

(19)



österreichisches
patentamt

(10)

AT 500 031 A2 2005-10-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer:

A 157/2004

(51) Int. Cl.⁷: H02H 9/08

(22) Anmeldetag:

04.02.2004

G01R 27/16

(42) Veröffentlicht am:

15.10.2005

(30) Priorität:

21.02.2003 DE10307668 beansprucht.

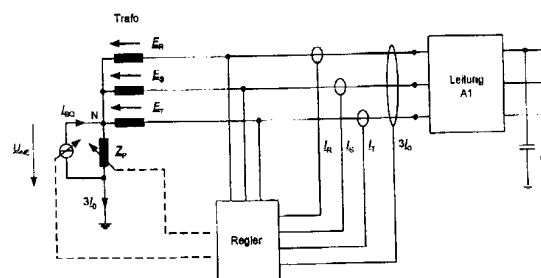
(73) Patentanmelder:

EDC GMBH
D-90768 FÜRTH (DE).

(54) VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER PARAMETER EINES GELÖSCHTEN NETZES

(57) Mit dem neuen Verfahren wird bei einer von 50 Hz unterschiedlichen Frequenz gemessen. Die 50 Hz Komponenten werden herausgefiltert und wirken sich nicht auf die Ermittlung der Parameter aus. Durch eine Parametrierung können Maximalwerte für die Änderung der Verlagerungsspannung \underline{U}_0 verursacht durch die Stromquelle bzw. maximale Stromwerte für die Stromquelle vorgegeben werden. Durch die gleichzeitige Einspeisung von zwei Strömen mit zwei unterschiedlichen Frequenzen und gleichzeitiger Auswertung der Messung erfolgt die Berechnung sehr schnell und zur gleichen Zeit. Es müssen nicht aufeinander folgende Messwerte bzw. Netzzustände verglichen werden.

Durch Überwachung der Verlagerungsspannung wird die Größe der eingespeisten Ströme so eingestellt, dass einerseits eine genügend große Verlagerungsspannung bei großen Verstimmungen entsteht bzw. andererseits bei sehr kleinen Netzen die Grenzwerte für \underline{U}_0 nicht überschritten wird.



AT 500 031 A2 2005-10-15

Zusammenfassung

- 5 Mit dem neuen Verfahren wird bei einer von 50 Hz unterschiedlichen Frequenz gemessen. Die 50 Hz Komponenten werden herausgefiltert und wirken sich nicht auf die Ermittlung der Parameter aus. Durch eine Parametrierung können Maximalwerte für die Änderung der Verlagerungsspannung \underline{U}_0 verursacht durch die Stromquelle bzw. maximale Stromwerte für die Stromquelle vorgegeben werden.

10

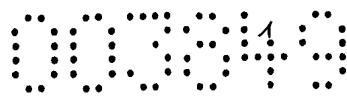
Durch die gleichzeitige Einspeisung von zwei Strömen mit zwei unterschiedlichen Frequenzen und gleichzeitiger Auswertung der Messung erfolgt die Berechnung sehr schnell und zur gleichen Zeit. Es müssen nicht aufeinander folgende Messwerte bzw. Netzzustände verglichen werden.

15

Durch Überwachung der Verlagerungsspannung wird die Größe der eingespeisten Ströme so eingestellt, dass einerseits eine genügend große Verlagerungsspannung bei großen Verstimmungen entsteht bzw. andererseits bei sehr kleinen Netzen die Grenzwerte für \underline{U}_0 nicht überschritten wird.

20

(Fig. 1)



5

10

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Parameter eines gelöschten Netzes ohne Verstimmung der Petersen-Spule, das auch für sehr symmetrische Netze geeignet ist. Diese ermittelten Netz-Parameter können unter Einhaltung von vorgegeben Parameter zur Nachregelung einer Petersen-

15

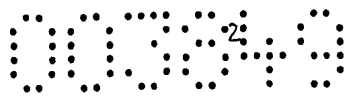
spule verwendet werden.

Verfahren zur Abstimmung einer Erdschlusslöschspule auf Resonanz oder auf einen gewünschten Kompensationswert sind derzeit hauptsächlich für gesunde Netze bekannt. Einige Verfahren, die nach dem Resonanzverfahren arbeiten be-

20 nötigen hierzu eine ausreichende Verlagerungsspannung \underline{U}_0 z.B. EZR2 der Firma Spezialelektra. Bei den heute üblichen Kabelnetzen ist durch den symmetrischen Aufbau der Kabel bzw. durch die Verdrillung der Leiter dies meist nicht gegeben. Außerdem wird für einen Berechnungszyklus eine Verstellung der Petersen-Spule erforderlich. Durch die notwendige Verstellung der Petersen-Spule kann dieser

25 Berechnungszyklus bis zu einigen Minuten dauern und setzt konstante Netzverhältnisse während der Berechnung voraus. Als Auslösevorgang für den Abstimmversuch, der eine Verstellung der Petersen-Spule bewirkt ist eine Änderung in der Verlagerungsspannung. Ist die Ursache für die Änderung der Verlagerungsspannung nicht eine Änderung der Netzgröße, so verlässt die Petersen-Spule während

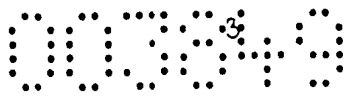
30 des Suchvorganges den Abgestimmt - Zustand für längere Zeit. Tritt während dieses Suchvorganges ein Erdschluss auf, so ist das Netz nicht optimal kompensiert.



