

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Februar 2002 (21.02.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/15355 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H02H 1/00**, G01R 31/08
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/09056
- (22) Internationales Anmeldedatum:
6. August 2001 (06.08.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
A 1397/00 11. August 2000 (11.08.2000) AT
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ADAPTIVE REGELSYSTEME GESELLSCHAFT M.B.H.** [AT/AT]; Jakob Haringer Strasse 5A, A-5020 Salzburg (AT).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LEIKERMOSER, Albert** [AT/AT]; Eduard Kuhnstrasse 9, A-5020 Salzburg (AT).
- (74) Anwalt: **VA TECH PATENTE GMBH**; Penzinger Strasse 76, A-1141 Wien (AT).
- (81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR IDENTIFYING AND LOCALISING HIGH-OHM, SINGLE-POLE EARTH FAULTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERKENNUNG UND ORTUNG VON HOCHOHMIGEN EINPOLIGEN ERDFEHLERN

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for carrying out the latter, for selectively identifying and localising high-ohm, single-pole earth faults in neutral-point compensated electric supply networks. According to the invention, at least one auxiliary signal with the network frequency ω_N is supplied to the zero current system of the network. The auxiliary signal is supplied in such a specific way, that the neutral-point biasing voltage $U_{ne}(\omega_N)$ is substantially compensated at the network frequency ω_N . The identification and localisation of high-ohm, single-pole earth faults is thus carried out at a compensated neutral-point biasing voltage $U_{ne}(\omega_N)$. The invention also relates to a method, according to which the earth-fault neutraliser can be tuned to the supply network even at a compensated neutral-point biasing voltage $U_{ne}(\omega_N)$.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung beschreibt ein Verfahren, und eine Vorrichtung zum Ausführen des Verfahrens, zur selektiven Erkennung und Ortung von hochohmigen einpoligen Erdfehlern in sternpunktcompensierten elektrischen Versorgungsnetzen, bei dem in das Nullsystem des Netzes zumindest ein Hilfssignal mit der Netzfrequenz ω_N eingespeist wird. Das Hilfssignal wird dabei speziell so eingespeist, dass dadurch die Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ bei Netzfrequenz ω_N im Wesentlichen kompensiert wird. Die Erkennung und Ortung von hochohmigen einpoligen Erdfehlern erfolgt somit bei kompensierter Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$. Weiters wird ein Verfahren beschrieben, mit dem auch die Abstimmung der Löserspule auf das Versorgungsnetz auch bei kompensierter Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ sichergestellt werden kann.



WO 02/15355 A2

Verfahren und Vorrichtung zur Erkennung und Ortung von hochohmigen einpoligen Erdfehlern

- Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur selektiven Erkennung und Ortung von
- 5 hochohmigen einpoligen Erdfehlern in sternpunktkompensierten elektrischen Versorgungsnetzen, bei dem in das Nullsystem des Netzes zumindest ein Hilfssignal mit der Netzfrequenz ω_N eingespeist wird, sowie eine aus einem Signalgenerator zur Erzeugung zumindest eines Hilfssignals mit der Netzfrequenz ω_N und einer Regeleinheit zum Erkennen und Orten von einpoligen Erdfehlern bestehende Einrichtung zum Ausführen des Verfahrens.
- 10 Die Erfindung stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren und eine zugehörige Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen mit dem es möglich ist, sehr hochohmige, einpolige Erdfehler sicher und zuverlässig zu erkennen und zu orten.

- Die Aufgabe ist für das Verfahren dadurch gelöst, dass das Hilfssignal so eingespeist wird, dass dadurch die Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ bei Netzfrequenz ω_N , also
- 15 die Spannung zwischen dem Sternpunkt des Speisetransformators des Netzes bzw. der Löschspule und der Erde, im Wesentlichen kompensiert wird und dass Erdfehler bei durch das Hilfssignal kompensierter Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ erkannt und geortet werden. Für die Vorrichtung ist die oben gestellte Aufgabe dadurch gelöst, dass ein Element des Netzes, beispielsweise die Löschspule, vorzugsweise eine Tauchkernspule, mit
- 20 diesem Hilfssignal beaufschlagbar ist und dass der Signalgenerator zur Kompensation der Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ mittels des erzeugten Hilfssignals vorgesehen ist.

- Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zum ersten Mal die Sternpunkt-Verlagerungsspannung bezüglich des netzfrequenten Anteils zur Erkennung und Ortung von
- 25 Erdfehlern zu Null kompensiert, womit im Nullsystem die in Versorgungsnetzen eigentlich nicht erwünschte Sternpunkt-Verlagerungsspannung verschwindet. Darüber hinaus können durch diese Kompensation auch sehr hochohmige Erdfehler mit sehr einfachen Mitteln, sehr selektiv und zuverlässig geortet werden, da im Fall von hochohmigen einpoligen Erdfehlern bei kompensierter Sternpunkt-Verlagerungsspannung gleichzeitig der zu ortende
- 30 Fehlerstrom erhöht wird und somit die Selektivität und Sicherheit der Ortung verbessert wird.

Für den Betrieb eines elektrischen Versorgungsnetzes ist es sehr vorteilhaft keine Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ bei Netzfrequenz zu haben. Dies wird

erfindungsgemäß erreicht, indem das beispielsweise in Form eines Stromes eingespeiste Hilfssignal bei Netzfrequenz $i_{vC}(\omega_N)$ durch eine Regeleinheit in Betrag und Phase so gesteuert wird, dass die Summe aus diesem eingespeisten Hilfssignal und dem natürlichen Verlagerungsstrom, also der Summe der Unsymmetrieströme aller Abzweige oder

5 Leitungsabschnitte des Netzes, im Wesentlichen gleich Null wird. Durch eine derartige Einspeisung eines solchen Hilfssignales erreicht man durch die Kompensation der Unsymmetrieströme des Gesamtnetzes in Folge natürlich eine Kompensation der Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$. Diese wird bezüglich der Netzfrequenzanteile also Null.

10 Für das Verfahren ist es sehr vorteilhaft, dass durch Messen des eingespeisten Stromes bei Netzfrequenz $i_{vC}(\omega_N)$ im eingeregelteten Zustand, also bei $i_{vC}(\omega_N) + i_{vS}(\omega_N) = 0$, indirekt der natürliche Verlagerungsstrom $i_{vS}(\omega_N)$, also die Summe der Unsymmetrieströme aller Abzweige oder Leitungsabschnitte des Netzes, gemessen wird und dass mit diesem gemessenen Strom $i_{vC}(\omega_N)$ ein Erdfehler im Gesamtnetz erkannt wird. Dadurch kann ein

15 Erdfehler erkannt und angezeigt werden, wenn der Messwert des einzuspeisenden Stromes bei Netzfrequenz $i_{vC}(\omega_N)$, vorzugsweise die Amplitude, der Betrag oder der Effektivwert, stark ansteigt und eine vordefinierte Fehlerschwelle überschreitet. Alternativ dazu kann ein Erdfehler erkannt und angezeigt werden, wenn der Betrag der komplexen Differenz zweier zeitlich aufeinanderfolgender Messungen des einzuspeisenden Stromes bei Netzfrequenz

20 $i_{vC}(\omega_N)$ (jeweils im eingeregelteten Zustand) stark ansteigt und eine vordefinierte Fehlerschwelle überschreitet. Beide Möglichkeiten können mit sehr einfachen Mitteln umgesetzt werden und bieten eine sehr zuverlässige Erkennung von Erdfehlern.

