

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: **A 526/2007**

(51) Int. Cl.⁸: **H02H 9/08** (2006.01)

(22) Anmeldetag: **03.04.2007**

(43) Veröffentlicht am: **15.06.2008**

(73) Patentanmelder:

TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ
A-8010 GRAZ (AT)
FORSCHUNGSOLDING TU GRAZ GMBH
A-8010 GRAZ (AT)

(72) Erfinder:

FICKERT LOTHAR
GRAZ (AT)
OBKIRCHER CLEMENS
ST. VEIT I. DEFEREGGENTAL (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM NACHSTELLEN EINER LÖSCHSPULE**

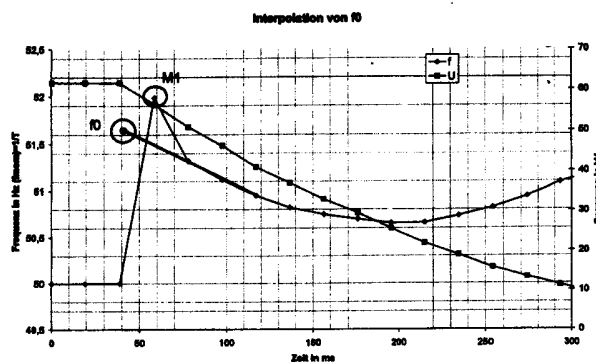
(57) Ein Verfahren zum Nachstellen einer Löschspule in erdschlusskompensiert betriebenen Wechsel/Drehstrom-Elektroenergienetzen der Betriebsfrequenz (f_0) während des Betriebes, bei welchem nach einem selbsttätig verlöschenden Erdschluss die Verlagerungsspannung während eines Zeitintervalles zu Beginn des Ausschwingvorganges erfasst und dabei aus der Zeit zwischen den Nulldurchgängen der Verlagerungsspannung eine Anzahl von Momentanfrequenzwerten ermittelt wird, aus den ermittelten Frequenzwerten auf die Frequenz (f_A) zu Beginn des Ausschwingvorganges extrapoliert wird, die zu diesem Zeitpunkt vorgelegene Verstimmung (v_A) gemäß

$$|v_A| = 1 - f_A^2 / f_0^2$$

ermittelt wird, aus der Differenz (Δv) dieses Wertes (v_A) der Verstimmung und einem für das Netz vorgebbaren Sollwertes (v_s) der Verstimmung die Löschspule um einen Stromwert

$$\Delta I = \Delta v \cdot I_{CE}$$

nachgestellt wird, wobei I_{CE} der kapazitive Erdschlussstrom bei Nennspannung ist.



ZUSAMMENFASSUNG

Ein Verfahren zum Nachstellen einer Löserspule in erdschlusskompensiert betriebenen Wechsel/Drehstrom-Elektroenergienetzen der Betriebsfrequenz (f_0) während des Betriebes, bei welchem nach einem selbsttätig verlöschenden Erdschluss die Verlagerungsspannung während eines Zeitintervalles zu Beginn des Ausschwingvorganges erfasst und dabei aus der Zeit zwischen den Nulldurchgängen der Verlagerungsspannung eine Anzahl von Momentanfrequenzwerten ermittelt wird, aus den ermittelten Frequenzwerten auf die Frequenz (f_A) zu Beginn des Ausschwingvorganges extrapoliert wird, die zu diesem Zeitpunkt vorgelegene Verstimmung (v_A) gemäß

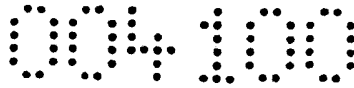
$$|v_A| = 1 - f_A^2 / f_0^2$$

ermittelt wird, aus der Differenz (Δv) dieses Wertes (v_A) der Verstimmung und einem für das Netz vorgebbaren Sollwertes (v_s) der Verstimmung die Löserspule um einen Stromwert

$$\Delta I = \Delta v * I_{CE}$$

nachgestellt wird, wobei I_{CE} der kapazitive Erdschlussstrom bei Nennspannung ist.

Fig. 5



VERFAHREN ZUM NACHSTELLEN EINER LÖSCHSPULE

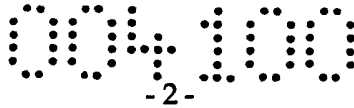
Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Nachstellen einer Löschspule in erdschlusskompensiert betriebenen Wechsel/Drehstrom-Elektroenergienetzen der Betriebsfrequenz f_0 während des Betriebes.

Im Betrieb auftretende Erdschlüsse sind abgesehen von damit verbundenen möglichen Betriebsunterbrechungen eines Netzabschnittes mit allen Folgeerscheinungen auch deshalb bedenklich, weil sie zu hohen Potentialdifferenzen in der Umgebung des Erdschlusses führen und somit eine Gefährdung für Personen und Tiere darstellen können.