Die anderen Verfahren, wie z.B. nach WO 86/03350 bzw. US 5 559 439 arbeiten nach einem reduzierten Schaltbild, sodass die Abstimmung der Erdschlusslöschspule im gesunden Netz für kleine Verlagerungsspannungen erfolgreich ist. Beim Verfahren nach dem Patent US 5 559 439 wird die Nullimpedanz des Netzes inklusive der Erdschlusslöschspule im gesunden Zustand gemessen. Durch die Messung wird die Abweichung von der Vollkompensation ermittelt. Zur Bestimmung der Parameter des Netzes ist zusätzlich die aktuelle Größe der Petersen-Spule erforderlich. Sind zusätzliche Petersen-Spulen im gleichen Netz vorhanden, so ist es schwierig diese zu erfassen und für die Berechnung der Netzparameter zu berücksichtigen. Die Praxis hat gezeigt, dass bestimmte Stromgrößen zu Einschwingzeiten im Minuten-Bereich führen. Außerdem fehlt bei symmetrischen Netzen ein Anregekriterium für die Überprüfung der aktuellen Abstimmung. Des weiteren ist die Berechnung bei großen Verstimmungen sehr ungenau. Außerdem wird während des Messzyklusses bestehend aus einem Zeitraum ohne Stromeinspeisung und einem Zeitraum mit Stromeinspeisung eine konstante Verlagerungsspannung bzw. Unsymmetrie des Netzes gefordert, was bei vielen Netzen nicht der Fall ist. Wie im Artikel "Control of Petersen Coils, ISTET 2001" beschrieben wird, erfolgt ein lastabhängiges Übersprechen des Mitsystems auf das Nullsystem. In einigen Netzen ist aus diesem Grunde auch durch Mittelwertbildung über einige Minuten eine Bestimmung der aktuellen bzw. notwendigen Abstimmung nicht möglich.

In der Offenlegungsschrift wird ein konstant eingestellter Strom geschaltet. Durch die Schalthandlungen im Netz können sich allerdings die Netzparameter stark verändern. Der einspeisende Strom kann dadurch bei kleinen Netzen zu nicht erlaubten Unsymmetriespannungen führen, bzw. liefert bei großen Netzen eine zu geringe Änderung der Verlagerungsspannung.

Ähnliches gilt für das Verfahren nach Patent WO 86/03350, bei welchem davon ausgegangen wird, dass die größte Verlagerungsspannung im Resonanzpunkt ist. Das Verfahren erfordert eine Mindest-Verlagerungsspannung und funktioniert nicht bei symmetrischen Netzen, wie Sie bei Kabelnetzen üblicherweise anzufinden sind.

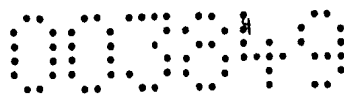


In der Patentschrift DE 195 25 417 C2 ist eine Kombination aus einer stufig geschalteten Erdschlusslöschspule in Verbindung mit einem Hilfstrafo aufgeführt. Diese Kombination erlaubt durch die Erzeugung eines "Kompensationsstromes" sowohl eine Kompensation des Blindanteiles als auch des üblicherweise verbleibenden ohmschen Wirkstromes über die Fehlerstelle. Die Einstellung des "Kompensationsstromes" erfolgt unter Anwendung bekannter Verfahren zur Berechnung der notwendigen Parameter im "gesunden Netz". Es wird nur die Möglichkeit der vollkommenen Kompensation an der Fehlerstelle beschrieben, nicht jedoch wie der "Kompensationsstrom" aus den verfügbaren Messungen im Umspannwerk im Falle eines Erdschlusses eingestellt wird. Eine notwendige Nachregelung des "Kompensationsstromes" infolge von Abschaltung von Netzteilen während eines Erdschlusses ist nicht beschrieben.

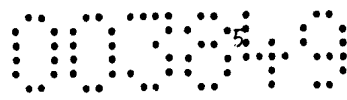
Die Regelung einer Petersenspule ist eine Präventivmaßnahme für den Fall eines einpoligen Erdschlusses. Durch eine korrekte Kompensation wird der Strom über die Fehlerstelle reduziert. Dadurch wird einerseits die Zerstörungen an der Fehlerstelle reduziert und andererseits die Schritt- und Berührspannungen im Bereich der Fehlerstelle stark reduziert. Durch die zunehmende Verkabelung und Ausbau der Löschbezirke erreichen die kapazitiven Ströme Werte bis zu 1000A, so dass Maßnahmen zur Reduktion der Ströme über die Fehlerstelle immer wichtiger werden.

Durch das Abschalten von Leitungssegmenten wird die zu löschende Leitungskapazität verändert. Dadurch wird der Strom über die Fehlerstelle im Falle eines Erdschlusses verändert und kann vorgegebene Grenzwerte überschreiten. Meist wird unter anderem auch die Löschgrenze nach VDE 228 überschritten.

Aus diesen Gründen sollte eine Änderung der Leitungslänge, bereits vor einem anstehenden Erdschlusses, so schnell wie möglich erkannt und die Petersenspule so schnell wie möglich nachgestimmt werden.