Damit kann in weiterer Folge auch sehr einfach der fehlerhafte Abzweig oder Leitungsabschnitt des Netzes gefunden werden, da durch Messen des Nullstromes $i_0^{(k)}(\omega_N)$

25 im eingeregelteten Zustand, also bei $U_{ne}(\omega_N) = 0$, von jedem Abzweig oder Leitungsabschnitt k des Netzes bei Netzfrequenz ω_N direkt die Summe aus dem natürlichen Verlagerungsstrom $i_v^{(k)}(\omega_N)$ und einem eventuell vorhandenen Fehlerstrom des jeweiligen k -ten Abzweiges oder Leitungsabschnittes bei Netzfrequenz gemessen wird und diese Nullströme $i_0^{(k)}(\omega_N)$ zur Bestimmung des fehlerhaften Abzweiges oder Leitungsabschnittes

30 des Netzes und/oder der fehlerhaften Stelle innerhalb dieses Abzweiges oder Leitungsabschnittes herangezogen werden können. Ein sehr einfaches Verfahren ergibt sich, wenn für einen (am besten für jeden) Abzweig oder Leitungsabschnitt f der zugehörige

Nullstrom $i_0^{(f)}(\omega_N)$, vorzugsweise die Amplitude, der Betrag oder der Effektivwert, mit einer vordefinierten Fehlerschwelle verglichen und als fehlerhaft erkannt und angezeigt wird, wenn der Betrag des komplexen Nullstromvektors $i_0^{(f)}(\omega_N)$ diese Fehlerschwelle für eine vordefinierte Zeit überschreitet. Eine mögliche Alternative ergibt sich, wenn für einen (am besten für jeden) Abzweig oder Leitungsabschnitt f von zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Messungen des zugehörigen Nullstromes $i_0^{(f)}(\omega_N)$ (jeweils im eingeregelteten Zustand) die komplexe Differenz gebildet, der Betrag dieser Differenz mit einer vordefinierten Fehlerschwelle verglichen und ein fehlerhafter Abzweig oder Leitungsabschnitt erkannt und angezeigt wird, wenn der Betrag der Differenz diese Fehlerschwelle überschreitet.

Man erhält also in Summe ein sehr einfach zu implementierendes und wenig aufwendiges Verfahren zur Erkennung und Ortung von auch sehr hochohmigen Erdfehlern, das zusätzlich noch mit einer sehr hohen Selektivität betrieben werden kann.

Für den Fall, dass der Verlagerungsstrom (Unsymmetriestrom) des Gesamtnetzes, indirekt also der Fehlerstrom, so stark ansteigt, dass er durch den eingespeisten Strom nicht mehr kompensiert werden kann, ist es ganz besonders vorteilhaft, wenn man auf ein anderes geeigneteres Verfahren zur Ortung von Erdfehlern umschalten kann, da dann die Fehlerortung weiterhin gewährleistet bleibt.

Ganz besonders einfach und in vorteilhafter Weise lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren zur Erkennung und Ortung von hochohmigen Erdfehlern mit einem Verfahren zur Abstimmung einer Löschspule verbinden, indem zumindest ein weiteres Hilfssignal mit einer Frequenz ω_i ungleich der Netzfrequenz ω_N eingespeist wird und dieses Hilfssignal zur Abstimmung der Löschspule verwendet wird. Somit kann trotz kompensierter Sternpunkt-Verlagerungsspannung bei Netzfrequenz die Löschspule auf das Netz kontinuierlich abgestimmt, können also Schalthandlungen im Netz erkannt werden und zusätzlich noch die Erkennung und Ortung von Erdfehlern sichergestellt werden.

Zur Abstimmung der Löschspule ist es besonders günstig, das zum Beispiel in Form eines elektrischen Stromes eingespeiste Hilfssignal $i_{vc}(\omega_1)$ und die daraus entstehende Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_1)$ bezüglich einer Frequenz ω_1 , ungleich der Netzfrequenz ω_N , beispielsweise $\omega_1 = \frac{\omega_N}{2}$ oder $\omega_1 = \frac{3\omega_N}{2}$, kontinuierlich nach Betrag und Phase zu messen, und durch Quotientenbildung von $i_{vc}(\omega_1)$ und $U_{ne}(\omega_1)$ die Admittanzsumme, aus der Erdadmittanz aller Abzweige oder Leitungsabschnitte des Netzes $Y_s(\omega_1)$ und der Löschspulenadmittanz $Y_L(\omega_1)$ zu bestimmen und daraus in weiterer Folge

die Netzparameter Summenkapazität C_S und die Leitwertsumme aus dem Summenleitwert g_S des Gesamtnetzes und dem Spulenleitwert g_L der Löschspule zu bestimmen.

Alternativ dazu können diese Netzparameter auch aus den Messwerten bei mehreren Frequenzen ω_i , ungleich der Netzfrequenz ω_N , bestimmt werden, wobei aus der Menge der einzelnen Frequenzanteile der Messwerte durch eine bestmögliche Approximation im Sinne der Minimierung einer Fehlerfunktion die bestapproximierenden Netzparameter ermittelt werden.

Dadurch ist man erstmals in der Lage, ohne Verstellen der Löschspule und auch ohne Änderung des natürlichen oder künstlichen Unsymmetriestromanteiles im Nullsystem alle zur Abstimmung der Löschspule notwendigen Netzparameter kontinuierlich und auf sehr einfache Weise bestimmen zu können.

Ganz besonders vorteilhaft ist es, die Größen der Hilfssignale mit einer Frequenz ω_i , ungleich der Netzfrequenz ω_N , so zu wählen, dass die Effektivwerte der daraus resultierenden Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_i)$ bei dieser Frequenz vergleichsweise klein, vorzugsweise kleiner 10% des Effektivwertes der Grundwelle der Phasennennspannung des Netzes wird, da dann diese kleinen Überlagerungen der Netzspannung im Nullsystem vernachlässigbar sind.

Ganz besonders selektiv und genau wird das Verfahren, wenn die Frequenzen ω_i so gewählt werden, dass sich die Grundwellenanteile und auch die Oberwellenanteile der Frequenzspektren aller eingespeisten Signale mit den Grundwellenkreisfrequenzen ω_i und ω_N nicht überschneiden, da dann jedes Einspeisesignal für sich alleine betrachtet werden darf und sich keine Überlagerungen von Signalen mit unterschiedlicher Grundwellenfrequenz bezüglich ihrer Grund- oder Oberwellenspektren im Zusammenhang mit der Fourierreihenzerlegung oder Fouriertransformation ergeben. Damit wird speziell sichergestellt, dass die zur Resonanzabstimmung, bzw. Netzparameterermittlung verwendeten Frequenzanteile in keinen ganzzahlig ungeradzahligem Verhältnis mit der Netzfrequenz stehen und damit ausgeschlossen werden kann, dass die natürlichen Unsymmetrien des Netzes in Form von Unsymmetrieströmen das Abstimmungsergebnis, bzw. das Ergebnis der Netzparameterermittlung beeinflussen können.

Mit den bekannten Netzparametern kann die Löschspule für das Netz bei Netzfrequenz ω_N abgestimmt werden. Dies kann durchgeführt werden, indem mit der Summenkapazität C_S des Gesamtnetzes der Resonanzpunkt bei Netzfrequenz ω_N bestimmt wird, und die

* Induktivität L der Löschspule entsprechend der Resonanzbeziehung ermittelt und verstellt wird, sodass die gewünschte kompensierte, unterkompensierte oder überkompensierte Abstimmung des Netzes erreicht wird.

Alternativ dazu kann mit einer Regeleinheit die Induktivität der Löschspule so lange verstellt werden, bis die gewünschte kompensierte, unterkompensierte oder überkompensierte Abstimmung der Löschspule erreicht wird.

Eine weiteres vorteilhaftes Ergebnis des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, dass aus den ermittelten Netzparametern spezifische Kenngrößen, wie beispielsweise der Spulenstrom $i_{L_{res}}$, also dem Löschspulenstrom in Resonanz bei Netzfrequenz und Sternpunkt-Verlagerungsspannung U_{ne} gleich der Phasennennspannung, oder der Wattreststrom i_w des Netzes, berechnet und angezeigt werden. Solche Kenngrößen dienen dem Fachmann zur Beurteilung des Gesamtzustandes des Netzes und sind im Zusammenhang mit dem Isolationszustand wichtige Hinweise auf die Qualität des Netzes.

Eine sehr günstiges ausführbares Verfahren erhält man, wenn die Hilfssignale bezüglich aller eingespeisten Frequenzen ω_i und ω_N durch einen Signalgenerator erzeugt werden. Dies lässt sich einfach durchführen, indem die Hilfssignale durch eine Tiefpassfilterung eines Rechtecksignals, welches durch Überlagerung von Rechtecksignalen der einzelnen Frequenzen aller Frequenzanteile ω_i und ω_N gebildet wird, erzeugt werden. In sehr einfacher Weise wird das Rechtecksignal im Signalgenerator durch das Öffnen und Schließen von Schaltern S1, S2, S3 und S4, vorzugsweise Transistoren, in den Zweigen einer H-Brücke durch eine Ansteuereinheit erzeugt und das Rechtecksignal in der Diagonale der H-Brücke abgegriffen. Die Tiefpassfilterung des Rechtecksignals erfolgt bei Bedarf am einfachsten in einem aus einer Induktivität L_C und eventuell einer Kapazität C_C bestehendem Tiefpassfilter, das so dimensioniert wird, dass aus dem in der H-Brücke erzeugten Rechtecksignal alle Frequenzanteile größer einer vordefinierten Eckfrequenz aus dem einzuspeisenden Hilfssignal herausgefiltert werden.