Um Erdströme bei einem Erdschluss einer Phase so weit wie möglich zu kompensieren bzw. einen auf Grund eines Erdschlusses entstandenen Lichtbogen zu löschen, ist es bekannt geworden, den Sternpunkt eines Dreiphasen-Netzes über eine Induktivität, nach ihrem Erfinder auch „Petersen-Spule“ genannt, mit Erde zu verbinden. Eine solche Kompensation ist möglich, da der Strom bei einem Erdschluss weitgehend kapazitiv ist und diesem kapazitiven Strom durch die Kompensationsinduktivität ein gleich großer induktiver Strom entgegengesetzt wird. Beispielsweise ist in der WO 99/10959 ein Verfahren zum Anpassen der Kompensationsinduktivität an die Erdschlusskapazität im Sinne des Vorliegens einer Resonanzbedingung beschrieben.

Bei so genannten „Erdschlusswischern“ verlöscht der Erdschluss innerhalb kurzer Zeit von selbst, weshalb solche Fehler die Versorgungsqualität eines Netzes nicht gefährden. Dennoch werden auch die zu Erdschlusswischern gehörigen Transienten in der Regel aufgezeichnet.

Aus dem Dokument WO 99/10959 geht ein Verfahren hervor, bei welchem eine einstellbare Kompensationsimpedanz im Betrieb an die Erdimpedanz angepasst wird, um auftretende Erdströme zu minimieren. Ausgangspunkt dieses Verfahrens sind bei Schaltvorgängen oder Erdschlüssen auftretende Transienten, aus welchen eine Gesamt-Erdkapazität bestimmt wird. Sodann wird der Wert einer Gesamt-Erdinduktivität ermittelt, die einen Blindwiderstand darstellt, dessen Absolutwert jenem des von der Gesamt-Erdkapazität bei einer Nominalfrequenz entspricht. Die Gesamt-Erdkapazität wird hier durch Auswertung des Ausschwingvorganges nach einer Netzabschaltung ermittelt und die Induktivität der Löschspule wird bei diesem Verfahren so eingestellt, dass die Gesamt-Erdinduktivität dem ermittelten Wert der Gesamt-Erdinduktivität entspricht.



Ein anderes Verfahren zur automatischen Einstellung von Erdschlussspule ist aus der DE 36 43 391 A1 bekannt geworden. Bei diesem Verfahren wird die Sternpunkt-Spannung ständig gemessen und falls sie von einem vorgebbaren Wert abweicht, beginnt ein Einstellzyklus, bei dem die Induktivität der Löserspule geändert, bis eine einem Resonanzwert entsprechende Spannung gemessen wird. Die Differenzen der Spannungen vor und nach der Messung werden gespeichert und auf einem Vergleich von Differenzen basierend wird die Verstellrichtung der Löserspule, die als Tauchkernspule ausgebildet sein kann, festgestellt.

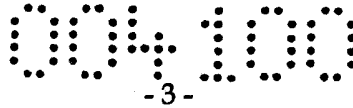
Es zeigt sich in der Praxis, dass die Einstellung der Kompensationsspulen im Sinne einer Resonanzbedingung in gewissen Fällen nicht optimal ist und vor allem nicht den realen Bedingungen entspricht, vor allem, wenn die Einstellung bei abgeschalteten Netzabschnitten durchgeführt wird.

Eine Aufgabe der Erfindung liegt darin, im Sinne einer möglichst hohen Netzsicherheit eine verbesserte Einstellung der Kompensationsspule anzugeben.

Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren der eingangs angegebenen Art gelöst, bei welchem erfindungsgemäß nach einem selbsttätig verlöschenden Erdschluss die Verlagerungsspannung während eines Zeitintervalles zu Beginn des Ausschwingvorganges erfasst und dabei aus der Zeit zwischen den Nulldurchgängen der Verlagerungsspannung eine Anzahl von Momentanfrequenzwerten ermittelt wird, aus den ermittelten Frequenzwerten auf die Frequenz (f_A) zu Beginn des Ausschwingvorganges extrapoliert wird, die zu diesem Zeitpunkt vorgelegene Verstimmung (v_A) gemäß $|v_A| = 1 - f_A^2 / f_0^2$ ermittelt wird, aus der Differenz (Δv) dieses Wertes (v_A) der Verstimmung und einem für das Netz vorgebbaren Sollwertes (v_s) der Verstimmung die Löserspule um einen Stromwert $\Delta I = \Delta v * I_{CE}$ nachgestellt wird, wobei I_{CE} der kapazitive Erdschlussstrom bei Nennspannung ist.

Dank der Erfindung kann eine verbesserte Anpassung der Löserspule an die realen Netzgegebenheiten unter Berücksichtigung von spannungsgesteuerten Sättigungseffekten erfolgen, ohne dass eine Netzabschaltung erforderlich wäre, und das Netz kann besser ausgenutzt werden.

Es ist zweckmäßig, wenn der Frequenzmesswert aus ~~dem~~ der ersten Halbperiode zwischen Nulldurchgängen verworfen wird, da die Erfahrung gezeigt hat, dass der erste Frequenzmesswert unzuverlässig ist.



Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Frequenzwerte aus zwei bis vier Halbperioden zwischen Nulldurchgängen ermittelt werden, da auf diese Weise eine gute Extrapolation auf die Frequenz zu Beginn des transienten Vorgangs möglich ist.

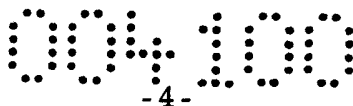
Bei einer zweckmäßigen Variante der Erfindung ist vorgesehen, dass nach jedem selbsttätig erlöschenden Erdschluss die Frequenz extrapoliert und die Löschspule nachgestellt wird. Dadurch wird eine optimale Aktualisierung auf den Netzzustand erreicht.

In anderen Fällen kann es sich aber empfehlen, wenn die extrapolierten Frequenzen (f_A) für mehrere, selbsttätig erlöschende Erdschlüsse ermittelt und aufgezeichnet werden und für das Nachstellen der Löschspule ein Mittelwert dieser Frequenzen herangezogen wird. Eine solche Variante ist für Netze mit hoher Häufigkeit selbsttätig erlöschender Erdschlüsse empfehlenswert.

Die Erfindung samt weiterer Vorteile ist im Folgenden an Hand beispielsweise Ausführungsformen näher erläutert, die in der Zeichnung veranschaulicht sind. In dieser zeigen

- Fig. 1 in schematischer Darstellung einen Teil eines Elektroenergienetzes mit einer Kompensationsimpedanz bei einem Transformator-Sternpunkt,
- Fig. 2 in Zeigerdiagrammen die Bildung der Verlagerungsspannung bei Auftreten eines Erdschlusses,
- Fig. 3 in einem Diagramm den zeitlichen Verlauf von Spannung und Frequenz während eines Ausschwingvorganges,
- Fig. 4 den zeitlichen Verlauf der Induktivität einer Kompensationsspule während eines Ausschwingvorganges,
- Fig. 5 in einem Diagramm ähnlich Fig. 3 die Extrapolation der Frequenz auf den Beginn des Ausschwingvorganges und
- Fig. 6 an Hand eines Blockschaltbildes die erfindungsgemäße Einstellung einer Kompensationsspule.

Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze eines 3-Phasen-Elektroenergienetzes, bei welchem über einen Transformator TRA mit Primärwicklungen PWI und Sekundärwicklungen SEW ein Netzabschnitt NAB angespeist wird. Diesem Abschnitt haften im Ersatzschaltbild Induktivitäten L_R , L_S , L_T , Kapazitäten C_{R1} , C_{S1} , C_{T1} , C_{R2} , C_{S2} , C_{T2} sowie Widerstände R_R , R_S , R_T an. Mit Hilfe eines so genannten Distanzschutzgerätes DSG wird der auf den Transformator TRA folgende Leitungsabschnitt NAB auf Fehler überwacht. Insbesondere werden mit Hilfe eines Satzes



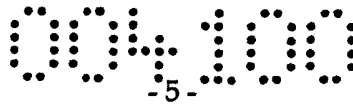
STW bzw. SPW von Strom- und Spannungswandlern in jeder Phase Strom und Spannung gemessen und überwacht.

Der Transformatorsternpunkt STP ist in bekannter Weise über eine Kompensationsspule KIP, wie erwähnt meist „Petersenspule“ genannt, mit Erde verbunden. Die tatsächliche Impedanz der Petersenspule kann z.B. durch Ändern der angeschalteten Anzahl ihrer Windungen oder durch Verstellen eines Tauchkerns eingestellt werden, was mit Hilfe eines Motors MOT erfolgen kann, wie z.B. in der bereits genannten DE 36 43 391 A1 erläutert, wobei der Motor seinerseits von einem Distanzschutzgerät oder einer übergeordneten Datenverarbeitungsstelle DVS bzw. einem Mikroprozessor angesteuert ist. Gegebenenfalls kann über einen gesteuerten Schalter SWI der Impedanz KIP eine Zusatzimpedanz ZIP, hier ein ohmscher Widerstand, parallel geschaltet werden. Die Spannung an dem Sternpunkt wird gleichfalls gemessen und dem Distanzschutzgerät zur Verfügung gestellt.

Der Netz- oder Leitungsabschnitt NAB kann von dem Rest des Netzes beidseitig durch Schalteinrichtungen SEA, SEB getrennt werden. Diese Schalteinrichtungen können ausgehend von der Auswertung der Messung abgeschaltet werden, was durch von dem Distanzschutzgerät DSG zu den Schalteinrichtungen führende Leitungen angedeutet ist. Auch kann die übergeordnete Datenverarbeitungsstelle die Messergebnisse bewerten und an Hand von zusätzlichen Kriterien entscheiden, ob und welche Streckenabschnitte abgeschaltet werden sollen.

Tritt an einer durch ein Blitzsymbol ERD angedeuteten Fehlerstelle ein Erdschluss, beispielsweise in der Phase T, auf, so ergibt sich an der Messstelle eine Verlagerungsspannung V_0 , die geringer als die Verlagerungsspannung an der Fehlerstelle ist. Die Phasenspannungen V_{SE} und V_{RE} erhöhen sich bis auf die verkettete Spannung. Dies ist in den beiden Diagrammen a und b der Fig. 2 gezeigt.