- Die bekannten Verfahren erkennen Änderungen im Netz nur wenn eine genügend hohe Verlagerungsspannung vorhanden ist und wenn die Verlagerungsspannung während des Berechnungszyklusses einigermaßen konstant ist. Für die Berechnung wird für einige Minuten die Petersenspule aus dem letzten Abstimpunkt
- 5 verstellt. Da eine Unterscheidung zwischen einer tatsächlichen Schalthandlung und einem lastabhängigen Übersprechen aus dem Mitsystem nur durch Messung der Verlagerungsspannung nicht möglich ist, erfolgt eine Berechnung auch, wenn sich die Verlagerungsspannung durch lastabhängiges Übersprechen aus dem Mitsystem ändert. Ein anderer Grund für eine Änderung der Verlagerungsspan-
- 10 nung ohne Änderung der zu kompensierenden Leiter-Erde Kapazität ist eine Schalthandlungen im parallel geführten Systemen, die durch kapazitive Kopplungen die Nullspannung beeinflussen.
- Mit dem neuen Verfahren wird bei einer von 50 Hz unterschiedlichen Frequenz
- 15 gemessen. Die 50 Hz Komponenten werden herausgefiltert und wirken sich nicht auf die Ermittlung der Parameter aus. Durch eine Parametrierung können Maximalwerte für die Änderung der Verlagerungsspannung \underline{U}_0 verursacht durch die Stromquelle bzw. maximale Stromwerte für die Stromquelle vorgegeben werden.
- 20 Durch die gleichzeitige Einspeisung von zwei Strömen mit zwei unterschiedlichen Frequenzen und gleichzeitiger Auswertung der Messung erfolgt die Berechnung sehr schnell und zur gleichen Zeit. Es müssen nicht aufeinander folgende Messwerte bzw. Netzzustände verglichen werden.
- 25 Durch Überwachung der Verlagerungsspannung wird die Größe der eingespeisten Ströme so eingestellt, dass einerseits eine genügend große Verlagerungsspannung bei großen Verstimmungen entsteht bzw. andererseits bei sehr kleinen Netzen die Grenzwerte für \underline{U}_0 nicht überschritten wird.
- 30 Als Auslösekriterium für einen Berechnungsgang kann eine Änderung der 50Hz-Verlagerungsspannung sein.

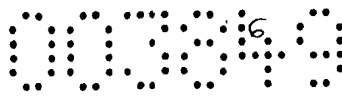


Bei symmetrischen Netzen muss eine Änderung des Netzes nicht zwangsweise zu einer Änderung der Verlagerungsspannung führen. In diesem Fall wird ständig ein Mischstrom eingespeist und die Überwachung der Netzparameter erfolgt ständig. Eine Änderung der Netzparameter führt zu einem Berechnungsgang und bei
5 Bedarf zum Nachregeln der Petersen-Spule.

Die Petersen-Spule ist üblicherweise in Ampere geeicht. Bei den heute üblichen Verfahren der Abstimmung von Petersen-Spulen wird die Null-Induktivität des Trafos nicht berücksichtigt. Die Folge ist ein zu groß angezeigter kapazitiver
10 Strom. Durch Messung der Spannung \underline{U}_0 an den Sekundär-Klemmen des Trafos und der Verlagerungsspannung \underline{U}_{NE} kann während des Betriebes auch die Nullinduktivität des Trafos ermittelt und berücksichtigt werden. Die Nullinduktivität ist außerdem bei Stufentransformatoren auch von der aktuellen Stufenstellung des Trafos abhängig.

15 Durch das neue Messverfahren werden auch die Nachteile der Messung mit dem offenen Dreieck beseitigt. Durch die Summenbildung von drei großen Werten ist diese Messung für Regler mit einer Suche nach einem Resonanzmaximum nicht geeignet. Der Fehlervektor von \underline{U}_0 kann zu einem vollkommen falschen Regelverhalten führen. Durch die Einspeisung im Nullsystem haben alle drei Spannungen
20 am Wandler die gleiche Richtung. Toleranzen der Spannungswandler wirken sich daher nicht mehr so stark aus.

Die Einspeisung kann über eine Leistungshilfswicklung der Petersen-Spule oder
25 über einen Hilfstrafo erfolgen. Die Spannung \underline{U}_{NE} kann direkt an der Einspeisung oder über die Spannungsmesswicklung der Petersen-Spule erfolgen. Die Messung der Nullspannung \underline{U}_0 kann mit den bekannten Verfahren der offenen Dreieckswicklung am Trafo oder an der Sammelschiene erfolgen. Die Nullströme können entweder zwischen der Petersen-Spule und der Erde oder am Transformator
30 mit Hilfe von Kabelumbauwandler oder mit Hilfe der Holmgreenschaltung gemessen werden.



Erfindungsgemäß ist das Verfahren zur Bestimmung der Parameter eines gelöschten Netzes ohne Verstimmung der Petersen-Spule, das auch geeignet ist für sehr symmetrische Netze durch die folgenden Schritte gekennzeichnet :

- 5 a. Einspeisen eines zusammengesetzten Stromes in das Nullsystem des gelöschten Netzes.
- b. Der Strom setzt sich aus der Überlagerung des Stromes mit der Amplitude \hat{I}_{f1} und der Frequenz f_1 und des zweiten Stromes mit der Amplitude \hat{I}_{f2} und der Frequenz f_2 zusammen.
- 10 c. Die Spannungen \underline{U}_{NE_f1} und \underline{U}_{NE_f2} werden nach bekannten Verfahren nach Betrag und Winkel für die beiden Frequenzen gemessen. Der Winkel bezieht sich auf den zugehörigen Einspeisestrom.
- d. Für beide Frequenzen wird die Admittanz ermittelt:

$$\underline{Y}_{N_f1} = \frac{\underline{I}_{f1}}{\underline{U}_{NE_f1}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{Y}_{N_f2} = \frac{\underline{I}_{f2}}{\underline{U}_{NE_f2}} \quad (16)$$

- e. Mit Berücksichtigung der Trafo-Nullinduktivität kann mit Schritt k. fortgesetzt werden.
- 15 f. Ohne Berücksichtigung der Trafo-Nullinduktivität ist die Nulladmittanz für die Frequenz f_1 bzw. f_2 :

$$\underline{Y}_{N_f1} = \frac{\underline{I}_{f1}}{\underline{U}_{NE_f1}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{j\omega_1 L_p} + j\omega_1 C_E \quad (17)$$

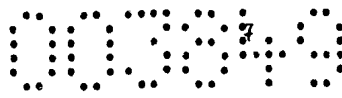
$$\underline{Y}_{N_f2} = \frac{\underline{I}_{f2}}{\underline{U}_{NE_f2}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{j\omega_2 L_p} + j\omega_2 C_E \quad (18)$$