Auf diese Weise kann das Summensignal des einzuspeisenden Hilfssignales durch weitgehend entkoppelte Überlagerung der einzelnen Signalanteile mit unterschiedlicher Grundwellenfrequenz in Betrag und Phase erzeugt werden.

Zur Sicherheit der Vorrichtung ist es günstig, wenn ein Überspannungsschutz vorgesehen ist, mit dem die Leistungshilfswicklung der Löschspule im Falle eines Erdfehlers und/oder wenn der Verlagerungsstrom $i_{vs}(\omega_N)$ einen maximal zulässigen Wert überschreitet, durch einen Schalter S5 von der Schaltung zur Generierung der Hilfssignale abtrennbar ist.

- 8 Eine ganz besonders flexible, günstige und einfache Ausführungsform erhält man, wenn als Regeleinheit und/oder Ansteuereinheit ein Mikrocomputer vorgesehen ist.

Die Erfindung wird anhand der folgenden Erläuterungen unter Bezugnahme auf die begleitenden beispielhaften und schematischen Zeichnungen Fig. 1 bis Fig. 3 näher
5 beschrieben. In den Zeichnungen zeigt

- Fig. 1 das elektrische Ersatzschaltbild des Nullsystems und eines Abzweiges eines sternpunktcompensierten Netzes,
Fig. 2 ein beispielhaftes, schematisches Schaltbild zur Erzeugung der Hilfssignale und zur Auswertung des Netzzustandes,
10 Fig. 3 ein zwei unterschiedliche Frequenzen, ω und $\frac{\omega}{2}$, enthaltendes, überlagertes Rechtecksignal.

In Fig. 1 ist das bekannte elektrische Ersatzschaltbild eines Leitungsabschnittes eines Hochspannungsnetzes dargestellt. Zwischen dem Transformatorsternpunkt und dem Erdungspunkt befindet sich eine Löschspule 9, die durch einen ohmschen Leitwert g_L und
15 einer Induktivität L beschrieben wird. Die Streuinduktivitäten sowie die ohmschen Widerstände der Sekundärwicklung des Speisetransformators werden durch die für alle drei Phasen als gleich groß angenommenen Leitungslängsimpedanzen Z_{LT} repräsentiert. In das Netz, hier bestehend aus nur einem Leitungsabschnitt, werden die Phasenspannungen U_1 , U_2 und U_3 eingespeist und es fließen die Phasenströme i_1 , i_2 und i_3 . Zwischen den drei
20 Phasen und der Erde liegen die Phasen-Erdspannungen U_{1E} , U_{2E} und U_{3E} an. Ein Leitungsabschnitt wird, wie für den betrachteten Frequenzbereich von <100Hz zulässig, durch Leitungslängsimpedanzen Z_{LL} , bestehend aus einem ohmschen und einem induktiven Term, und Leitungsableitadmittanzen Y_{A1} , Y_{A2} und Y_{A3} , bestehend aus einem ohmschen und einem kapazitiven Term, beschrieben. Über die Leitungsableitadmittanzen
25 Y_{A1} , Y_{A2} und Y_{A3} fließen die Ableitströme i_{A1} , i_{A2} und i_{A3} . Die Ableitströme i_{A1} , i_{A2} und i_{A3} fließen als Nullstrom i_0 dieses Leitungsabschnittes über die Löschspule 9 zum Transformatorsternpunkt zurück. Am Erdungspunkt der Löschspule 9 vereinigen sich die Nullströme aller vorhandenen Leitungsabschnitte zur Summe der Nullströme i_{0S} . Verbraucherseitig, repräsentiert durch Verbraucherimpedanzen Z_V , fließen die
30 Verbraucherströme i_{V1} , i_{V2} und i_{V3} .

Dieses Ersatzschaltbild wird zur Herleitung von für das erfindungsgemäße Verfahren wichtigen Beziehungen verwendet.

Zu den folgenden Erläuterungen sei vorab angemerkt, dass sich die nachfolgenden Formeln, wenn nicht anders angemerkt, auf die Laplacetransformierten der jeweiligen elektrischen

5. Größen beziehen, die vorkommenden elektrischen Größen zwecks Vereinfachung der Schreibweise jedoch nicht explizit als Funktion der komplexen Frequenzvariablen s geschrieben werden, also wird beispielsweise $U_{ne}(s)$ mit U_{ne} bezeichnet.

Wie aus dem elektrischen Ersatzschaltbild Fig. 1 entnommen werden kann, ergibt sich der Nullstrom i_0 eines beliebigen Abzweiges als sehr gute Näherung aus der Beziehung

$$10 \quad i_0 = U_{ne} \cdot Y + i_v,$$

mit der Erdadmittanz $Y = (Y_{A1} + Y_{A2} + Y_{A3})$ und dem Verlagerungsstrom, bzw.

Unsymmetriestrom, $i_v = (U_1 \cdot \Delta Y_{A1} + U_2 \cdot \Delta Y_{A2} + U_3 \cdot \Delta Y_{A3})$, wobei die ΔY_{Ai} die Unsymmetrie der Erdadmittanzen beschreiben.

- Für die Erdadmittanz Y eines Abzweiges k genügt es im betrachteten Frequenzbereich
15 ($<100\text{Hz}$) in hinreichender Genauigkeit Y durch die Summe der einzelnen Phasen-Erdkapazitäten C parallel zu der Summe der ohmschen Leitwerte der drei Phasen gegen Erde g zu repräsentieren.

$$Y^{(k)} = g^{(k)} + C^{(k)}s$$

Für die Summe der Nullströme aller Abzweige i_{0S} gilt dann für das erdfehlerfreie

- 20 Gesamtnetz

$$i_{0S} = U_{ne} \cdot Y_S + i_{vS},$$

wobei Y_S die Summe der Erdadmittanzen aller Abzweige und i_{vS} die Summe der Verlagerungsströme aller Abzweige oder Leitungsabschnitte bezeichnet. Gemäß der Beziehung für die Erdadmittanz Y eines Abzweiges folgt durch Summenbildung, mit dem

- 25 Summenleitwert g_S aller Abzweige und der Summenkapazität C_S aller Abzweige

$$Y_S = g_S + C_S s.$$

Die Nullströme aller Abzweige i_{0S} fließen dabei über die Löschspule zum Transformatorsternpunkt zurück, wodurch folgende Beziehung aufgestellt werden kann.

$$i_{0S} = -U_{ne} \cdot Y_L$$

Y_L ist die Admittanz vom Erdungspunkt der Löschspule bis zum Transformatorsternpunkt und setzt sich aus einem Leitwert g_L und der Induktivität L zusammen.

$$Y_L = g_L + \frac{1}{L \cdot s}$$

- 5 Durch Gleichsetzen der obigen Gleichungen für den Summennullstrom i_{0S} erhält man eine Beziehung zwischen der Verlagerungsstromsumme i_{vS} und der Sternpunkt-Verlagerungsspannung U_{ne} .

$$i_{vS} = -U_{ne} \cdot (Y_S + Y_L)$$

- Ersetzt man in der obigen Beziehung jetzt die komplexe Frequenzvariable s durch $j\omega$, mit der Kreisfrequenz $\omega_N = 2\pi f_N$ und der Netzfrequenz f_N , ergibt sich die folgende Gleichung

$$i_{vS}(\omega_N) = -U_{ne}(\omega_N) \cdot [Y_S(\omega_N) + Y_L(\omega_N)],$$

mit $Y_S(\omega_N) = g_S + j\omega_N C_S$ und $Y_L(\omega_N) = g_L + \frac{1}{j\omega_N L}$.

