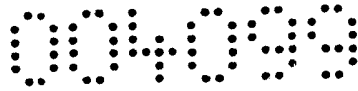


ZUSAMMENFASSUNG

Ein Verfahren zur Entfernungsortung von Erdschlüssen in erdschlusskompensiert betriebenen 3-Phasen-Elektroenergienetzen mit zumindest einem Sternpunkt, welcher über eine, einen induktiven Anteil besitzende Kompensationsimpedanz mit Erde verbunden ist, wobei an zumindest einem Messort in jeder Phase ständig Strom und Spannung gemessen und überwacht werden und bei welchem bei Überschreiten eines vorgebbaren Grenzwertes der Verlagerungsspannung (V_0) und bei Unterschreiten einer vorgebbaren Minimalspannung eines Phasenleiters durch Strom- und Spannungsmessung der Leitungswiderstand (Z^1) in diesem Phasenleiter bis zu der Erdschlussstelle und an Hand des bekannten Leitungswiderstandes je Längeneinheit die Entfernung bis zu dem Erdschluss berechnet werden.

Fig. 1



VERFAHREN ZUR ENTFERNUNGSORTUNG VON ERDSCHLÜSSEN

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Entfernungsortung von Erdschlüssen in erdschlusskompensiert betriebenen 3-Phasen-Elektroenergienetzen mit zumindest einem Sternpunkt, welcher über eine, einen induktiven Anteil besitzende Kompensationsimpedanz mit Erde verbunden ist, wobei an zumindest einem Messort in jeder Phase ständig Strom und Spannung gemessen und überwacht werden.

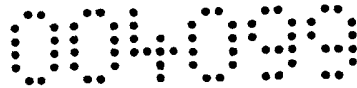
Im Betrieb auftretende Erdschlüsse sind abgesehen von damit verbundenen möglichen Betriebsunterbrechungen eines Netzabschnittes mit allen Folgeerscheinungen auch deshalb bedenklich, weil sie zu hohen Potentialdifferenzen in der Umgebung des Erdschlusses und somit eine Gefährdung für Personen und Tiere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

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.

Aus der GB 525,334 ist es bekannt geworden, parallel zu der Petersen-Spule vorübergehend einen ohmschen Widerstand zu schalten, um so die Kompensation zu verringern, den Strom über den Sternpunkt zu erhöhen und dadurch leichter den Leiter feststellen zu können, welcher erdschlussbehaftet ist.

Das Dokument WO 02/15355 A2 beschreibt die Einspeisung einer Zusatzspannung parallel zu der Kompensationsimpedanz, um auf diese Weise die im Erdschlussfall entstehende Verlagerungsspannung zu kompensieren. Durch Auswertung der Summenströme kann auch ein fehlerbehafteter Leitungsabschnitt identifiziert werden.

Aus der WO 99/10959 geht ein Verfahren hervor, bei welchem eine einstellbare Kompensationsimpedanz im Betrieb an die Erdimpedanz angepasst wird, wobei von bei Schaltvorgängen auftretenden Transienten ausgegangen wird.



Erdschlüsse werden dadurch erkennbar, dass die Stromsumme der drei Phasenleiter im Erdschlussfall im allgemeinen deutlich von der Stromsumme im erdschlussfreien Betrieb abweicht. In kompensiert betriebenen Netzen tritt im Fehlerfall zusätzlich eine deutliche Vergrößerung der Verlagerungsspannung auf.

Die bekannten Verfahren zur Fehlerortbestimmung in elektrischen Energieverteilungsnetzen funktionieren nach dem Prinzip der Impedanzmessung.

$$Z = \frac{U}{I + k_0 \cdot I_\Sigma}$$

worin bedeuten:

- Z gemessene Impedanz vom Messort bis zur Fehlerstelle
- U gemessene Phasenspannung am Messort
- I gemessener Phasenstrom am Messort
- k_0 Längenunabhängiger Faktor zur Berücksichtigung von Z_0 („Erdimpedanz“)
- I_Σ Summenstrom am Messort

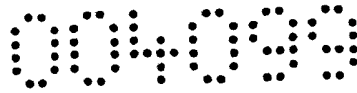
Am Messort werden die Spannung und der Strom der fehlerbehafteten Phase und der Summenstrom der eigenen Leitung gemessen und zur Auswertung herangezogen.

Dieses Prinzip funktioniert bei Erdkurzschlüssen (Erdschlüsse mit Strömen größer 1kA) und ist in niederohmig geerdeten Netzen weit verbreitet im Einsatz.

Seit ca. 15 Jahren werden größtenteils moderne, mikroprozessor-gesteuerte Einrichtungen, so genannte „Distanzschutzrelais“ verwendet, welche einen Erdkurzschluss erkennen und gegebenenfalls eine Zwangsauslösung, d.h. ein Trennen des fehlerbehafteten Kabelabschnittes von dem Netz veranlassen, wobei diese Geräte natürlich auch Kurzschlüsse zwischen Phasenleitern behandeln, die jedoch nicht Gegenstand der Erfindung sind. Bei gelöschten Netzen wird allerdings eine Zwangsauslösung bei Erdschlüssen bewusst unterdrückt, um nach Möglichkeit einen unterbrechungsfreien Betrieb zu gewährleisten.

Es ist bekannt, zur Fehlerortbestimmung in gelöschten Netzen z.B. nach Auffinden der fehlerhaften Leitung durch Schalthandlungen die Leitung abzufahren und den Fehlerort zu suchen, doch erfordert dies große Erfahrung der damit betrauten Personen, einen großen Personaleinsatz und meist einen sehr hohen Zeitaufwand.