- g. Der Wirkanteil R_p der Ersatzschaltung ergibt sich unmittelbar aus dem Realteil der Nulladmittanz.

$$\underline{Y}_{Nr_f1} = \text{real} \left\{ \frac{\underline{I}_{f1}}{\underline{U}_{NE_f1}} \right\} = \frac{1}{R_p} \quad (19)$$

- 20 h. Aus den beiden Imaginärteilen

$$\underline{Y}_{Ni_f1} = -\text{imag} \{ \underline{Y}_{N_f1} \} \quad \text{bzw.} \quad \underline{Y}_{Ni_f2} = -\text{imag} \{ \underline{Y}_{N_f2} \} \quad (20)$$



kann durch Umformung die Erdkapazität C_E des Netzes und die Gesamtduktivität der Petersenspule inklusive den vorhandenen Fixspulen L_P berechnet werden.

$$C_E = \frac{Y_{Ni-f2} \omega_2 - Y_{Ni-f1} \omega_1}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \quad (21)$$

$$L_P = \frac{1}{\omega_1 (Y_{Ni-f1} + \omega_1 C_E)} \quad (22)$$

- i. Berechnung der Verstimmung v in A für 50 Hz

$$v_{50Hz} = E_1 \left(\frac{1}{\omega_{50Hz} L_P} - \omega_{50Hz} C_E \right) \quad (23)$$

- 5 j. Weiter mit Schritt p.

- k. Durch die Messung von der Verlagerungsspannung \underline{U}_{0fx} mit der Frequenz x an den Klemmen des Trafos kann für die Frequenz x die folgende Relation aufgestellt werden:

$$\frac{\underline{U}_{N-fx}}{\underline{U}_{0-fx}} = \underline{K}_{fx} = \frac{\frac{1}{j\omega_x C_E} + j\omega_x L_{oTr}}{\frac{1}{j\omega_x C}} = 1 - \omega_x^2 L_{oTr} C_E \quad (24)$$

- l. Die Nulladmittanz für die Frequenz x ergibt sich mit:

10

$$\underline{Y}_{N-fx} = \frac{\underline{I}_{fx}}{\underline{U}_{NE-fx}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{j\omega_x L_p} + \frac{1}{j\omega_x L_{oTr} + \frac{1}{j\omega_x C_E}} \quad (25)$$

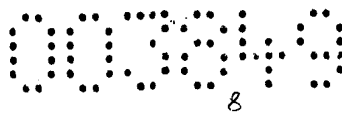
- m. Der Wirkanteil ist direkt aus dem Realteil der Nulladmittanz ablesbar:

$$\underline{Y}_{Nr-fx} = \text{real} \left\{ \frac{\underline{I}_{fx}}{\underline{U}_{NE-fx}} \right\} = \frac{1}{R_p} \quad (26)$$

- n. Durch Umformen erhält man analog zu Gleichung (20) aus den Imaginärteilen der Gleichung (25) für die Frequenzen f_1 und f_2 unter Berücksichtigung des Spannungsverhältnisses \underline{K}_{fx} :

15

$$L_P = \frac{K_{f2} \omega_1^2 - K_{f1} \omega_2^2}{\omega_1 \omega_2 (Y_{Ni-f2} \omega_1 K_{f2} - Y_{Ni-f1} \omega_2 K_{f1})} \quad (27)$$



$$C_E = \frac{K_{f1} - Y_{M1-f1} \omega_1 L_P K_{f1}}{\omega_1^2 L_P} \quad (28)$$

o. Berechnung der Verstimmung v in A für 50 Hz

$$v_{50Hz} = E_1 \left(\frac{1}{\omega_{50Hz} (L_P + L_{oTr})} - \omega_{50Hz} C_E \right) \quad (29)$$

p. Anzeigen der ermittelten Netz-Parameter.

q. Überprüfen ob die Verstimmung innerhalb der eingestellten Grenzen liegt.

r. Nachstellen der Petersenspule, wenn die eingestellten Grenzwerte überschrit-

5 ten werden.

s. Die Punkte a. bis r. wiederholen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der folgenden Schaltbilder beispielhaft näher beschrieben:

10

Bild 1: Ein gelöschtes Drehstromnetz mit einem Abgang mit zwei Leitungssegmenten. Die natürliche kapazitive Unsymmetrie des Netzes ist vereinfacht als konzentriertes Element zwischen den beiden Leitungsabschnitten dargestellt.

Bild 2: Darstellung des obigen Netzes mit Hilfe der Symmetrischen Komponenten.

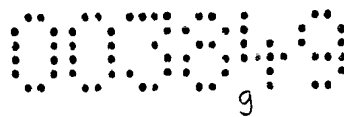
15 Bild 3: Reduktion des Bildes 2 auf die für die Bestimmung der Netzparameter und Regelung wesentlichen Komponenten

Der Regler wertet die Messung der Sternpunkt-Erde Spannung \underline{U}_{NE} , die Verlagerungsspannung \underline{U}_0 an den Klemmen des Trafos, sowie den Strom der Stromquelle \underline{I}_{sq} aus. Für zusätzliche Auswertungen kann der Nullstrom direkt mit einem Kabelumbauwandler am Trafo, an der Petersen-Spule oder über die Holmgreen-schaltung gemessen werden.

20

Im Bild 1 ist ein Drehstromnetz mit einem Abgang dargestellt. Es wurde für die Ströme und Spannungen die ältere Bezeichnung verwendet um eine bessere Abgrenzung zu den symmetrischen Komponenten zu erhalten. Die Versorgung des Netzes erfolgt über einen Transformator. Die Stromeinspeisung erfolgt über den Sternpunkt des Einspeisetransformators oder mit Hilfe eines Sternpunktbildners.