- Durch aktives Einbringen eines Stromes $i_{vC}(\omega)$ in den Sternpunkt, beispielsweise durch Stromeinspeisung in die Leistungshilfswicklung der Löschspule, folgt aus dem Überlagerungssatz direkt

$$[i_{vS}(\omega_N) + i_{vC}(\omega_N)] = -U_{ne}(\omega_N) \cdot [Y_S(\omega_N) + Y_L(\omega_N)].$$

Aus dieser Gleichung erhält man die wichtige Erkenntnis, dass die Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ Null sein muss, wenn man den einzuspeisenden Strom $i_{vC}(\omega_N)$ nach der Beziehung

$$20 \quad [i_{vS}(\omega_N) + i_{vC}(\omega_N)] = 0 \Rightarrow i_{vC}(\omega_N) = -i_{vS}(\omega_N)$$

wählt, da der Term $[Y_S(\omega_N) + Y_L(\omega_N)]$ nur Netzgrößen enthält und sicherlich ungleich Null ist. Das bedeutet, dass die Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ kompensiert wird, wenn der eingespeiste Strom $i_{vC}(\omega_N)$ so geregelt wird, dass er dem negativen Verlagerungsstrom

$i_{vS}(\omega_N)$ folgt.

Dadurch, dass die Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ bei Netzfrequenz zu Null geregelt wird, können durch Messung der Nullströme $i_0^{(k)}$ der einzelnen Abzweige oder Leitungsabschnitte k des Netzes direkt die natürlichen Verlagerungsströme $i_v^{(k)}$

5 einschließlich eines eventuell vorhandenen Fehlerstromes dieser Abzweige oder Leitungsabschnitte gemessen werden, da die durch die Erdadmittanzen verursachten Nullstromanteile des Abzweiges oder Leitungsabschnittes wegen des Fehlens einer Sternpunkt-Verlagerungsspannung nicht vorhanden sind. Diese gemessenen Nullströme $i_0^{(k)}$ können dann einer beliebigen Methode zur Ortung von Erdfehlern zugeführt werden.

10 Im folgenden wird beispielhaft eine Möglichkeit zur Ortung von Erdfehlern beschrieben. Im Falle eines einpoligen Erdfehlers irgendwo im Netz steigt die Verlagerungsstromsumme $i_{vS}(\omega_N)$ plötzlich stark an. Dieser Anstieg kann sehr einfach durch Überwachung des einzuspeisenden Stromes $i_{vC}(\omega_N)$ detektiert werden, da die Regelbedingung

$i_{vC}(\omega_N) = -i_{vS}(\omega_N)$ gilt und somit zwangsweise gleichzeitig auch der einzuspeisende Strom

15 $i_{vC}(\omega_N)$ ansteigt. Überschreitet der Betrag des einzuspeisenden Stromes $i_{vC}(\omega_N)$ eine bestimmte vordefinierte Fehlerschwelle für eine vordefinierte Zeit, wird ein Erdfehler erkannt und angezeigt. Alternativ dazu kann zur Erkennung eines Erdfehlers auch die zeitliche Änderung des einzuspeisenden Stromes $i_{vC}(\omega_N)$ in Form des Betrages einer komplexen Stromdifferenz, auf eine Überschreitung einer Fehlerschwelle überwacht werden.

20 Der defekte Abzweig oder Leitungsabschnitt kann durch Messung des Netzfrequenzanteiles des Nullstromes $i_0^{(k)}$ in Betrag und Phase, der bei einer zu Null geregelten Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ der Summe aus dem natürlichen Verlagerungsstrom $i_v^{(k)}$ und eines eventuell vorhandenen Fehlerstromes dieses Abzweiges oder Leitungsabschnittes entspricht, geortet werden. Eine einfache Methode ist, die Beträge, Effektivwerte oder

25 Amplituden der Nullströme $i_0^{(k)}$ bei Netzfrequenz aller zu überwachender Abzweige oder Leitungsabschnitte k auf eine eventuelle Überschreitung einer vordefinierten Fehlerschwelle für eine vordefinierte Zeit zu überwachen. Eine andere Methode ist, die Beträge bzw. die Effektivwerte der zeitlichen Änderung der Nullströme bei Netzfrequenz aller zu überwachender Abzweige oder Leitungsabschnitte k , also die Beträge von komplex
30 berechneten Nullstromdifferenzen, auf eine Überschreitung einer Fehlerschwelle zu überwachen.

Allerdings ist auch jede andere beliebige bekannte Methode zur Ortung des defekten Abzweiges oder Leitungsabschnittes und/oder der defekten Stelle innerhalb des defekten

Abzweiges oder Leitung möglich.

- Dieses Verfahren ist natürlich nur solange anwendbar, solange der Signalgenerator in der Lage ist, die netzfrequente Sternpunkt-Verlagerungsspannung, durch Einspeisen eines entsprechenden Stromes auf Null zu regeln. Wird dies Grenze überschritten ist es sinnvoll
- 5 auf eine anderes Verfahren zur Ortung von Erdfehlern umzuschalten, bis der einzuspeisende Strom vom Signalgenerator wieder aufgebracht werden kann.

- Um auch bei kompensierter Sternpunkt-Verlagerungsspannung die Abstimmung der Löschspule durchführen zu können, wird mindestens ein weiterer Strom $i_{vC}(\omega_i)$, mit $\omega_i \neq \omega_N$, in den Sternpunkt eingespeist und es ergibt sich unter der Voraussetzung, dass
- 10 sich die Frequenzspektren der einzelnen Frequenzen nicht decken bzw. überlagern und damit keine natürlichen Verlagerungsströme des Netzes bei dieser Frequenz $\omega_i \neq \omega_N$ vorhanden sind, $i_{vS}(\omega_i) = 0$, äquivalent zu oben die Gleichung

$$i_{vC}(\omega_i) = -U_{ne}(\omega_i) \cdot [Y_S(\omega_i) + Y_L(\omega_i)],$$

- mit $Y_S(\omega_i) = g_S + j\omega_i C_S$ und $Y_L(\omega_i) = g_L + \frac{1}{j\omega_i L}$, woraus sich wegen der Bekanntheit der
- 15 Löschspuleninduktivität L aus der aktuellen Stellung der Löschspule durch Einsetzen von L in die obigen Gleichungen die Leitwertsumme $(g_S + g_L)$ und die Summenkapazität C_S des Netzes, also die gewünschten Netzparameter, ermitteln lassen.

$$-\frac{i_{vC}(\omega_i)}{U_{ne}(\omega_i)} = [Y_S(\omega_i) + Y_L(\omega_i)] = (g_S + g_L) + j\left(\omega_i C_S - \frac{1}{\omega_i L}\right)$$

Daraus folgt direkt

20 $(g_S + g_L) = \text{Re}[Y_S(\omega_i) + Y_L(\omega_i)]$

und

$$C_S = \frac{1}{\omega_i} \left\{ \text{Im}[Y_S(\omega_i) + Y_L(\omega_i)] + \frac{1}{\omega_i L} \right\}.$$

Durch kontinuierliches Messen des eingespeisten Stromes $i_{vC}(\omega_i)$ in Betrag und Phase bei

Kreisfrequenz ω_i und der sich dabei ergebenden Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_i)$ bei einer Frequenz ungleich der Netzfrequenz, $\omega_i \neq \omega_N$, nach Betrag und Phase können also aus den obigen Gleichungen die Netzparameter direkt kontinuierlich berechnet werden. Diese Netzparameter können auch für mehrere verschiedene Frequenzen $\omega_i \neq \omega_N$ ermittelt
 5 werden und anschließend aus den einzelnen Größen ein Mittelwert im Sinne der bestmöglichen Approximation der realen Größen bestimmt werden.

Die Resonanzabstimmung der Löserspule erfolgt dann bei Netzfrequenz ω_N anhand der bekannten Resonanzbedingung

$$\text{Im}[Y_S(\omega_N) + Y_L(\omega_N)] = 0 \Rightarrow \omega_N C_S = \frac{1}{\omega_N L}.$$

10 Aus dieser Gleichung kann die erforderliche Löserspuleninduktivität L zum Erreichen der der gewünschten kompensierten, über- oder unterkompensierten Abstimmung ermittelt werden, worauf die Löserspule direkt abgestimmt werden kann.

Das oben beschriebene Verfahren zur Abstimmung der Löserspule ist nicht einschränkend, es sind vielmehr auch alle anderen möglichen Verfahren sowie Kombinationen bestimmter
 15 Verfahren anwendbar. Z.B. ist es denkbar, die Induktivität der Löserspule in einem Regelkreis solange zu verändern, bis der Resonanzpunkt erreicht ist oder sich eine entsprechende über- oder unterkompensierte Stellung ergibt.