Die Erfindung geht nun von den folgenden Überlegungen aus: Die Petersenspulen werden im Normalbetrieb eingestellt, was bedeutet, dass entsprechend der auftretenden Verlagerungsspannung eingestellt wird, der weit unter dem Spannungswert liegt, der im echten Fehlerfall an der Spule auftritt. Es hat sich aber gezeigt, dass der kleinste Erdschlussreststrom (Fehlerstrom) bei echten Fehlern, bei welchen an der Spule die volle Verlagerungsspannung anliegt, nicht bei diesem Resonanzabstimmungsverfahren erreicht wird. Dies wiederum bedeutet, dass jene Kurve, welche die Abhängigkeit des Erdschlussreststroms von der Verstellung der Petersenspulen und die Resonanzkurve, welche die Abhängigkeit der Verlagerungsspannung bei Verstellung der Petersenspulen im fehlerfreien Betrieb zeigt, ihre Maxima nicht an denselben Stellen erreichen. Die Einstellungen der Petersenspulen sind



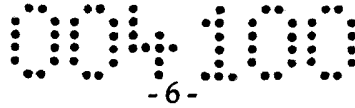
somit nicht auf den Fehlerfall optimiert und die tatsächlich auftretenden Fehlerströme können im Falle von Sättigungserscheinungen die berechneten Stromwerte übersteigen. Dies ist vor allem dann ein Problem, wenn das betrachtete Netz bereits an den Grenzen angelangt ist, d.h. der Erdschlussreststrom liegt über der Löschgrenze, die man, ohne es zu wissen, überschreitet.

Aufgrund seitens der Anmelderin durchgeführter Messungen und deren Auswertungen ist damit zu rechnen, dass die Fehlkompensation der Löschspulen ca. 10 bis 30 A betragen kann, in Einzelfällen auch deutlich mehr. Die eingestellten Verstimmungen (Abweichungen von Vollresonanz) betragen in der Regel wenige Prozent, z.B. 2 bis 6 %, und die Fehlkompensation, die aufgrund von Sättigungseffekten auftreten kann, liegen im selben Bereich. So entspricht in einem 800 A Netz Fehlkompensation von 30 A einer Verstimmung von 3,75 %. Die erwähnten Sättigungseffekte haben ihre Ursache meist in einer zu knappen Bemessung des Eisenkreises der Löschspulen –dem Bestreben entsprungen, Material und Kosten zu sparen.

Im folgenden ist an Hand der Fig. 3 bis 5 gezeigt, wie sich die Frequenz und die Spannung bzw. die Induktivität der Löschspule bei tatsächlich gemessenen Ausschwingvorgängen ändern, welche ihre Ursache in „Erdschlusswischern“, somit selbst verlöschenden Erdschlüssen haben. Solche Erdschlüsse führen nicht zu Abschaltungen und stören den Betrieb des Netze im Prinzip nicht. Die Häufigkeit von Erdschlusswischern liegt bei länger beobachteten Netzen typisch bei ca. 90 Vorgängen pro Jahr.

Im zunächst ungestörten Betrieb des Netzes liegt die nominale Netzfrequenz f_0 vor, nämlich hier 50 Hz, entsprechend den ersten 40 ms im Diagramm der Fig. 5. Wenn nun ein selbst verlöschender Erdschluss und in der Folge ein Ausschwingvorgang auftritt, sinkt die Verlagerungsspannung hin und herpendelnd im wesentlich exponentiell ab, im vorliegenden Messbeispiel innerhalb von ca. 1000 ms von ca. 60 kV gegen 12 kV.

Die zu Beginn hohe Spannung führt aber wegen des nicht linearen Verhaltens der Löschspule – Sättigung des Eisenkerns – zu dem beispielsweise dargestellten Frequenzverlauf. Die Frequenz liegt zu Beginn des transienten Vorgangs deutlich über der Nominalfrequenz und sinkt während 100 ms von über 51,5 Hz auf ca. 51 Hz, bleibt dann 250 ms auf diesem Wert, um dann wieder stark anzusteigen, nämlich auf über 52,2 Hz. Schließlich sinkt die Frequenz wieder bis auf die Netzfrequenz von 50 Hz. Die Frequenzänderung während des Ausschwingens ist letztlich auf die Änderung der Induktivität der nichtlinearen Löschspule zurückzuführen. Diese Änderung ist aus Fig. 4 ersichtlich, welche in ihrem Zeitmaßstab der Fig. 3 zuzuordnen ist.



Die Darstellung der Abhängigkeit von Spannung und Frequenz nach Fig. 5 entspricht jener nach Fig. 3, doch ist er Zeitmaßstab der Fig. 5 gedehnter. Es soll betont werden, dass die Diagramme von Messungen in einem bestimmten realen Netz stammen und für andere Netze und andere Löschspulen auch einen anderen Verlauf des Ausschwingvorganges zeigen können.

