem der Kontaktdurchdruck der Schaltstücke als Ersatzkriterium für den Kontaktabbrand verwendet wird.

15 **[0005]** Die WO97/28549 beschreibt eine entsprechende zugrundeliegende Überwachung der jeweiligen Schaltbewegung, d. h. der zeitlichen Sequenz bei der Schalthandlung.

20 In der WO96/13732 ist ein Verfahren mit einer zusätzlichen Signalleitung beschrieben, deren Isolationszerstörung Kriterium für einen abgenutzten Schaltkontakt sein soll.

25 Die japanische Offenlegung Hei-4-64206 beschreibt ein Verfahren, bei dem eine Berechnung in Abhängigkeit von der Zahl der von einem Stufenschalter durchgeführten Schaltungen erfolgt.

[0006] Aus der DE 195 30 776 C1 ist weiterhin ein Verfahren zur Überwachung eines Lastumschalters für einen Stufenschalter bekannt, wobei während der Lastumschaltung auftretende Lichtbögen zeitlich erfasst werden und durch Vergleich der Zeiten zwischen den einzelnen Lichtbögen sowie ggf. einen zusätzlichen Vergleich der Länge der einzelnen Lichtbögen mit jeweils vorgegebenen Sollwerten, die als charakteristische Größen des jeweiligen Stufenschalters nicht flüchtig gespeichert sind, eine Funktionsüberwachung erfolgt. Mit diesem Verfahren lässt sich durch den Vergleich der jeweiligen tatsächlichen Zeiten zwischen den einzelnen Lichtbögen mit den entsprechenden Sollwerten indirekt erkennen, wenn die Lebensdauer von Kontakten überschritten, d. h. deren Kontaktabbrand über das zulässige Maß hinaus fortgeschritten ist. Eine direkte Erfassung und Überwachung des Kontaktabbrandes ist jedoch nicht möglich.

30 **[0007]** Aus der DE-OS 27 27 378 schließlich ist eine Einrichtung zur Kontrolle der Betriebsfähigkeit von Schaltgeräten ganz allgemein bekannt, wobei der Abbrand hierbei aus Laststrommessungen mittels eines Stromwandlers erfolgt. Für die speziellen Verhältnisse an Stufenschaltern ist diese Einrichtung nicht geeignet.

35 **[0008]** Die beschriebenen Verfahren haben sich bei Stufenschaltern aus den unterschiedlichsten Gründen bisher nicht durchsetzen können. Direkte optische und mechanische Verfahren sind wegen der Lage der zu überwachenden Kontakte im Inneren des - üblicherweise ölgefüllten - Stufenschalters nicht praktikabel, Ver-

fahren, die zusätzliche Messleitungen oder ähnliches erfordern, die vom Inneren des Stufenschalters nach außen geführt werden müssen, sind aus Gründen der Spannungsfestigkeit ungeeignet. Verfahren, die den Bogenstrom, die Bogenspannung oder die Zahl der absolvierten Schaltungen zugrunde legen, führen nicht zu zuverlässigen Ergebnissen.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Überwachung des Kontaktabbrandes bei Stufenschaltern anzugeben, das auf zuverlässige und möglichst einfache Weise und dennoch exakt den Abbrand der Kontakte ohne erforderliche Sichtprüfung oder erforderliche Messungen am jeweiligen Kontakt gestattet und bei Abweichungen über ein vorab festgelegtes Maß hinaus entsprechende Fehlermeldungen generiert.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Die Unteransprüche betreffen besonders vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0011] Auf besonders vorteilhafte Weise wird beim erfindungsgemäßen Verfahren der Kontaktabbrand jedes Kontaktes an Hand einer Abbrandrate A ermittelt. Die einzelnen Verfahrensschritte können in einem Rechner durchgeführt werden, in dem vorab die charakteristischen Parameter des jeweiligen Stufenschaltertyps, an dessen Kontakten der Kontaktabbrand überwacht werden soll, sowie Abbrandgrenzwerte, bei deren Überschreitung eine Warnung oder sonstige Meldung generiert werden soll, nicht flüchtig gespeichert werden.