Die Generierung der einzuspeisenden Hilfssignale und die Auswertung der gemessenen Größen wird beispielhaft anhand der Fig. 2 beschrieben. Die Schaltung zur Generierung der
 20 Hilfssignale enthält eine Gleichrichtereinheit 1, einen Signalgenerator 2 mit einem nachgeschalteten Tiefpassfilter 3, eine Regeleinheit sowie einen Überspannungsschutz 5. Die Gleichrichtereinheit 1 beinhaltet neben einem Netztrenntransformator, der Vollweggleichrichtung und den Glättungskondensatoren eine Power Factor Correction (PFC) Schaltung und verwendet als Speisespannung beispielsweise die konventionelle
 25 Netzspannung, also 230V, 50Hz. Die PFC Schaltung gewährleistet, dass von der Netzversorgung nur reine Wirkleistung aufgenommen wird, wodurch sich eine sehr geringe Leistungsaufnahme des Gesamtsystems ergibt, und bietet am Ausgang zur weiteren Verwendung eine Gleichspannung von 400V an. Je nach Ausführung der PFC Schaltung und nach Bedarf kann auch eine andere DC Spannung geliefert werden. Die PFC Schaltung
 30 speist einen Signalgenerator 2, der eine H-Brücke 6 enthält, in deren Zweigen je ein Schalter S1, S2, S3 und S4, vorzugsweise Transistoren, angeordnet ist. Die Schalter S1, S2, S3 und S4 können über eine Ansteuereinheit 7 unabhängig voneinander geschlossen oder geöffnet

werden. An der Diagonale der H-Brücke 6 wird ein Signal abgegriffen, welches in einem nachgeschalteten aus einer Induktivität L_C und einer Kapazität C_C bestehenden Tiefpassfilter 3 gefiltert wird. Das gefilterte Signal wird in diesem Beispiel über eine Leistungshilfswicklung 8 der Löschspule 9 in den Sternpunkt des Transformators

5 eingespeist. Sollten die Oberwellen des einzuspeisenden Signals nicht stören, so kann die Kapazität C_C auch entfallen, da alleine schon durch das integrale Stromverhalten der Induktivität L_C aus Spannungsrechtecken Stromtrapeze geformt werden und dadurch der Oberwellenanteil des einzuspeisenden Stromes schon deutlich reduziert ist.

Als Regelgrößen werden die Sternpunkt-Verlagerungsspannung U_{ne} und der eingespeiste

10 Strom i_{vC} kontinuierlich nach Betrag und Phase, für alle interessanten Frequenzen, gemessen und einer Regeleinheit 4 zugeführt, die wiederum die Ansteuersignale für die Ansteuereinheit 7 bereitstellt.

Die Ansteuereinheit 7 steuert die Schalter S1, S2, S3 und S4 so an, dass an der Diagonalen der H-Brücke 6 ein aus mehreren einzelnen Rechtecksignalen bestehendes überlagertes

15 Rechtecksignal entsteht, welches alle einzuspeisenden Frequenzen beinhaltet. Ein positives Ausgangssignal von 400VDC wird erzeugt, wenn die Schalter S1 und S4 durchgesteuert werden und die Schalter S2 und S3 offen bleiben. Umgekehrt entsteht an der Brückendiagonale ein Ausgangssignal von -400VDC, wenn die Schalter S2 und S3 durchgesteuert werden und die Schalter S1 und S4 offen bleiben. Soll eine

20 Ausgangsspannung von 0VDC realisiert werden, so werden die Schalter S2 und S4 durchgesteuert und die beiden restlichen Schalter offengelassen. Soll unabhängig von der Sternpunkt-Verlagerungsspannung kein Brückendiagonalstrom fließen, so sind alle Schalter S1, S2, S3 und S4 zu öffnen. Ein solches Rechtecksignal, das die Netzfrequenz von 50Hz und eine weitere Frequenz von 25Hz beinhaltet ist in Fig. 3 dargestellt. Insbesondere

25 müssen bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zumindest die Netzfrequenz ω_N und eine weitere Frequenz ω_i beinhaltet sein, wobei alle Frequenzen $\omega_i \neq \omega_N$ sinnvollerweise so gewählt werden, dass sich die Grundwellenanteile als auch die Oberwellenanteile der einzelnen Frequenzspektren nicht überschneiden. Damit wird sichergestellt, dass die einzelnen Frequenzanteile unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen und kein

30 Hilfssignal Anteile einer anderen Frequenz enthält. Günstig sind beispielsweise die

Frequenzen $\omega_i = \frac{\omega_N}{2}$ oder $\omega_i = \frac{3\omega_N}{2}$. Das so erzeugte Rechtecksignal wird im Anschluss

einem Tiefpassfilter 3 zugeführt, das so dimensioniert ist, dass bei Bedarf höhere Frequenzanteile herausgefiltert werden, wodurch gemäß der Fourierreihenzerlegung von dem Rechtecksignal nur mehr die niederfrequenten Anteile der einzelnen einzuspeisenden

Frequenzen übrigbleiben, deren Amplituden über die Pulsdauer T_E der einzelnen Rechtecksignale einzeln steuerbar sind und deren gemeinsame Phasenbeziehung ebenfalls steuerbar ist. Es ist sinnvoll die Amplituden der eingespeisten Ströme der Frequenzen $\omega_i \neq \omega_N$ derart zu wählen, dass die im Netz daraus resultierenden Verlagerungsspannungen die Größenordnungen von ungefähr 1% der Grundwelle der Phasenspannung annehmen, also bezogen auf die Phasenspannung des Netzes klein und damit als nicht netzfrequente Überlagerungen vernachlässigbar werden. Die Amplitude des Signals mit der Netzfrequenz ω_N und die gemeinsame Phasenbeziehung der Signale, werden durch die Regeleinheit aufgrund der vorher angegebenen Regelbedingung, $i_{vC}(\omega_N) = -i_{vS}(\omega_N)$, entsprechend geregelt.

Zum Schutz der einzelnen Komponenten bei Erdschlüssen ist weiters ein Überspannungsschutz 5 vorgesehen, der die Leistungshilfswicklung 8 bei Bedarf über den Schalter S5 von der Schaltung zur Hilfssignalgenerierung trennt.

In der Regeleinheit 4 werden die gemessenen Größen gemäß dem oben beschriebenen Verfahren zur Abstimmung der Löschspule 9 und/oder zur Detektierung von Erdfehlern ausgewertet.