Die Erfindung sieht nun vor, dass nach einem selbsttätig erlöschenden Erdschluss die Verlagerungsspannung während des ersten Zeitintervalles zu Beginn des Ausschwingvorganges erfasst und dabei aus der Zeit zwischen den Nulldurchgängen der Verlagerungsspannung eine Anzahl von Momentanfrequenzwerten ermittelt wird. Natürlich wird die Verlagerungsspannung ständig gemessen und in Distanzschutzgeräten gespeichert bzw. ausgewertet. Für die Erfindung ist jener erste Zeitabschnitt wichtig, in welchem die Frequenz sinkt, im Beispiel etwa 100 ms.

Zu einem Zeitpunkt M1 wird das Ende des Erdschlusswischers erkannt und die nun erfolgende Messung bzw. Bestimmung der Momentanfrequenzen geht von der Messung der Zeiten zwischen aufeinander folgenden Nulldurchgängen aus. Es wird die Zeitdauer der Halbperioden gemessen. Die Messung der ersten Halbperiode wird in der Praxis verworfen, da sie sich als häufig unzuverlässig erwiesen hat. In der Praxis werden die Frequenzwerte aus zwei bis vier Halbperioden zwischen Nulldurchgängen ermittelt und aus diesen Frequenzwerten wird auf die Frequenz f_A zu Beginn des Ausschwingvorganges extrapoliert, somit auf einen Zeitpunkt vor dem Beginn M1 der eigentlichen Messung. Die Messdauer hängt in der Praxis von der Dämpfung des Ausschwingvorganges ab, bei geringer Dämpfung können mehr Nulldurchgänge erfasst werden.

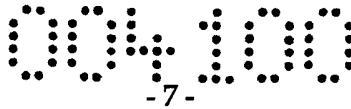
Nun wird die zu diesem Zeitpunkt vorgelegene Verstimmung v_A gemäß

$$|v_A| = 1 - f_A^2 / f_0^2$$

bestimmt und aus der Differenz Δv dieses Wertes v_A der Verstimmung und einem für das Netz vorgebbaren Sollwertes v_s der Verstimmung wird die Löschspule KIP um einen Stromwert

$$\Delta I = \Delta v * I_{CE}$$

nachgestellt, wobei I_{CE} der kapazitive Erdschlussstrom bei Nennspannung ist.



Hier sei angemerkt, dass tatsächlich die Impedanz der Löschspule geändert wird, in der Praxis jedoch ein Stromwert angegeben wird, auf welchen die Löschspule – meist mit Hilfe des bereits genannten Motors – eingestellt wird, entweder durch Verschieben eines Tauchkerns oder durch Änderung der Windungszahl einer Spule mit Anzapfungen.

Es ist möglich, nach jedem selbsttätig erlöschenden Erdschluss auf die ~~die~~ Frequenz f_A zu extrapolieren und die Löschspule entsprechend nachzustellen. Man kann aber auch die extrapolierten Frequenzen f_A bzw. $f_{A1}, f_{A2}, \dots, f_{An}$ für mehrere, selbsttätig erlöschende Erdschlüsse ermitteln und abspeichern und für das Nachstellen der Löschspule einen Mittelwert dieser Frequenzen heran ~~zz~~ ziehen. Diese Vorgänge können in einem geeigneten Gerät, z.B. Spannungsregler, Distanzschutzgerät etc. und/oder einer übergeordneten Datenverarbeitungsstelle durchgeführt werden. Selbstverständlich lassen sich dafür geeignete Mikrocomputer einsetzen. Wenngleich die Dämpfung für die Verstellung der Löschspulen keine unmittelbare Bedeutung hat, wird die Dämpfung zweckmäßigerweise im Zuge des erfindungsgemäßen Verfahrens als zusätzliche Informationen mit bestimmt, da sich aus ihr die ohmschen Anteile des Systems bestimmen lassen.

Da ein Nachstellen der Löschspulen relativ selten erforderlich ist, kann dies durch eine Bedienungsperson erfolgen, welche den Stromwert ΔI an einem Instrument, Bildschirm oder Ausdruck abliest und sodann die Spule nachstellt. Eine Bedienungsperson kann den vorgegeben Stromwert auch auf seine Plausibilität überprüfen. Andererseits kann das Nachstellen der Löschspule auch automatisiert erfolgen, wobei auch in diesem Fall nicht plausible Vorgabewerte verworfen werden können.

Die Darstellung der Fig. 6 fasst in einer Blockdarstellung nochmals das Verfahren nach der Erfindung zusammen bzw. stellt den Bezug zu einer entsprechenden Einrichtung her. Die Verlagerungsspannung wird gemessen, die Messwerte werden abgespeichert und sodann ausgewertet, nämlich im Sinne der Bestimmung von z.B. zwei Frequenzwerten zu Beginn des Ausschwingens, die Extrapolation auf f_A wird durchgeführt, Verstimmung v und ΔI werden als neue Spulenparameter bestimmt und dem Spulensteller zugeführt, der dann die Spule verstellt (automatisch oder händisch). Ob zwei, drei vier oder auch mehr der ersten Halbperioden zur Frequenzbestimmung verwendet werden, hängt von den Besonderheiten des Netzes und z.B. der Dämpfung der Ausschwingvorgänge ab.