25

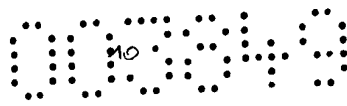


Die Ankopplung kann alternativ über einen Hilfstrafo oder über die Leistungshilfswicklung der Petersen-Spule erfolgen.

Das Verfahren dient zur Bestimmung des Stromes über die Fehlerstelle im Falle eines einpoligen niederohmigen Erdschlusses und somit zur Ermittlung der notwendigen Verstellung der Erdschlusslöschspule als Präventivmaßnahme. Die Messung kann jederzeit wiederholt werden.

Im Bild 2 ist das Ergebnis der Umformung des oben beschriebene Netzes mit Hilfe der "Symmetrischen Komponenten" dargestellt. Die Umformung erfolgt nach den bekannten Regeln und wird hier nicht beschrieben. Im Bild ist die Kopplung der Systeme durch die konzentriert gedachte kapazitive Unsymmetrie des Netzes dC bereits eingezeichnet.

- Für die weiteren Betrachtungen werden für das Bild 3 die folgenden Vereinfachungen getroffen
- Die Impedanz der Last ist üblicherweise um mindestens den Faktor 10 höher als die Längsimpedanzen des Trafos und der Leitung, und kann in erster Näherung vernachlässigt werden.
 - Die Impedanz der kapazitiven Unsymmetrie dC ist wesentlich größer als die Impedanz Z_{1Tr} , Z_{1A1} , Z_{2Tr} , Z_{2A2}
 - Die Spannung \underline{E}_R und die verbleibende Innenimpedanz bestehend aus Z_{1Tr} , Z_{1A1} , Z_{2Tr} , Z_{2A2} und dC können durch die Hochohmigkeit der kapazitiven Unsymmetrie auch als Stromquelle mit einer Frequenz von 50 Hz betrachtet werden.
 - Im Nullsystem sind die Leitungsimpedanzen vernachlässigbar, sodass alle Kapazitäten zu einer Leiter-Erde Kapazität C_E zusammengefasst werden können.
 - Die ohmschen Verluste der Trafo-Nullimpedanz sind vernachlässigbar im Vergleich zur Null-Induktivität des Trafos
 - Sämtliche Verluste des Nullsystems werden im Widerstand R_p zusammengefasst.



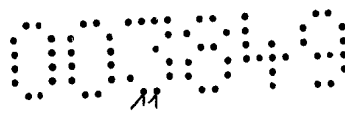
- Die Stromeinspeisung in das Nullsystem wird als einstellbare Stromquelle realisiert. Mit der Stromquelle können gleichzeitig Ströme mit unterschiedlicher Amplitude, Frequenz und Phasenlage erzeugt werden.

5 Im Regler werden die Spannungen \underline{U}_{RE} , \underline{U}_{SE} , \underline{U}_{TE} und \underline{U}_{NE} gegen Erde und die drei Leiterströme \underline{I}_R , \underline{I}_S und \underline{I}_T gemessen. Aus diesen können nach den bekannten Verfahren die symmetrischen Komponenten \underline{U}_1 , \underline{U}_2 , \underline{U}_0 sowie \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , und \underline{I}_0 berechnet werden. Die Nullspannung \underline{U}_0 und der Nullstrom \underline{I}_0 können alternativ auch mit Hilfe der bekannten Verfahren auch direkt gemessen werden.

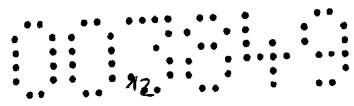
10

Die Vorteile des Verfahrens sind:

- Die Messung kann jederzeit wiederholt und auf Plausibilität überprüft werden.
- Durch Einspeisung von Strömen und Auswertung der Ströme und Spannungen mit einer von 50 Hz unterschiedlichen Frequenz wird der "Störeinfluss" der
- 15 Unsymmetrie beseitigt.
- Die Messung der Spannungen für die von 50 Hz abweichenden Frequenzen über das offene Dreieck ist wesentlich genauer, da eine Summenbildung von drei großen Werten, wie es beim 50Hz Drehstromsystem erfolgt, nicht statt findet.
- 20 - Die Messung kann kontinuierlich erfolgen.
- Der Messzyklus ist im wesentlichen nur vom verwendeten Filteralgorithmus abhängig.
- Die Messung kann auch auf Anforderung, z.B. nach Änderung der 50 Hz Verlagerungsspannung oder in zyklischen Zeitabständen z.B. 1h erfolgen.
- 25 - Die Messung liefert die Netzparameter auch für vollkommen symmetrische Netze.
- Schalthandlungen werden mit diesem Messverfahren auch in symmetrischen Netzen erkannt.
- Lastabhängiges Übersprechen aus dem 50 Hz Drehstromsystem auf das Null-
- 30 system werden unterdrückt.