Die oben beschriebene Schaltung ist nur ein Beispiel wie die einzuspeisenden Hilfssignale erzeugt werden können und ist in keiner Weise einschränkend. Es ist insbesondere auch denkbar für jedes Hilfssignal einen eigenen Signalgenerator, der ein entsprechendes Signal generiert, zu verwenden. Ferner besteht die Möglichkeit die Hilfssignale in Form einer galvanisch getrennten Spannungsquelle in Serienschaltung zur Löschspule, über eine galvanische Trennung in Form einer Strominjektion in eine von den drei Phasen-Erdspannungen oder in jeder anderen geeigneten Art und Weise in das Nullsystem einzubringen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur selektiven Erkennung und Ortung von hochohmigen einpoligen Erdfehlern in sternpunktcompensierten elektrischen Versorgungsnetzen, bei dem in das Nullsystem
5 des Netzes zumindest ein Hilfssignal mit der Netzfrequenz ω_N eingespeist wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Hilfssignal so eingespeist wird, dass dadurch die Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ bei Netzfrequenz ω_N im Wesentlichen kompensiert wird und dass Erdfehler bei durch das Hilfssignal kompensierter Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ erkannt und geortet werden.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Hilfssignal kontinuierlich eingespeist wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das in Form eines Stromes eingespeiste Hilfssignal bei Netzfrequenz $i_{vC}(\omega_N)$ durch eine Regeleinheit (4) in Betrag und Phase so gesteuert wird, dass die Summe aus diesem eingespeisten
15 Hilfssignal $i_{vC}(\omega_N)$ und dem natürlichen Verlagerungsstrom $i_{vS}(\omega_N)$ im Wesentlichen gleich Null wird und dadurch die Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ kompensiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass durch Messen des eingespeisten Stromes bei Netzfrequenz $i_{vC}(\omega_N)$ im eingeregelteten Zustand,
20 $i_{vC}(\omega_N) + i_{vS}(\omega_N) = 0$, indirekt der Verlagerungsstrom $i_{vS}(\omega_N)$ gemessen wird und dass mit diesem gemessenen Strom $i_{vC}(\omega_N)$ ein Erdfehler im Gesamtnetz erkannt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Erdfehler erkannt und angezeigt wird, wenn der Messwert des einzuspeisenden Stromes bei Netzfrequenz $i_{vC}(\omega_N)$, vorzugsweise die Amplitude, der Betrag oder der Effektivwert, stark ansteigt
25 und eine vordefinierte Fehlerschwelle für eine vordefinierte Zeit überschreitet.
6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Erdfehler erkannt und angezeigt wird, wenn der Betrag der komplexen Differenz zweier zeitlich aufeinanderfolgender Messungen des einzuspeisenden Stromes bei Netzfrequenz $i_{vC}(\omega_N)$ stark ansteigt und eine vordefinierte Fehlerschwelle überschreitet.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass durch Messen des Nullstromes $i_0^{(k)}(\omega_N)$ im eingeregelteten Zustand, also bei $U_{ne}(\omega_N) = 0$, von jedem Abzweig oder Leitungsabschnitt k des Netzes bei Netzfrequenz ω_N direkt die Summe aus dem natürlichen Verlagerungsstrom $i_v^{(k)}(\omega_N)$ und einem eventuell vorhandenen Fehlerstrom des jeweiligen k -ten Abzweiges oder Leitungsabschnittes bei
5 Fehlerstrom des jeweiligen k -ten Abzweiges oder Leitungsabschnittes bei Netzfrequenz gemessen wird und dass diese Nullströme $i_0^{(k)}(\omega_N)$ zur Ortung des fehlerhaften Abzweiges oder Leitungsabschnittes des Netzes und/oder der fehlerhaften Stelle innerhalb dieses Abzweiges oder Leitungsabschnittes herangezogen werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass für einen Abzweig oder
10 Leitungsabschnitt f der zugehörige Nullstrom $i_0^{(f)}(\omega_N)$, vorzugsweise die Amplitude, der Betrag oder der Effektivwert, mit einer vordefinierten Fehlerschwelle verglichen und als fehlerhaft erkannt und angezeigt wird, wenn der Betrag des komplexen Nullstromvektors $i_0^{(f)}(\omega_N)$ diese Fehlerschwelle für eine vordefinierte Zeit überschreitet.
9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass für einen Abzweig oder
15 Leitungsabschnitt f von zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Messungen des zugehörigen Nullstromes $i_0^{(f)}(\omega_N)$ die komplexe Differenz gebildet, der Betrag dieser Differenz mit einer vordefinierten Fehlerschwelle verglichen und ein fehlerhafter Abzweig oder Leitungsabschnitt erkannt und angezeigt wird, wenn der Betrag der Differenz diese Fehlerschwelle überschreitet.
- 20 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei Überschreiten einer vorbestimmten Größe des einzuspeisenden Stromes $i_{vc}(\omega_N)$ auf ein anderes geeignetes Verfahren zur Erkennung und/oder Ortung von Erdfehlern umgeschaltet wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein weiteres Hilfssignal mit einer Frequenz ω_i ungleich der Netzfrequenz ω_N eingespeist
25 wird und dass dieses Hilfssignal zur Abstimmung einer Lösspule (9) des Netzes bei Netzfrequenz ω_N verwendet wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das in Form eines elektrischen Stromes eingespeiste weitere Hilfssignal $i_{vc}(\omega_i)$ und die daraus entstehende Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_i)$ bezüglich einer Frequenz ω_i ,

ungleich der Netzfrequenz ω_N , beispielsweise $\omega_1 = \frac{\omega_N}{2}$ oder $\omega_1 = \frac{3\omega_N}{2}$, kontinuierlich nach Betrag und Phase gemessen werden, und dass durch Quotientenbildung von $i_{vC}(\omega_1)$ und $U_{ne}(\omega_1)$ die Admittanzsumme, aus der Erdadmittanz aller Abzweige oder Leitungsschnitte des Netzes $Y_S(\omega_1)$ und der Löschspulenadmittanz $Y_L(\omega_1)$, aus der

5 Beziehung

$$-\frac{i_{vC}(\omega_1)}{U_{ne}(\omega_1)} = [Y_S(\omega_1) + Y_L(\omega_1)]$$

bestimmt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass durch Aufspaltung der Beziehung

$$10 \quad [Y_S(\omega_1) + Y_L(\omega_1)] = (g_S + g_L) + j \left(\omega_1 C_S - \frac{1}{\omega_1 L} \right)$$

in Real- und Imaginärteil und aufgrund der bekannten Induktivität L der Löschspule (9) aus der Gleichung

$$C_S = \frac{1}{\omega_1} \cdot \left\{ \text{Im}[Y_S(\omega_1) + Y_L(\omega_1)] + \frac{1}{\omega_1 L} \right\}$$

die Summenkapazität C_S des Gesamtnetzes und/oder aus der Gleichung

$$15 \quad (g_S + g_L) = \text{Re}[Y_S(\omega_1) + Y_L(\omega_1)]$$

die Leitwertsumme aus dem Summenleitwert g_S des Gesamtnetzes und dem Spulenleitwert g_L der Löschspule (9) bestimmt wird.

14. Verfahren nach den Ansprüchen 12 und 13, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Ströme $i_{vC}(\omega_i)$ mit bezüglich der Netzfrequenz ω_N und untereinander unterschiedlicher

20 Frequenzen ω_i eingespeist werden, dass die notwendigen Netzparameter, insbesondere $[Y_S(\omega_i) + Y_L(\omega_i)]$, C_S und $(g_S + g_L)$, für jede einzelne Frequenz ω_i bestimmt werden und dass aus den Messwerten jeder einzelnen Frequenz ω_i mit einer beliebigen Methode eine bestmögliche Approximation der Netzparameter ermittelt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die

25 Größen der eingespeisten Ströme $i_{vC}(\omega_i)$ mit einer Frequenz ω_i ungleich der Netzfrequenz ω_N so gewählt werden, dass die Effektivwerte der daraus resultierenden Sternpunkt-Verlagerungsspannungen $U_{ne}(\omega_i)$ bei den jeweiligen Frequenzen ω_i

vergleichsweise klein, vorzugsweise kleiner 10% des Effektivwertes der Grundwelle der Phasennennspannung des Netzes, werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenzen ω_i so gewählt werden, dass sich die Grundwellenanteile sowie die Oberwellenanteile der Frequenzspektren aller eingespeisten Signale mit den Grundwellenfrequenzen ω_i und ω_N nicht überschneiden.
17. Verfahren nach Anspruch 12, 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass mit den ermittelten Netzparametern die Löserspule (9) für das Netz bei Netzfrequenz ω_N abgestimmt wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Summenkapazität C_S des Gesamtnetzes der Resonanzpunkt bei Netzfrequenz ω_N nach der bekannten Resonanzbeziehung
- $$\text{Im}[Y_S(\omega_N) + Y_L(\omega_N)] = 0 \Rightarrow \omega_N C_S = \frac{1}{\omega_N L}$$
- bestimmt wird, und dass die Induktivität L der Löserspule (9) entsprechend der Resonanzbeziehung ermittelt und verstellt wird, sodass die gewünschte kompensierte, unterkompensierte oder überkompensierte Abstimmung der Löserspule (9) erreicht wird.
19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass eine Regeleinheit (4) die Induktivität der Löserspule (9) mit einem eigenen Regelkreis so lange verstellt, bis die gewünschte kompensierte, unterkompensierte oder überkompensierte Abstimmung der Löserspule (9) erreicht wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 12, 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass aus den ermittelten Netzparametern spezifische Kenngrößen, wie beispielsweise der Spulenstrom $i_{L_{res}}$, also der Löserspulenstrom in Resonanz bei Netzfrequenz und Sternpunkt-Verlagerungsspannung U_{ne} gleich der Phasennennspannung, oder der Wattreststrom i_W des Netzes, berechnet und angezeigt werden.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfssignale bezüglich aller eingespeisten Frequenzen ω_i und ω_N durch einen Signalgenerator (2) erzeugt werden.
22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfssignale durch eine Tiefpassfilterung eines von dem Signalgenerator (2) erzeugten Rechtecksignals, welches