Wien, den 03. April 2007



ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Nachstellen einer Löschspule in erdschlusskompensiert betriebenen Wechsel/Drehstrom-Elektroenergienetzen der Betriebsfrequenz (f_0) während des Betriebes,

dadurch gekennzeichnet, dass

nach einem selbsttätig verlöschenden Erdschluss die Verlagerungsspannung während eines Zeitintervalles zu Beginn des Ausschwingvorganges erfasst und dabei aus der Zeit zwischen den Nulldurchgängen der Verlagerungsspannung eine Anzahl von Momentanfrequenzwerten ermittelt wird,

aus den ermittelten Frequenzwerten auf die Frequenz (f_A) zu Beginn des Ausschwingvorganges extrapoliert wird,

die zu diesem Zeitpunkt vorgelegene Verstimmung (v_A) gemäß

$$|v_A| = 1 - f_A^2 / f_0^2$$

ermittelt wird,

aus der Differenz (Δv) dieses Wertes (v_A) der Verstimmung und einem für das Netz vorgebbaren Sollwertes (v_s) der Verstimmung die Löschspule um einen Stromwert

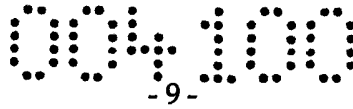
$$\Delta I = \Delta v * I_{CE}$$

nachgestellt wird, wobei

I_{CE} der kapazitive Erdschlussstrom bei Nennspannung ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Frequenzmesswert aus der ersten Halbperiode zwischen Nulldurchgängen verworfen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Frequenzwerte aus zwei bis vier Halbperioden zwischen Nulldurchgängen ermittelt werden.



4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach jedem selbsttätig erlöschenden Erdschluss die Frequenz extrapoliert und die Löserspule nachgestellt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die extrapolierten Frequenzen (f_A) für mehrere, selbsttätig erlöschende Erdschlüsse ermittelt und aufgezeichnet werden und für das Nachstellen der Löserspule ein Mittelwert dieser Frequenzen herangezogen wird.

Wien, den 03. April 2007

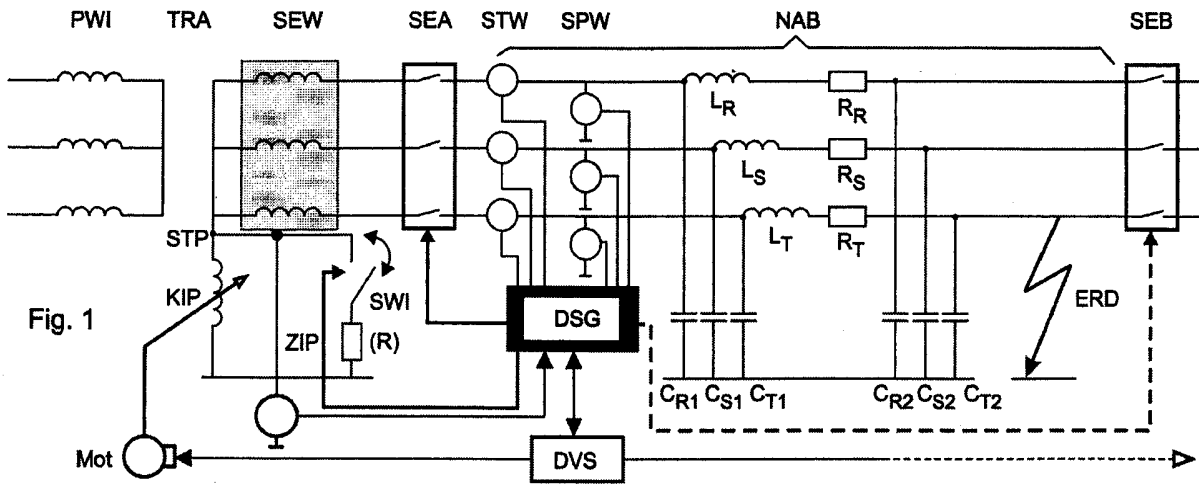


Fig. 1

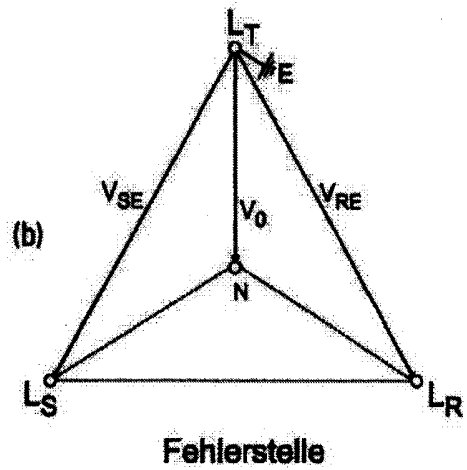
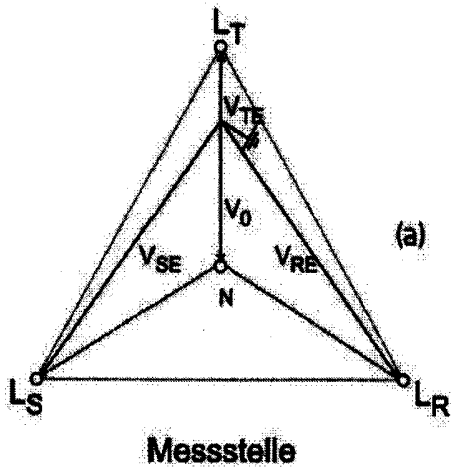