[0012] Wie bereits ausgeführt, wird beim erfindungsgemäßen Verfahren der Kontaktabbrand des jeweiligen Schalt- oder Widerstandskontaktes in Volumeneinheiten des abbrennbaren Kontaktmaterials, etwa in mm³, an Hand einer spezifischen Abbrandrate A ermittelt. Diese Abbrandrate A mit der physikalischen Einheit mm³/Schaltung, d. h. Volumeneinheit/Schaltung, ist dabei eine material- und stromabhängige Kenngröße. Die Abbrandrate A ergibt sich dabei besonders vorteilhaft folgendermaßen:

$$A \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Schaltung}} \right] = a \cdot J^b$$

Dabei ist J der von dem zu überwachenden Kontakt des Stufenschalters abzuschaltende Strom. Er ergibt sich rechnerisch auf bekannte Weise aus dem aktuellen Laststrom des Transformators, der gemessen wird, der aktuellen Stufenspannung zwischen zwei benachbarten Wicklungsanzapfungen, zwischen denen umgeschaltet wird, und der jeweiligen Ausführung des Stufenschalters.

Die Größen a und b sind stufenschalterspezifische Kenngrößen, die vorab - wie weiter oben bereits erläutert wurde - nicht flüchtig gespeichert werden. Der Faktor a liegt dabei im Bereich von 10⁻⁵ ... 10⁻². Für den bekannten Stufenschalter Typ M der Anmelderin etwa be-

trägt a vorzugsweise 8,5 · 10⁻⁵.

Der Wert für b liegt im Bereich von 0,8...2,2. Für den bereits erwähnten Stufenschalter Typ M beträgt b vorzugsweise 1,16.

[0013] Nach einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die beschriebene Ermittlung der Abbrandrate a von einem Toleranzband umrahmt, das für zuverlässige Aussagen berücksichtigt werden muss.

[0014] Es hat sich nämlich gezeigt, dass der Kontaktabbrand vielfältigen, nicht vorhersehbaren und schwer rechnerisch beschreibbaren Einflüssen unterliegt, die zu gewissen Schwankungen führen können. Somit wird ein Sicherheitszuschlag s in der Größenordnung von etwa 10...12 % eingeführt. Damit sind alle üblichen in der Praxis vorkommenden Schwankungen abgedeckt. Nach dieser Weiterbildung der Erfindung ergibt sich dann die Abbrandrate A wie folgt:

$$A \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Schaltung}} \right] = a \cdot J^b \cdot s$$

Bei dieser Ermittlung der Abbrandrate wird, wie erläutert, gewissen Schwankungen durch den Sicherheitszuschlag s pauschal Rechnung getragen.

[0015] Nach einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist es auch möglich, die Genauigkeit der Ermittlung der Abbrandrate noch weiter zu erhöhen, beispielsweise zur Lebensdauer-Vorhersage der Kontakte, indem eine Anpassung der Abbrandrate vorgenommen wird, ein Sicherheitszuschlag also nicht mehr pauschal angesetzt, sondern iterativ ermittelt wird. Dazu werden die tatsächlichen Kontaktabbrände nach einer repräsentativen Schaltzahl gemessen. Dies kann etwa im Rahmen einer ohnehin erforderlich werdenden Routineinspektion geschehen. Aus den Messwerten wird der tatsächliche Volumenabbrand für jeden Kontakt ermittelt und mit dem erfindungsgemäß ermittelten Volumenabbrand verglichen. Ein Korrekturfaktor

$$f = \frac{\text{Volumenabbrand}_{\text{gemessen}}}{\text{kumulierter Volumenabbrand}_{\text{errechnet}}}$$

lässt sich dann zur Ermittlung der Abbrandrate wie folgt einsetzen:

$$\text{Abbrand} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Schaltung}} \right] = f \cdot a \cdot J^b \cdot s$$

[0016] Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird die rechnerisch ermittelte Abbrandrate A in ein Verfahren zur Überwachung des Kontaktabbrandes integriert. Das erfindungsgemäße Verfahren insgesamt beinhaltet also

sowohl die Ermittlung der Abbrandrate A als auch die nachfolgende Ermittlung des kumulierten Kontaktabbrandes am jeweiligen Schaltkontakt sowie die wiederum nachfolgende Generierung von situationsbezogenen Warn- oder sonstige Meldungen.

[0017] Der besondere Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt dabei darin, dass sich auf einfache Weise eine Überwachungsmöglichkeit des Kontaktabbrandes der Kontakte im Stufenschalter ergibt, ohne dass diese Kontakte selbst für Sichtprüfungen, Messungen an ihnen oder auf andere Weise zugänglich sein müssen.