durch Überlagerung von Rechtecksignalen der einzelnen Frequenzen aller Frequenzanteile ω_i und ω_N gebildet wird, erzeugt werden.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Rechtecksignal im Signalgenerator (2) durch das Öffnen und Schließen von Schaltern S1, S2, S3 und S4, vorzugsweise Transistoren, in den Zweigen einer H-Brücke (6) durch eine Ansteuereinheit (7) erzeugt wird und das Rechtecksignal in der Diagonale der H-Brücke (6) abgegriffen wird.
24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass ein aus einer Induktivität L_C und eventuell einer Kapazität C_C bestehendes Tiefpassfilter (3) so dimensioniert wird, dass aus dem in der H-Brücke (6) erzeugten Rechtecksignal alle Frequenzanteile größer einer vordefinierten Eckfrequenz aus dem einzuspeisenden Hilfssignal herausgefiltert werden.
25. Vorrichtung zum selektiven Erkennen und Orten von hochohmigen einpoligen Erdfehlern in sternpunkt kompensierten elektrischen Versorgungsnetzen bestehend aus einem Signalgenerator (2) zur Erzeugung zumindest eines Hilfssignals mit der Netzfrequenz ω_N und einer Regeleinheit (4) zum Erkennen und Orten von einpoligen Erdfehlern, dadurch gekennzeichnet, dass ein Element des Netzes, beispielsweise eine Löschspule (9), vorzugsweise eine Tauchkernspule, mit diesem Hilfssignal beaufschlagbar ist und dass der Signalgenerator (2) zur Kompensation der Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ mittels des erzeugten Hilfssignals vorgesehen ist.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Generierung des Hilfssignals in Form eines Stromes $i_{vC}(\omega_N)$ bei Netzfrequenz ω_N in Betrag und Phase durch eine Regeleinheit (4) so steuerbar ist, dass die Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_N)$ bei Netzfrequenz ω_N kompensierbar ist.
27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass in der Regeleinheit (4) ein Erdfehler durch Vergleich des eingespeisten Hilfssignals $i_{vC}(\omega_N)$ bei Netzfrequenz ω_N mit einer vordefinierten Fehlerschwelle erkennbar ist und ein Erdfehler anzeigbar ist, wenn im eingeregelteten Zustand, $i_{vC}(\omega_N) + i_{vS}(\omega_N) = 0$, der eingespeiste Strom $i_{vC}(\omega_N)$, vorzugsweise die Amplitude, der Betrag oder der Effektivwert, diese Fehlerschwelle für eine vordefinierte Zeit überschreitet.

28. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass in der Regeleinheit (4) die komplexe Differenz zweier zeitlich aufeinanderfolgender Messungen des eingespeisten Hilfssignals $i_{vC}(\omega_N)$ bei Netzfrequenz ω_N berechenbar ist und ein Erdfehler erkennbar und anzeigbar ist, wenn im eingeregelter Zustand, $i_{vC}(\omega_N) + i_{vS}(\omega_N) = 0$, der Betrag dieser Differenz eine vordefinierte Fehlerschwelle überschreitet.
- 5
29. Vorrichtung nach Anspruch 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet, dass in der Regeleinheit (4) oder einer externen Einheit der fehlerhafte Abzweig oder Leitungsabschnitt k des Netzes durch Vergleich des jeweiligen gemessenen Nullstromes $i_0^{(k)}(\omega_N)$ mit einer vordefinierten Fehlerschwelle bestimmbar und anzeigbar ist.
- 10
30. Vorrichtung nach Anspruch 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet, dass in der Regeleinheit (4) oder einer externen Einheit der fehlerhafte Abzweig oder Leitungsabschnitt k des Netzes durch Bildung des Betrages einer komplexen Differenz zweier zeitlich aufeinanderfolgender Messwerte des jeweiligen gemessenen Nullstromes $i_0^{(k)}(\omega_N)$ und Vergleich mit einer vordefinierten Fehlerschwelle bestimmbar und anzeigbar ist.
- 15
31. Vorrichtung nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinheit (4) zwischen zumindest zwei Verfahren zum Erkennen und/oder Orten von Erdfehlern hin- und herschaltbar ist.
- 20
32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass durch Messen zumindest eines weiteren eingespeisten Hilfssignals $i_{vC}(\omega_1)$, bei einer Frequenz ω_1 ungleich der Netzfrequenz ω_N , und der Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_1)$ bei dieser Frequenz nach Betrag und Phase in der Regeleinheit (4) Netzparameter, wie beispielsweise die Admittanzsumme $[Y_S(\omega_1) + Y_L(\omega_1)]$, die Leitwertsumme $(g_S + g_L)$ oder die Summenkapazität C_S des Netzes, bestimmbar sind und dass mit diesen Netzparametern die Löschspule (9) für das Netz bei Netzfrequenz ω_N abstimmbare ist.
- 25
33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass durch Messen mehrerer eingespeister Hilfssignale $i_{vC}(\omega_i)$, bei einer Frequenz ω_i ungleich der Netzfrequenz ω_N , und der Sternpunkt-Verlagerungsspannung $U_{ne}(\omega_i)$ bei diesen Frequenzen nach Betrag und Phase in der Regeleinheit (4) Netzparameter, wie beispielsweise die Admittanzsumme $[Y_S(\omega_i) + Y_L(\omega_i)]$, die Leitwertsumme $(g_S + g_L)$ oder
- 30

die Summenkapazität C_s des Netzes, für jede Frequenz ω_i bestimmbar sind, dass aus den einzelnen Messgrößen jeder Frequenz ω_i eine bestmögliche Approximation der Netzparameter ermittelbar ist, und dass mit diesen bestapproximierten Netzparametern die Löschspule (9) für das Netz bei Netzfrequenz ω_N abstimmbar ist.

- 5 34. Vorrichtung nach Anspruch 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, dass aus den bei den Frequenzen ω_i ermittelten Netzparametern in der Regeleinheit (4) die erforderliche Löschspulenstellung zum Erreichen einer bestimmten kompensierten, unterkompensierten oder überkompensierten Abstimmung des Netzes berechenbar ist und dass die Löschspule (9) in diese Stellung abstimmbar ist.
- 10 35. Vorrichtung nach Anspruch 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, dass die Löschspule (9) mit einem Regelkreis entsprechend den berechneten Netzparametern durch die Regeleinheit (4) solange verstellbar ist, bis eine bestimmte kompensierte, unterkompensierte oder überkompensierte Abstimmung des Netzes erreicht ist.
- 15 36. Vorrichtung nach Anspruch 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, dass aus den ermittelten Netzparametern in der Regeleinheit (4) spezifische Kenngrößen, wie beispielsweise der Spulenstrom i_{Lres} in Resonanz bei Netzfrequenz und maximaler Sternpunkt-Verlagerungsspannung U_{ne} oder der Wattreststrom i_w des Netzes, berechenbar und anzeigbar sind.
- 20 37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 32 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass der Signalgenerator (2) zur Erzeugung von Hilfssignalen mit einer Frequenz ω_i ungleich der Netzfrequenz ω_N derart ausgebildet ist, dass die Effektivwerte der daraus resultierenden Sternpunkt-Verlagerungsspannungen $U_{ne}(\omega_i)$ bei den jeweiligen Frequenzen ω_i verhältnismäßig klein, vorzugsweise kleiner 10% des Effektivwertes der Grundwelle der Phasenspannung, gegenüber der Nennspannung des Netzes sind.
- 25 38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass der Signalgenerator als eine H-Brücke (6) mit Schaltern S1, S2, S3 und S4 in den Zweigen der H-Brücke (6) ausgebildet ist, dass die Schalter S1, S2, S3 und S4, vorzugsweise Transistoren, durch eine Ansteuereinheit (7) so ansteuerbar sind, dass ein alle einzuspeisenden Frequenzen ω_i und ω_N enthaltendes Rechtecksignal generierbar ist
- 30 und dass alle Frequenzanteile größer als einer vordefinierten Eckfrequenz dieses

Rechtecksignals durch ein nachgeschaltetes Tiefpassfilter (3), bestehend aus einer Induktivität L_C und eventuell einer Kapazität C_C , herausfilterbar sind.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 38, dadurch gekennzeichnet, dass ein Überspannungsschutz (5) vorgesehen ist, mit dem die Leistungshilfswicklung (8) der Löserspule (9) im Falle eines Erdfehlers und/oder wenn der Verlagerungsstrom $i_{vS}(\omega_N)$ einen maximal zulässigen Wert überschreitet, durch einen Schalter S5 von der Schaltung zur Generierung der Hilfssignale abtrennbar ist.
- 5
40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass als Regeleinheit (4) und/oder Ansteuereinheit (7) ein Mikrocomputer vorgesehen ist.