Fig. 2

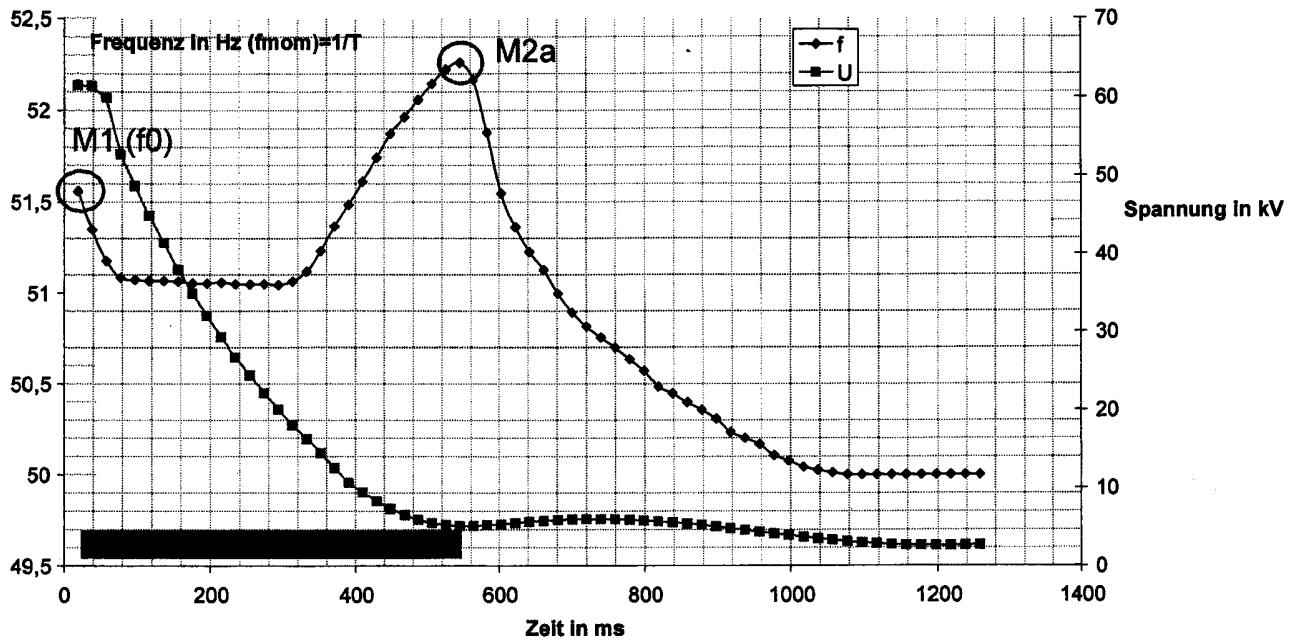


Fig. 3

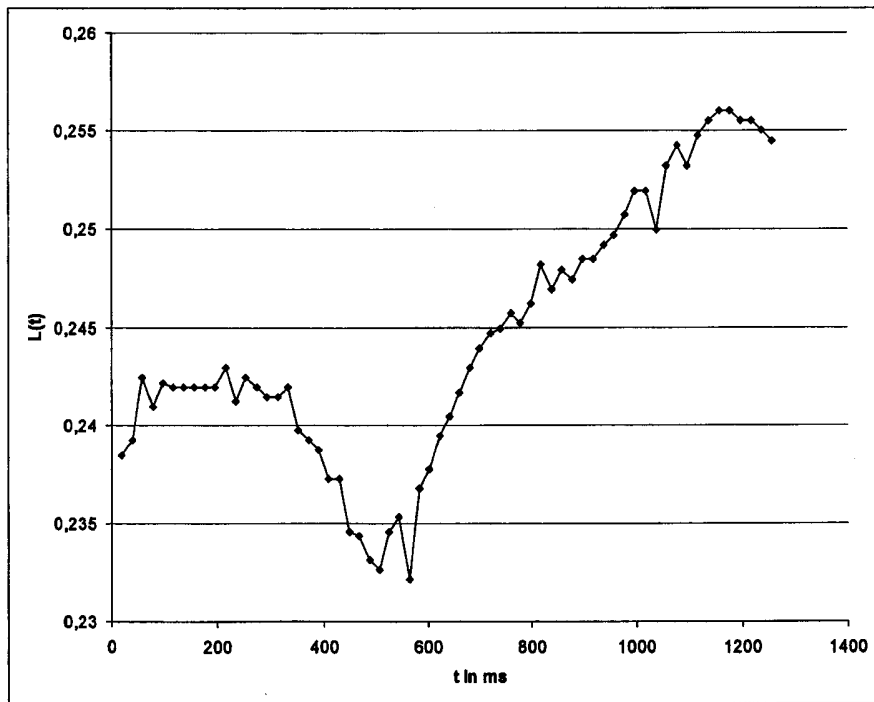


Fig. 4