[0018] Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass sich das erfindungsgemäße Verfahren ohne weiteres in ein komplexes Stufenschalter- und/oder Transformatoren-Monitoringsystem implementieren lässt.

[0019] Insgesamt lässt sich durch das erfindungsgemäße Verfahren zuverlässig angeben, wann ein Austausch der Kontakte im jeweiligen Stufenschalter tatsächlich erforderlich ist. Damit wird einerseits vermieden, dass etwa aus vermeintlichen Sicherheitsgründen vorschnell Kontakte getauscht werden, was unnötig und kostenaufwendig ist, andererseits wird jedoch auch vermieden, dass ein tatsächlich notwendiger Kontaktausgleich nicht erkannt oder unzulässig hinausgezögert wird, was zu Funktionsstörungen und schweren Schäden führen kann.

[0020] Die Erfindung soll nachfolgend beispielhaft noch näher erläutert werden.

Figur 1 zeigt den Ablaufplan eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens

Figur 2 zeigt den Ablaufplan eines weiter entwickelten zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0021] Zunächst soll das in Figur 1 dargestellte Verfahren näher erläutert werden.

[0022] Zu Beginn erfolgt eine Eingabe und nicht flüchtige Speicherung spezifischer Stufenschalterparameter bzw. -kenndaten, der jeweiligen zulässigen Abbrandgrenzwerte der einzelnen Kontakte sowie der Nenn-Stufenspannungen jeder möglichen Schaltung, d. h. Betriebsstellung des Stufenschalters. Durch diesen ersten Verfahrensschritt erfolgt eine Initialisierung, d. h. die Anpassung an den jeweiligen Stufenschalter, dessen Kontakte überwacht werden sollen. Ein Index n wird auf Null gesetzt; das System ist damit betriebsbereit. Weiterhin wird durch eine Stellungsmeldeeinrichtung die aktuelle Stufenschalterstellung ermittelt. Erfolgt jetzt eine Betätigung des Stufenschalters durch einen Schaltimpuls, so bewegt ein entsprechender Motorantrieb den Stufenschalter je nach Drehrichtung in Richtung "höher" oder "tiefer". Bei dieser und jeder weiteren Betätigung wird der Index n um 1 erhöht. Gleichzeitig wird der Laststrom J_L gemessen. Weiterhin wird die entsprechende Nenn-Stufenspannung für die aktuelle Schaltung aus dem

nicht flüchtigen Speicher ausgelesen. Gleichzeitig wird erfasst, in welche Richtung die Schaltung erfolgte, und es wird sowohl die neue Stufenschalterstellung als auch die jeweils abschaltende Lastumschalter-Seite, deren Kontakte jeweils Lichtbogen schaltend sind, ermittelt.

[0023] Nachfolgend werden, getrennt für den Schaltkontakt und den Widerstandskontakt, die entsprechenden Schaltströme berechnet. Der Schaltstrom des Schaltkontaktes J_{SK} ergibt sich dabei nach:

$$J_{SK} = \frac{J_L}{\text{ParSek}}$$

[0024] Der Schaltstrom des Widerstandskontaktes J_{WK} ergibt sich nach:

$$J_{WK} = \frac{U_S + J_L \cdot \frac{R_{\ddot{u}}}{S_{\text{res}}}}{2 \cdot R_{\ddot{u}}}$$

[0025] In diesen Formeln bedeutet ParSek die Zahl der parallelen Sektoren des Lastumschalters, d. h. der Parallelschaltungen von einzelnen Schaltkontakten, U_S ist die jeweilige Nenn-Stufenspannung und S_{res} ist die resultierende Stromteilung. $R_{\ddot{u}}$ ist die Größe des Überschwandwiderstandes.

[0026] Nachfolgend werden die Abbrandraten berechnet. Auf verschiedene Möglichkeiten zur Berechnung dieser Abbrandraten ist weiter oben bereits eingegangen worden. In diesem in Figur 1 dargestellten Fall errechnet sich die Abbrandrate des Schaltkontaktes A_{SK} nach

$$A_{SK} = a \cdot J_{SK}^b \cdot S$$

und die Abbrandrate des Widerstandskontaktes nach

$$A_{WK} = a \cdot J_{WK}^b \cdot S$$

[0027] Dabei sind a und b die bereits erläuterten spezifischen Faktoren, s ist der ebenfalls erläuterte Sicherheitszuschlag, der hier pauschal angesetzt ist.