Fig. 1

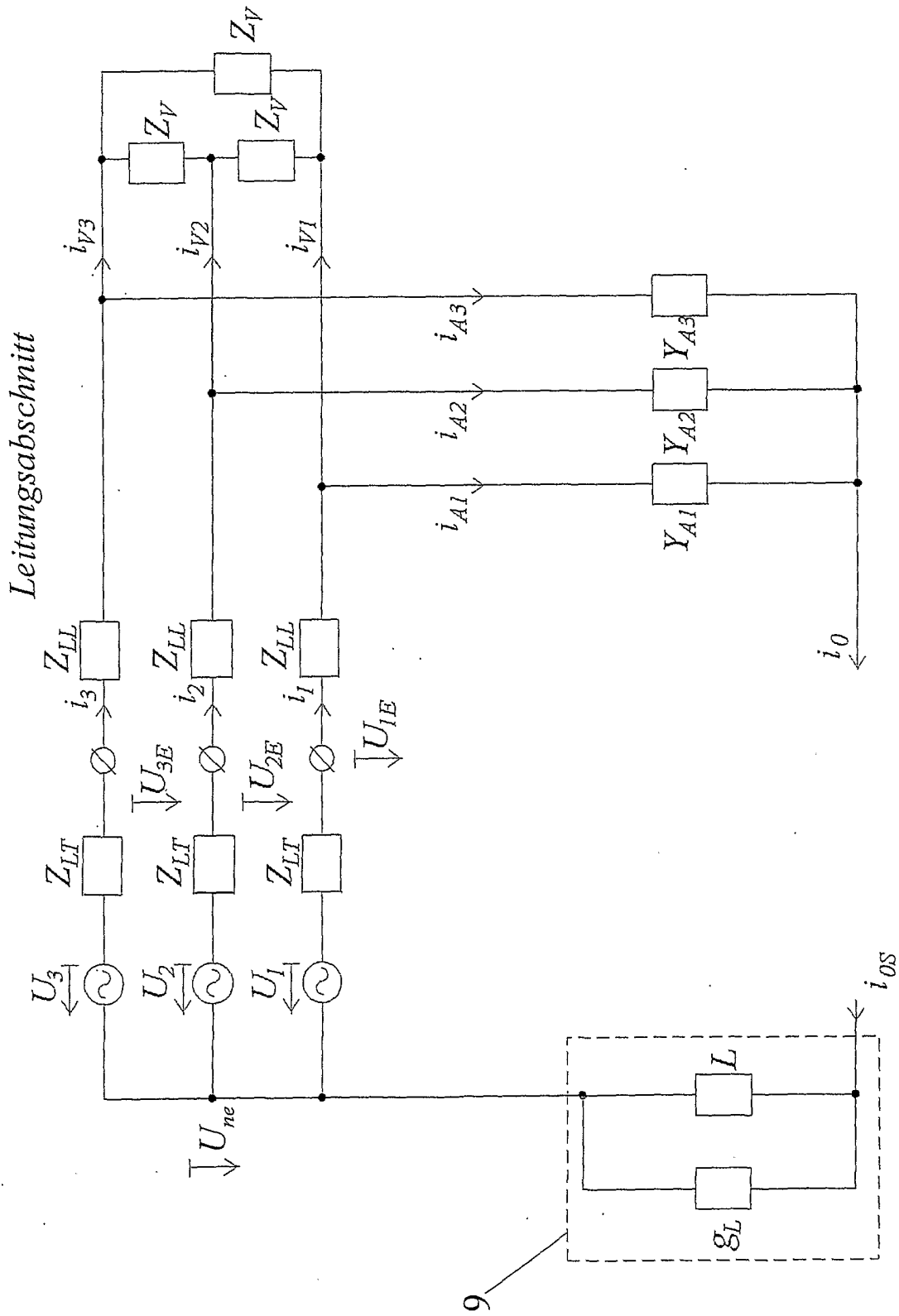


Fig. 2

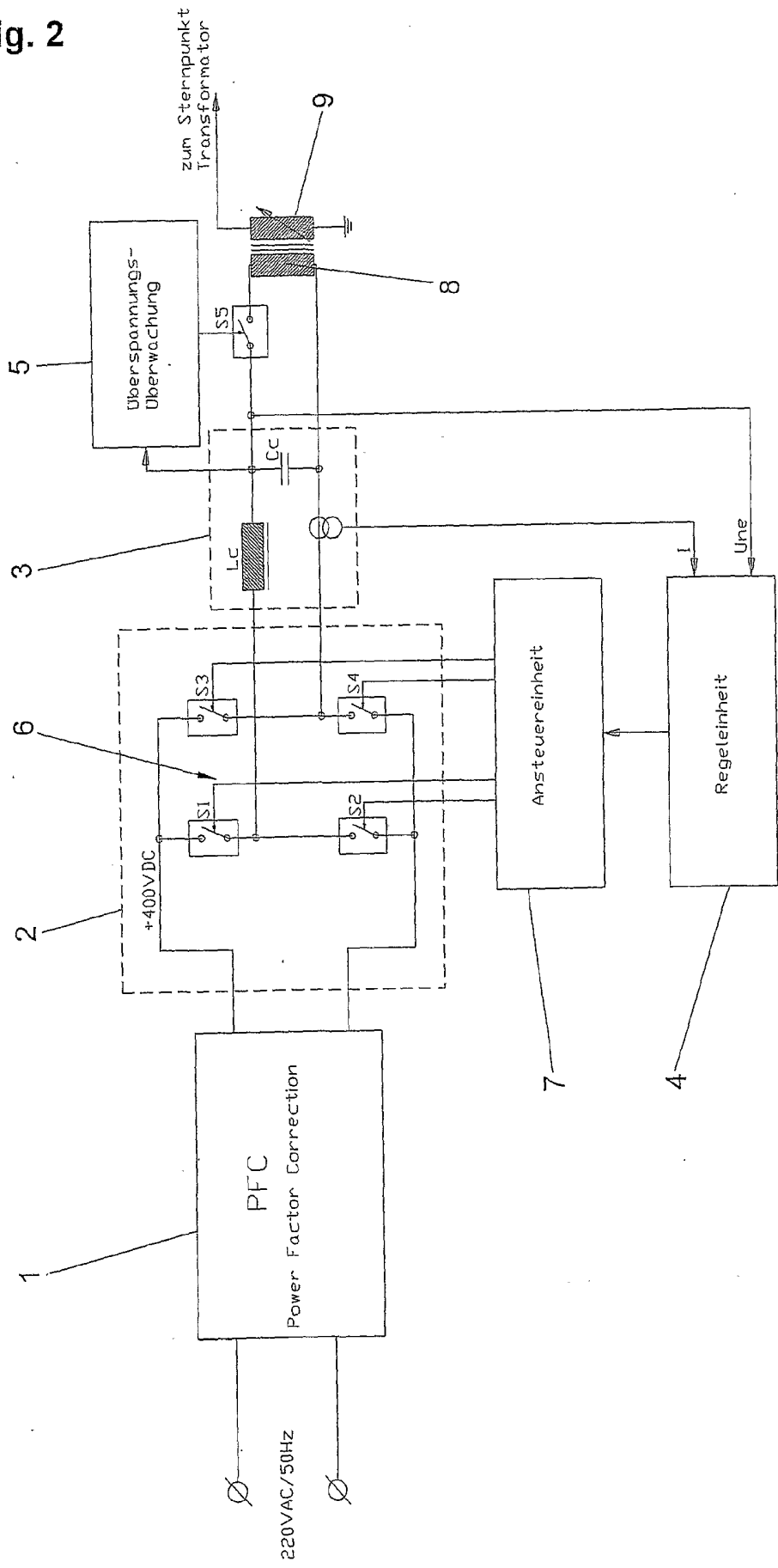


Fig. 3