Interpolation von f_0

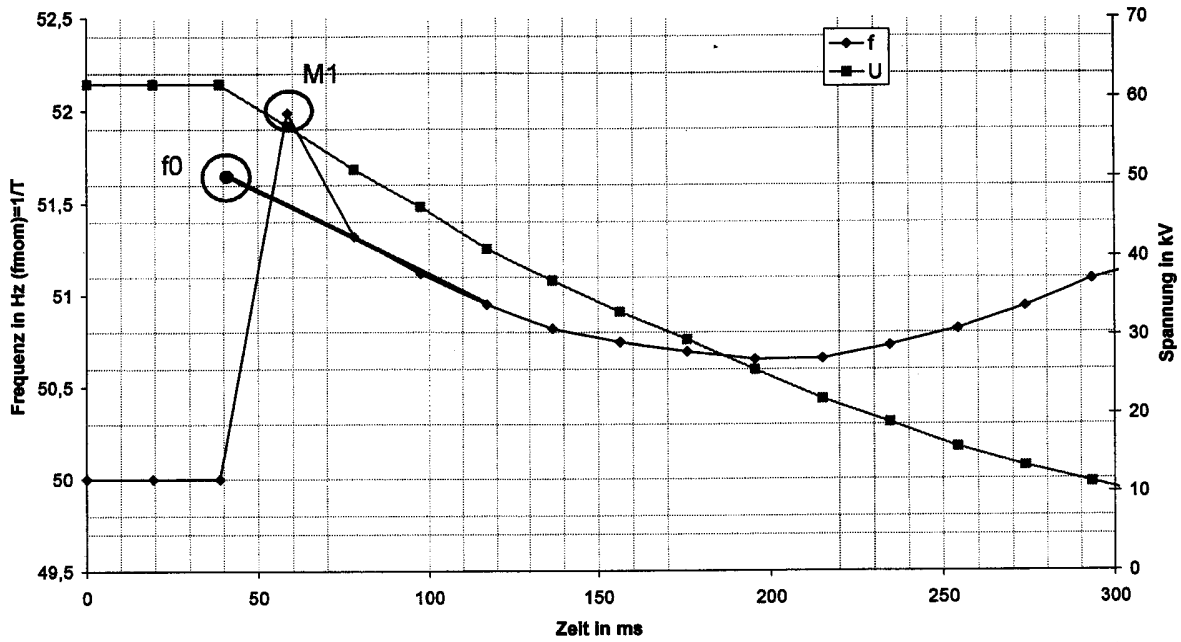


Fig. 5

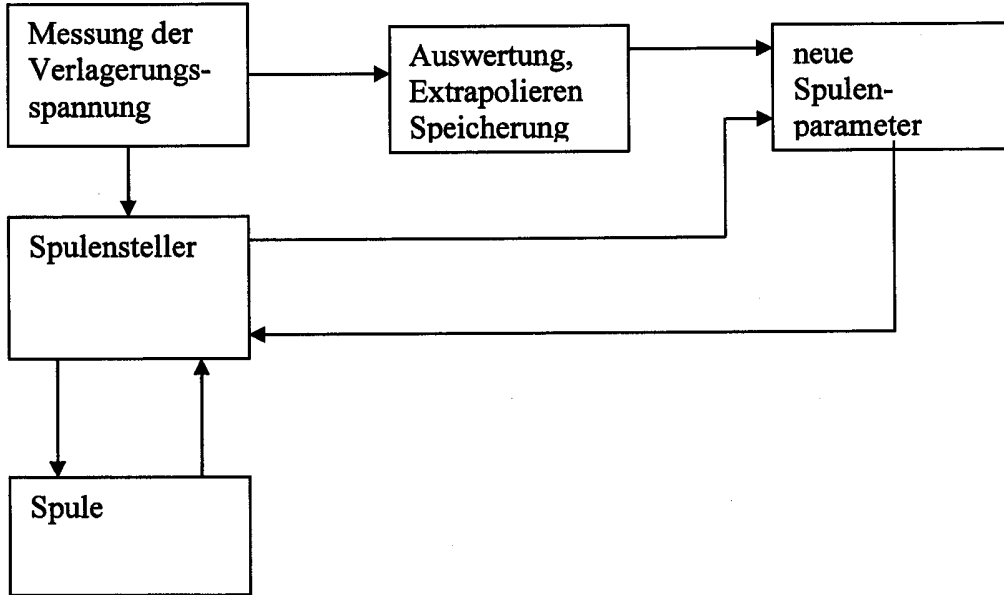


Fig. 6