[0028] Nachfolgend wird der kumulierte Volumenabbrand ermittelt, d. h. es wird für Schalt- und Widerstandskontakt bei jeder Schaltung der bei dieser Schaltung rechnerisch ermittelte Abbrand zum Gesamtabbrand, der sich aus allen vorangegangenen Schaltungen ergeben hat, aufaddiert und als neuer Volumenabbrand gespeichert. Der kumulierte Volumenabbrand für den Schaltkontakt ergibt sich zu:

$$GA_{SK}^n = GA_{SK}^{n-1} + A_{SK}$$

und für den Widerstandskontakt zu

$$GA_{WK}^n = GA_{WK}^{n-1} + A_{WK}$$

[0029] Die Variable n bezeichnet dabei den bereits erläuterten Index, der bei jeder Betätigung des Stufenschalters um 1 erhöht wird. Anschließend wird aus diesem jeweils kumulierten Volumenabbrand in mm³ der Abbrand in mm Kontaktdicke berechnet. Für den Schaltkontakt ergibt sich

$$GAd_{SK}^n = \frac{GA_{SK}^n}{F} \cdot k$$

und für den Widerstandskontakt ergibt sich

$$GAd_{WK}^n = \frac{GA_{WK}^n}{F} \cdot k$$

[0030] F ist dabei die jeweilige Kontaktfläche des entsprechenden Kontaktes, k ist ein schalterspezifischer Korrekturfaktor. Die auf diese Weise berechneten Abbrandwerte repräsentieren damit den gesamten, kumulierten Abbrand des jeweiligen Kontaktes in mm, d. h. die Abweichung von der Kontaktdicke im Neuzustand.

[0031] Mit diesen Werten erfolgt schließlich ein Vergleich mit den vorab nicht flüchtig gespeicherten Grenzwerten. Dabei wird geprüft, ob ein entsprechender Prozentsatz des jeweils zulässigen Kontaktabbrandes erreicht ist bzw. ob ein gewisser Prozentsatz der zulässigen Abbrandunterschiede zwischen Schaltkontakt einerseits und Widerstandskontakt andererseits erreicht ist. In beiden Fällen können entsprechende Warnmeldungen ausgegeben werden oder es kann der Stufenschalter auch auf an sich bekannte Weise stillgesetzt werden. Im ersten Fall, wenn der zulässige Kontaktabbrand eines Kontaktes erreicht ist, ist ein Austausch notwendig. Wird eine entsprechende Warnmeldung etwa schon bei 90 % dieses Grenzwertes generiert, kann eine entsprechend Inspektion vorbereitet werden. Im zweiten Fall, wenn der zulässige Abbrandunterschied zwischen Schalt- und Widerstandskontakt überschritten ist, der Kontaktabbrand selbst aber noch nicht den Grenzwert erreicht hat, müssen die Kontakte nicht notwendigerweise gegen neue ausgetauscht werden. In solchen Fällen kann es ausreichend sein, Schalt- und Widerstandskontakt zu vertauschen.

[0032] Figur 2 zeigt ein entsprechend weiter entwickeltes weiteres erfindungsgemäßes Verfahren. Hierbei sind an das bereits an Hand Figur 1 erläuterte Verfahren weitere Verfahrensschritte angefügt, die das gesamte Verfahren lernfähig machen. Bisher wurde beschrieben, dass der Kontaktabbrand gewissen Schwankungen unterliegt, denen durch den Sicherheitszuschlag s pauschal Rechnung getragen wird. Soll nun die Genauigkeit

der Abbrandberechnung erhöht werden, so kann dies gemäß dieser weiteren Verfahrensschritte durch eine Anpassung der Abbrandrate geschehen. Hierzu werden nach einer repräsentativen Schaltzahl des Stufenschalters, z. B. nach 10.000 Schaltungen pro Kontakt, die tatsächlichen Kontaktabbrände, üblicherweise in mm Kontaktdicke, gemessen. Dies kann im Rahmen einer Routineinspektion geschehen. Aus den Messwerten wird der Volumenabbrand für jeden Kontakt ermittelt und mit dem jeweiligen errechneten Volumenabbrand dieses Kontaktes nach dem erfindungsgemäßen Verfahren verglichen. Der Quotient