- Die Messung erfasst alle im gelöschten Netz installierten Petersen-Spulen, eine komplizierte Berücksichtigung von verteilten Petersen-Spulen ist nicht notwendig.
- 5 - Durch Auswertung der 50 Hz Komponenten kann auch die Aufteilung der Unsymmetrie zu den einzelnen Leitern erfolgen.
- Durch die einstellbare Stromamplitude können geforderte Grenzwerte in Bezug auf maximale Änderung der Verlagerungsspannung eingehalten werden.
- Durch die einstellbare Stromamplitude können benötigte Spannungsamplituden für eine ausreichend genaue Messung der Admittanzen auch bei stark
10 verstimmten Netzen erreicht werden.
- Es können auch über mehrere Messungen statistische Mittelwerte durchgeführt werden.
- Für die Berechnung der tatsächlichen Leiter-Erde Kapazität kann die Null-Induktivität, die üblicherweise unbekannt ist, durch eine zusätzliche Messung
15 der Nullspannung \underline{U}_0 an den Trafo-Klemmen oder an der Sammelschiene berücksichtigt werden.
- Die Messung erfolgt, ohne einer Verstellung der Petersen-Spule, wodurch die mechanische Beanspruchung der Petersen-Spule stark reduziert wird. Diese kann vor allem in Netzen mit Übersprechen des Laststromes auf das Nullsystem sehr groß sein, da bei jeder Laständerung ein Suchlauf gestartet wird.
20
- Während der Messung wird die Petersen-Spule nicht verstellt, sodass die geforderte Kompensation bei den meisten Messaufgaben beibehalten wird. Zum Vergleich wird beim Resonanzverfahren bei symmetrischen Netzen der gesamte Verstellbereich der Petersen-Spule mehrfach nach einem Resonanzmaximum abgesucht.
25
- Die Frequenzen können bei großer Verstimmung so gewählt werden, dass in der Nähe der Eigenfrequenz des Netzes gemessen wird. Dadurch wird auch für stark verstimmte Netze eine genaue Messung erreicht.
- Durch die schnelle Erfassung der Änderung der Abstimmung des Netzes kann
30 eine schnelle und zielgerichtete Abstimmung der Petersen-Spule erfolgen.



- Bei der Bestimmung der Kapazität C_E nach Gleichung (15) wirken sich die Fehler der Holmgreenschaltung nicht so stark aus, da nicht die Summe von drei großen Strömen gebildet und bewertet werden müssen.

5

Patentansprüche

10 1. Verfahren zur Bestimmung der Parameter eines gelöschten Netzes ohne Ver-
stimmung der Petersen-Spule g e k e n n z e i c h n e t durch die folgenden
Schritte:

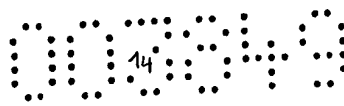
- a. Einspeisen eines zusammengesetzten Stromes in das Nullsystem des ge-
15 löschten Netzes.
- b. Wobei sich der Strom aus der Überlagerung des Stromes mit der Amplitude
 \hat{I}_{f1} und der Frequenz f_1 und des zweiten Stromes mit der Amplitude \hat{I}_{f2} und
der Frequenz f_2 zusammensetzt.
- c. Messen der Spannungen \underline{U}_{NE_f1} und \underline{U}_{NE_f2} nach bekannten Verfahren nach
20 Betrag und Winkel für die beiden Frequenzen. Der Winkel bezieht sich auf
den zugehörigen Einspeisestrom.

d. Ermitteln der Admittanz für beide Frequenzen:

$$\underline{Y}_{N_f1} = \frac{\underline{I}_{f1}}{\underline{U}_{NE_f1}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{Y}_{N_f2} = \frac{\underline{I}_{f2}}{\underline{U}_{NE_f2}} \quad (1)$$

- e. Mit Berücksichtigung der Trafo-Nullinduktivität kann mit Schritt k. fortgesetzt
werden.
- 25 f. Ohne Berücksichtigung der Trafo-Nullinduktivität ist die Nulladmittanz für die
Frequenz f_1 bzw. f_2 :

$$\underline{Y}_{N_f1} = \frac{\underline{I}_{f1}}{\underline{U}_{NE_f1}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{j\omega_1 L_p} + j\omega_1 C_E \quad (2)$$



$$\underline{Y}_{N-f2} = \frac{I_{f2}}{\underline{U}_{NE-f2}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{j\omega_2 L_p} + j\omega_2 C_E \quad (3)$$

- g. Der Wirkanteil R_p der Ersatzschaltung ergibt sich unmittelbar aus dem Realteil der Nulladmittanz.

$$\underline{Y}_{N-f1} = \text{real} \left\{ \frac{I_{f1}}{\underline{U}_{NE-f1}} \right\} = \frac{1}{R_p} \quad (4)$$

- h. Berechnung der Erdkapazität C_E des Netzes und die Gesamtinduktivität der Petersenspule L_p inklusive den vorhandenen Fixspulen aus den beiden Imaginärteilen durch Umformung

$$Y_{Ni-f1} = -\text{imag} \{ \underline{Y}_{Ni-f1} \} \quad \text{bzw.} \quad Y_{Ni-f2} = -\text{imag} \{ \underline{Y}_{Ni-f2} \} \quad (5)$$

$$C_E = \frac{Y_{Ni-f2} \omega_2 - Y_{Ni-f1} \omega_1}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \quad (6)$$

$$L_p = \frac{1}{\omega_1 (Y_{Ni-f1} + \omega_1 C_E)} \quad (7)$$

- i. Berechnung der Verstimmung v in A für 50 Hz

$$v_{50Hz} = E_1 \left(\frac{1}{\omega_{50Hz} L_p} - \omega_{50Hz} C_E \right) \quad (8)$$

- j. Weiter mit Schritt p.