$$f = \frac{\text{Volumenabbrand}_{\text{gemessen}}}{\text{kumulierter Volumenabbrand}_{\text{errechnet}}}$$

lässt sich als Korrekturfaktor in die Berechnung der Abbrandrate wie folgt einbringen:

$$\text{Abbrand} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Schaltung}} \right] = f \cdot a \cdot J^b \cdot s$$

oder anders: $A_{\text{neu}} = f \cdot A_{\text{alt}}$. Damit ergeben sich korrigierte Abbrandraten für jeden Kontakt, die nun nicht mehr ausschließlich vom Schaltstrom abhängig sind, sondern auch durch den Korrekturfaktor f bestimmt werden.

[0033] Bei jeder Inspektion werden neue Korrekturfaktoren f ermittelt und wiederum berücksichtigt; es ergibt sich folgende Rekursion:

$$A_i = f_i \cdot A_{i-1}.$$

[0034] Der Index i bezeichnet dabei die Zahl der vorgenommenen Inspektionen, d. h. Messungen des tatsächlichen Volumenabbrandes. Damit wird die Genauigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens laufend verbessert; das System ist selbstlernend.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung des Kontaktabbrandes bei Stufenschaltern mit folgenden Merkmalen:

- permanentes Speichern der Werte der jeweiligen Nenn-Stufenspannung (U_s), der Grenzwerte für den zulässigen Kontaktabbrand der Schaltkontakte und Widerstandskontakte sowie der stufenschalterspezifischen Kenngröße a, b und k,
- Ermittlung der aktuellen Stellung des Stufenschalters,

- Erhöhung eines Indexes n bei jeder Umschaltung, d. h. Betätigung des Stufenschalters, Messung des jeweiligen Wertes des Laststromes (J_L), und Auslesen des permanent gespeicherten korrespondierenden Wertes für die Nenn-Stufenspannung (U_S),
- Berechnung der Schaltströme des jeweils abschaltenden Schaltkontaktes (J_{SK}) sowie des Widerstandskontaktes (J_{WK}) mittels der Beziehungen

$$J_{SK} = \frac{J_L}{\text{ParSek}}$$

$$J_{WK} = \frac{U_S + J_L \cdot \frac{R_{\ddot{u}}}{S_{\text{res}}}}{2 \cdot R_{\ddot{u}}},$$

wobei ParSek die Zahl der parallelen Sektoren, $R_{\ddot{u}}$ die Größe des Überschaltwiderstandes und s_{res} die resultierende Stromteilung darstellen,

- Berechnung der jeweiligen Abbrandraten des Schaltkontaktes (A_{SK}) sowie des Widerstandskontaktes (A_{WK}) mittels der Beziehungen

$$A_{SK} = a \cdot J_{SK}^b$$

$$A_{WK} = a \cdot J_{WK}^b$$

- Aufsummieren der Abbrandraten (A_{SK} , A_{WK}) zum Gesamtvolumenabbrand für den Schaltkontakt (GA_{SK}^n) sowie für den Widerstandskontakt (GA_{WK}^n) mittels der Beziehungen

$$GA_{SK}^n = GA_{SK}^{n-1} + A_{SK}$$

$$GA_{WK}^n = GA_{WK}^{n-1} + A_{WK}$$

- Berechnung des jeweiligen Abbrandes in Millimeter Kontaktdicke für den Schaltkontakt (GAd_{SK}^n) sowie für den Widerstandskontakt (GAd_{WK}^n) unter Berücksichtigung der jeweiligen Kontaktfläche (F) nach den Beziehungen

$$GAd_{SK}^n = \frac{GA_{SK}^n}{F} \cdot k$$

$$GAd_{WK}^n = \frac{GA_{WK}^n}{F} \cdot k$$

- Vergleich dieser Werte (GAd_{SK}^n) und (GAd_{WK}^n) mit den permanent gespeicherten Grenzwerten und Generierung von Meldungen beim Überschreiten der Grenzwerte oder prozentualer Grenzen davon.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei aus den berechneten Schaltströmen (J_{SK} , J_{WK}) die jeweiligen Abbrandraten (A_{SK} , A_{WK}) nach den Beziehungen

$$A_{SK} = a \cdot J_{SK}^b \cdot s$$

$$A_{WK} = a \cdot J_{WK}^b \cdot s$$

ermittelt werden, wobei s ein zusätzlicher Sicherheitszuschlag ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei nach einer größeren Zahl von Schaltungen der tatsächliche Kontaktabbrand gemessen wird, daraus ein tatsächlicher Volumenabbrand errechnet wird, daraus ein Faktor f nach der Beziehung

$$\frac{\text{Volumenabbrand}_{\text{gemessen}}}{\text{kumulierter Volumenabbrand}_{\text{errechnet}}} = f$$

ermittelt und anschließend die jeweilige Abbrandrate jeweils nach der Beziehung $A_{\text{neu}} = f \cdot A_{\text{alt}}$ korrigiert wird und zukünftig die korrigierten Werte (A_{neu}) im Verfahren verwendet werden.

Verfahren 1

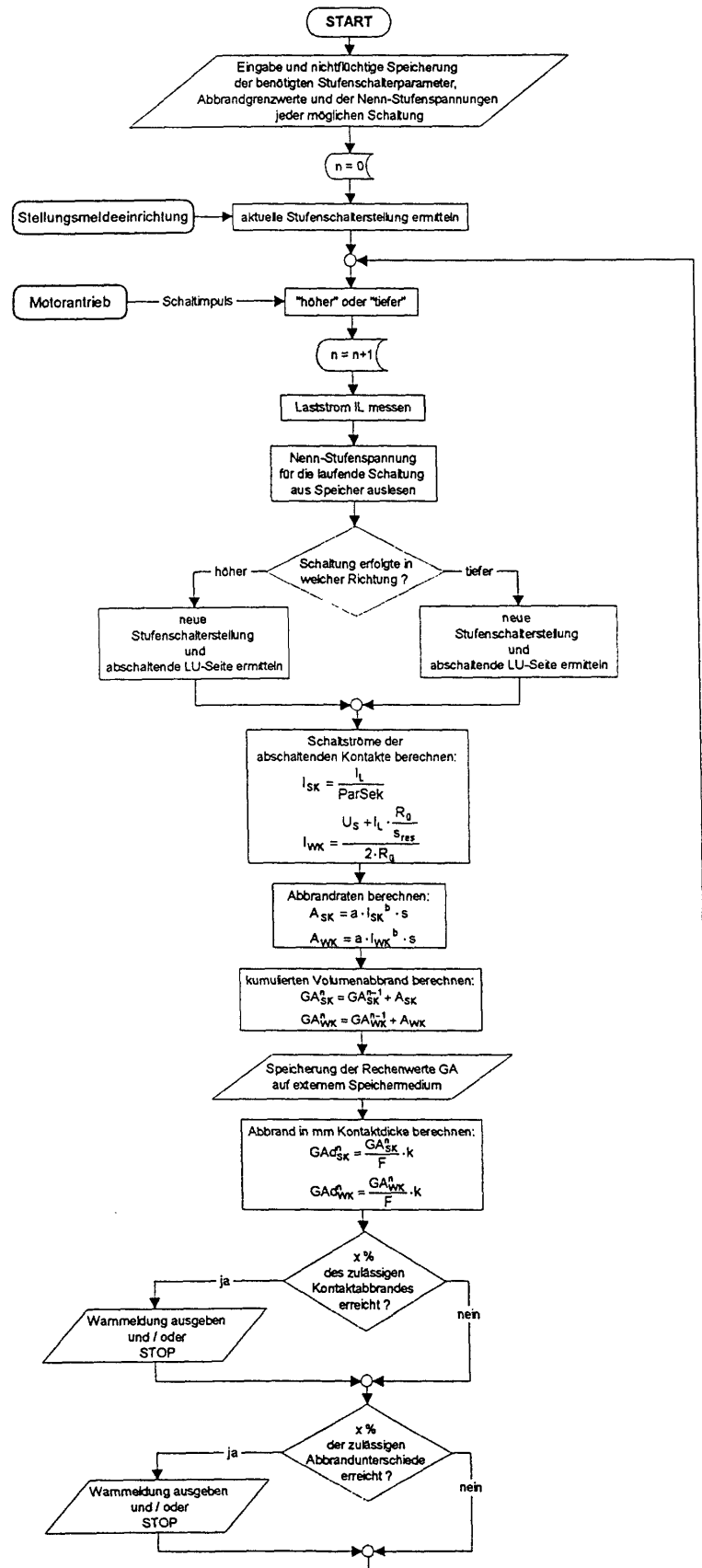


Fig. 1

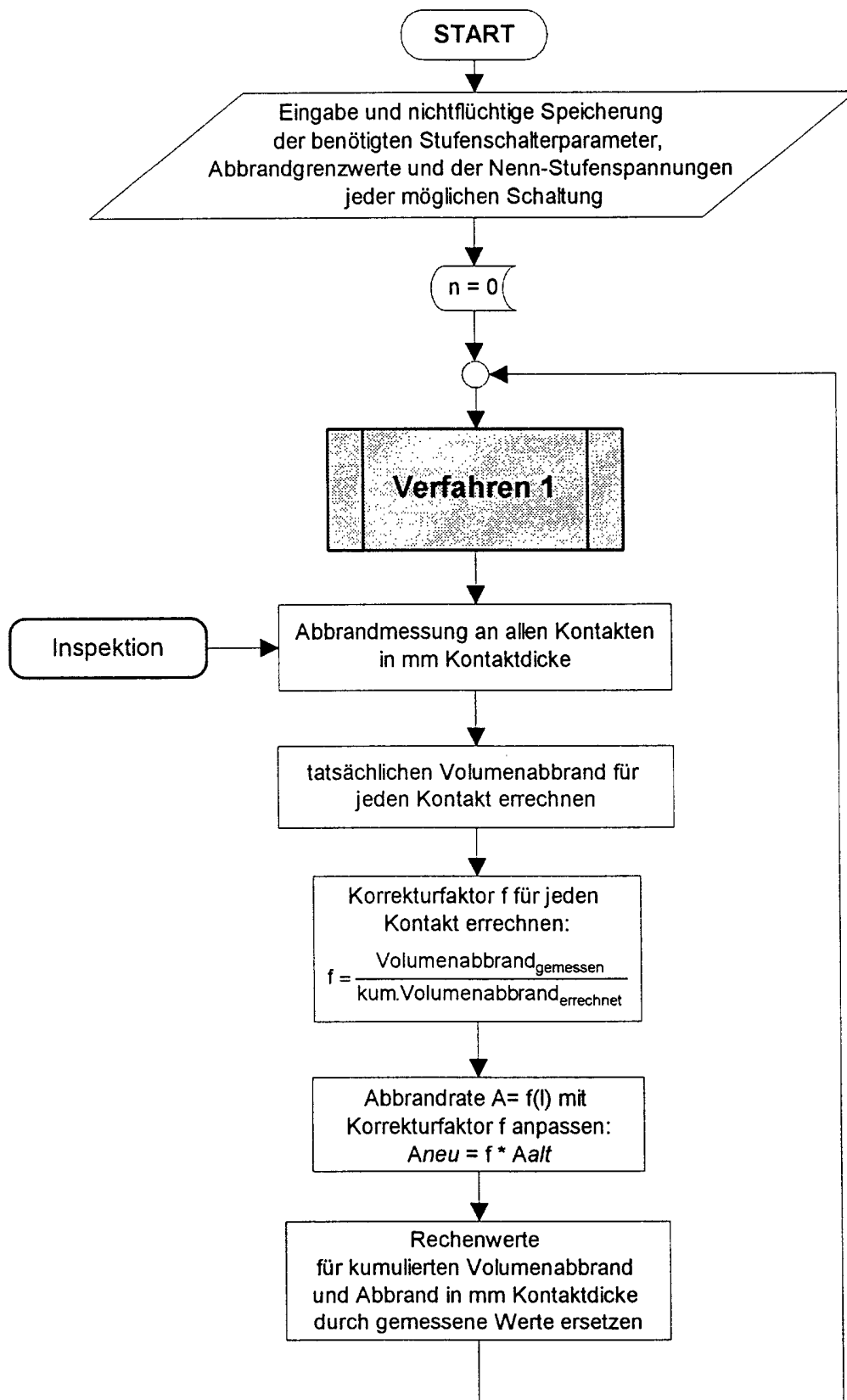


Fig. 2