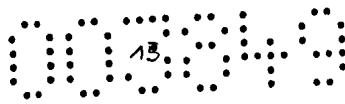
- k. Aufstellen der folgenden Relation durch die Messung von der Verlagerungsspannung \underline{U}_{0-fx} mit der Frequenz x an den Klemmen des Trafos für die Frequenz x :

$$\frac{\underline{U}_{N-fx}}{\underline{U}_{0-fx}} = K_{fx} = \frac{\frac{1}{j\omega_x C_E} + j\omega_x L_{oTr}}{\frac{1}{j\omega_x C}} = 1 - \omega_x^2 L_{oTr} C_E \quad (9)$$

- l. Die Nulladmittanz für die Frequenz x ergibt sich mit:

$$\underline{Y}_{N-fx} = \frac{I_{fx}}{\underline{U}_{NE-fx}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{j\omega_x L_p} + \frac{1}{j\omega_x L_{oTr} + \frac{1}{j\omega_x C_E}} \quad (10)$$

- m. Der Wirkanteil ist direkt aus dem Realteil der Nulladmittanz ablesbar:



$$\underline{Y}_{Nr_fx} = \text{real} \left\{ \frac{\underline{I}_{fx}}{\underline{U}_{NB_fx}} \right\} = \frac{1}{R_p} \quad (11)$$

- n. Durch Umformen erhält man analog zu Gleichung (5) aus den Imaginärteilen der Gleichung (10) für die Frequenzen f_1 und f_2 unter Berücksichtigung des Spannungsverhältnisses K_K :

$$L_p = \frac{K_{f2} \omega_1^2 - K_{f1} \omega_2^2}{\omega_1 \omega_2 (Y_{Ni_f2} \omega_1 K_{f2} - Y_{Ni_f1} \omega_2 K_{f1})} \quad (12)$$

$$C_E = \frac{K_{f1} - Y_{Ni_f1} \omega_1 L_p K_{f1}}{\omega_1^2 L_p} \quad (13)$$

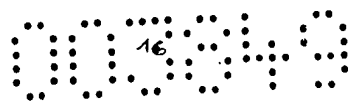
- 5 o. Berechnung der Verstimmung v in A für 50 Hz

$$v_{50Hz} = E_1 \left(\frac{1}{\omega_{50Hz} (L_p + L_{otr})} - \omega_{50Hz} C_E \right) \quad (14)$$

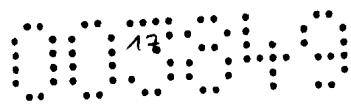
- p. Anzeigen der ermittelten Netz-Parameter.

- Wiederholen der Punkte a. bis p.

- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stromeinspeisung im Sternpunkt des Speise-Transformators erfolgt.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stromeinspeisung im Sternpunkt eines Nullpunktsbildners erfolgt.
- 20 4. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Ankopplung der Stromeinspeisung über einen Hilfstrafo oder über eine Leistungshilfswicklung der Petersen-Spule erfolgt



5. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
5 dass die Ergebnisse der Bestimmung der Parameter des gelöschten Netzes für
die Abstimmung einer Petersen-Spule verwendet werden.
6. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass bei symmetrischen Netzen die Messung dauernd erfolgt.
7. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass eine Änderung der 50 Hz-Verlagerungsspannung einen oder mehrere Mess-
zyklen zur Bestimmung der Parameter des gelöschten Netzes auslösen.
- 20 8. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass durch ein externes Signal ein oder mehrer Messzyklen zur Bestimmung der
Parameter des gelöschten Netzes ausgelöst werden.
- 25 9. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Frequenzen so gewählt werden, dass diese in der Nähe der Resonanz-
frequenz des Netzes liegen.
- 30 10. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,



dadurch gekennzeichnet,

dass durch Berücksichtigung der 50 Hz Messungen auch eine Aufteilung der Unsymmetrie zu den einzelnen Leitern erfolgt.

5

11. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass durch Vorgabe einer maximalen Änderung der Verlagerungsspannung der Einspeisestrom bis auf einen zugehörigen maximalen Wert geregelt wird.

10

12. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass durch Vorgabe einer minimalen Spannungsänderung der Einspeisestrom bis

15 auf einen maximal vorgegebenen Wert geregelt wird.

13. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

20 dass bei verrauschten Netzen eine Mittelwertbildung über mehrere Messungen erfolgt

14. Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche,

25 dadurch gekennzeichnet,

dass die Berechnung der Leiter-Erdkapazität direkt aus der Messung der Verlagerungsspannung \underline{U}_0 und des Stromes \underline{I}_0 bei der Frequenz x erfolgt:

$$C_E = \frac{1}{\omega_x} \operatorname{imag} \left\{ \frac{\underline{I}_{0_fx}}{\underline{U}_{0_fx}} \right\} \quad (15)$$

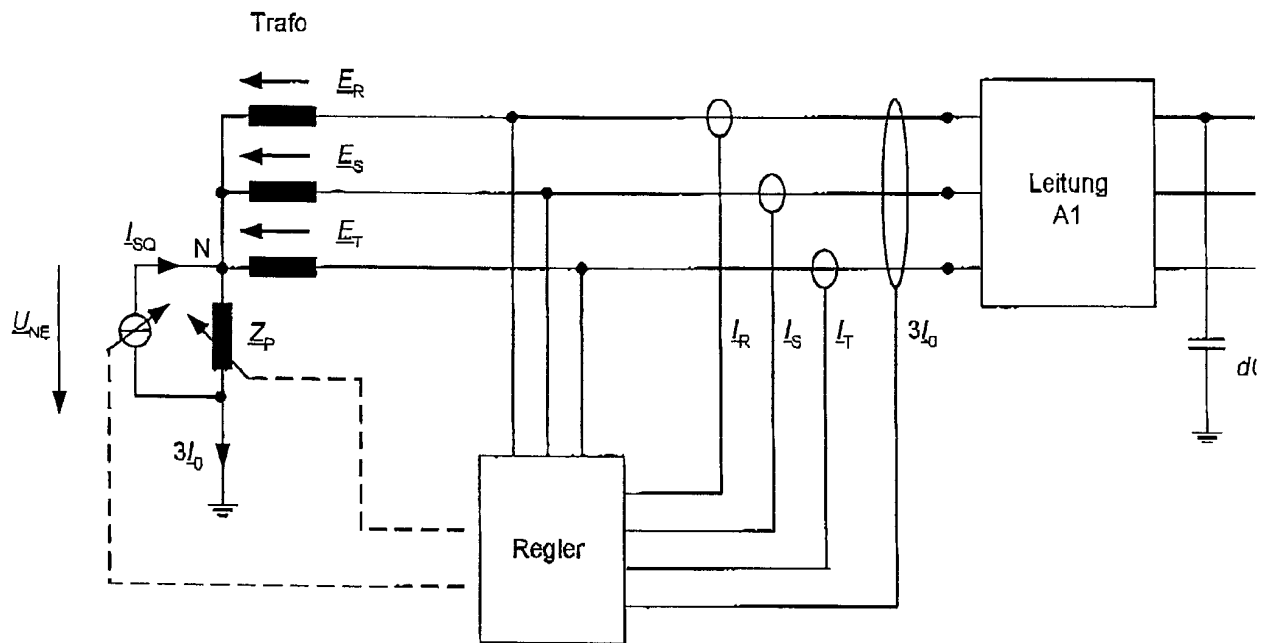


Bild 1

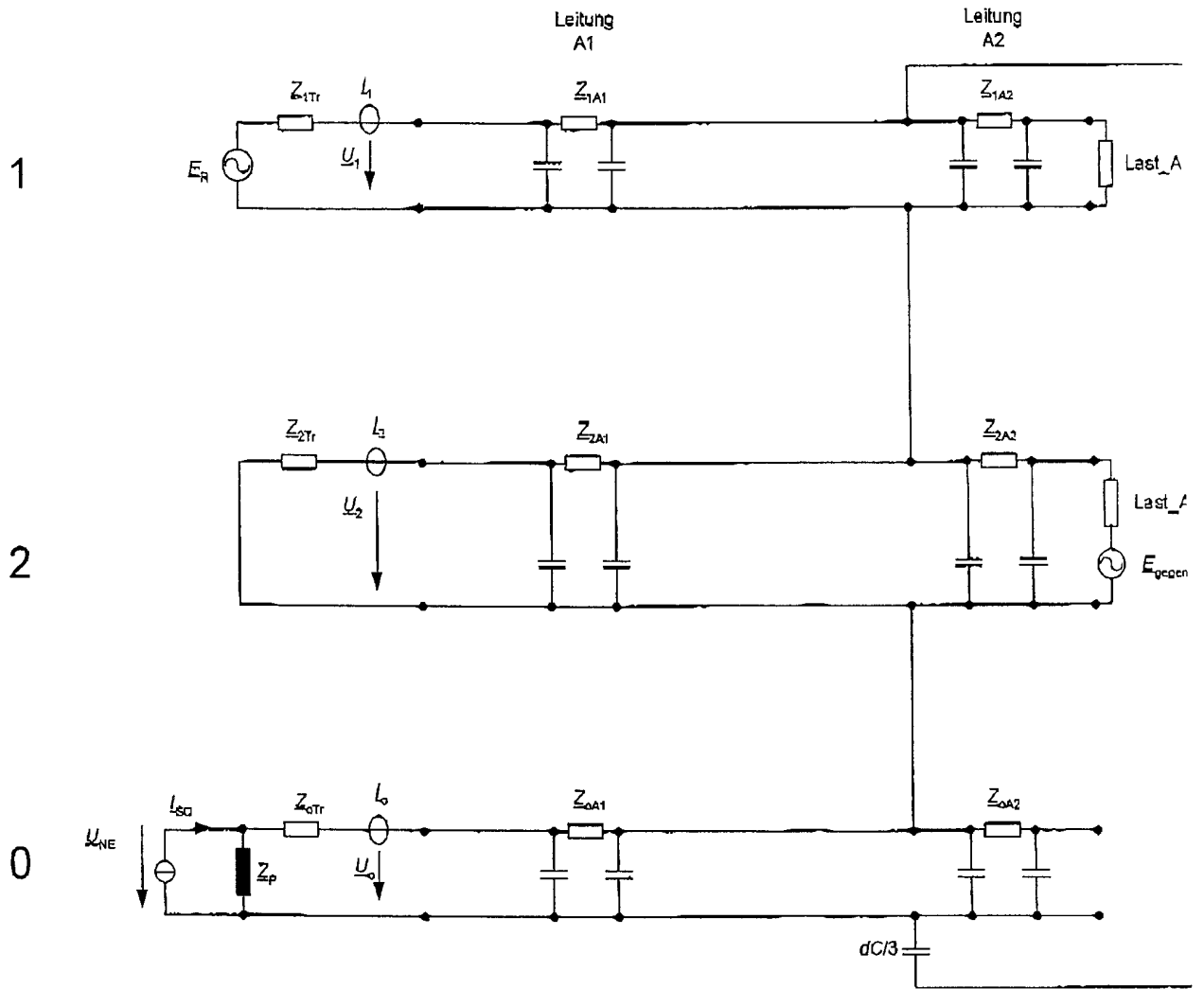


Bild 2

003849

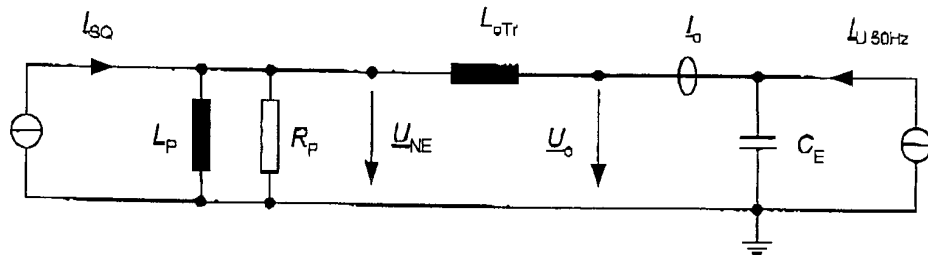


Bild 3

5

10