Man hat auch versucht, durch Auswertung von transienten Einschwingvorgängen beim Erdschluss den Fehlerort zu bestimmen, doch sind die transienten Vorgänge von der



Netzstruktur und der momentan auftretenden Netzsituation abhängig, sodass kein allgemein gültiges Verfahren angegeben werden kann, das auf der Auswertung von Einschwingvorgängen bei Erdschlüssen beruht.

Eine Aufgabe der Erfindung liegt darin, ein Verfahren anzugeben, das im wesentlichen mittels bereits vorhandener Schutzgeräte eine einfache und zuverlässige Entfernungsortung bei Erdschlüssen in gelöschten Netzen sowie im Bedarfsfall auch ein Abschalten von Leitungsabschnitten erlaubt.

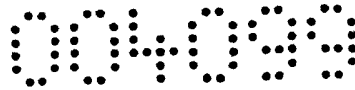
Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass bei Überschreiten eines vorgebbaren Grenzwertes der Verlagerungsspannung und bei Unterschreiten einer vorgebbaren Minimalspannung eines Phasenleiters durch Strom- und Spannungsmessung die Leitungsimpedanz in diesem Phasenleiter bis zu der Erdschlussstelle und an Hand der bekannten Leitungsimpedanz je Längeneinheit durch eine Impedanzberechnung, ausgehend von der gemessenen Phasenspannung am Messort, dem gemessenen Phasenstrom am Messort und dem Summenstrom am Messort unter Berücksichtigung der Erdungsimpedanzen am Messort und am Fehlerort die Entfernung bis zu dem Erdschluss berechnet wird.

Das Verfahren nach der Erfindung kann mit Hilfe vorhandener Distanzschutzgeräte durchgeführt werden, es müssen lediglich die Anrege- und Auslöseparameter bzw. Algorithmen an das Verfahren angepasst werden.

Bei einer zweckmäßigen Variante der Erfindung ist vorgesehen, dass vor der Strom- und Spannungsmessung in dem erdschlussbehafteten Phasenleitern vorübergehend eine Zusatzimpedanz parallel zu der Kompensationsimpedanz des Sternpunktes geschaltet und die Strom- und Spannungsmessung zur Entfernungsbestimmung über die Leitungsimpedanz mit einem durch die Parallelschaltung erhöhten Erdstrom durchgeführt und danach die Zusatzimpedanz wieder abgeschaltet wird.

Auf diese Weise wird sichergestellt, dass ein genügend hoher Messstrom zur Verfügung steht, was bei kompensierten Netzen für den Fall eines Erdschlusses nicht notwendigerweise der Fall ist, da die Kompensation theoretisch gar keinen Fehlerstrom zulässt. Auf diese Weise ist in jedem Fall eine sehr genaue Bestimmung des Fehlerortes möglich.

Dabei ist es zweckmäßig, wenn das Zuschalten der Zusatzimpedanz und die mit dieser erfolgende Strom- und Spannungsmessung um zumindest eine Netzperiode verzögert



erfolgt, da auf diese Weise so genannte „Erdschlusswischer“ und Einschwingvorgänge nicht in die Messung einfließen.

In der Praxis hat es sich bewährt, dass als Zusatzimpedanz ein ohmscher Widerstand parallel zu der Kompensationsimpedanz des Sternpunktes geschaltet wird.

Es ist weiters zweckmäßig, wenn die Phasenspannung U_{LIE} , der Phasenstrom I_{L1} und der Summenstrom I_{Σ} am Messort ermittelt und daraus die Impedanz Z^1 bis zur Erdschlussstelle berechnet werden, wodurch sich nach

$$Z^1 = \frac{U_{LIE}}{I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0} = Z_1 \cdot l$$

mit $Z^1 =$ auf eine Längeneinheit bezogene Impedanz die Entfernung l bis zur Erdschlussstelle ergibt.

Eine oft signifikante Verbesserung der Fehlerlokalisierung kann sich ergeben, wenn eine Berücksichtigung der Fehlerimpedanz Z_{FW} durch

$$Z^1 = \frac{U_{LIE} - I_{FW} \cdot Z_{FW}}{I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0} = Z_1 \cdot l$$

erfolgt, wobei I_{FW} der Strom an der Fehlerstelle ist.

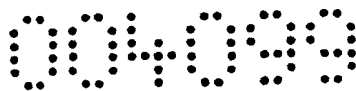
Eine zusätzliche Erhöhung der Genauigkeit lässt sich in vielen Fällen erzielen, wenn eine Berücksichtigung der kapazitiven Ströme durch $I_{FW} = I_{\Sigma} + I_{kap}$ erfolgt.

Ein weiterer, die Genauigkeit beeinträchtigender Einfluss lässt sich eliminieren, wenn die kapazitiven Ströme gemäß

$$I_{FW} = I_{\Sigma} + I_{kap} \cdot \frac{U_{mess}^0}{U_{nenn}}$$

durch das Verhältnis der Verlagerungsspannung U_{mess}^0 zur Nennspannung U_{nenn} bewertet werden.

Es ist auch empfehlenswert vorzusehen, dass bei Vorliegen nicht plausibler Messergebnisse erneut und gleichfalls vorübergehend eine Zusatzimpedanz parallel zu der



Kompensationsimpedanz des Sternpunktes geschaltet wird und die Strom- und Spannungsmessungen für die Berechnung der Erdschlusssentfernung wiederholt werden.

Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, dass nach erfolgter Fehlerortberechnung die fehlerbehaftete Leitung ein- oder beidseitig abgeschaltet wird, nämlich dann, wenn es Qualität und/oder Quantität des Erdschlusses erforderlich scheinen lassen.

In der Praxis bewährt es sich, wenn die Strom- und Spannungsmessung mit der Grundfrequenz des Netzes durchgeführt wird, doch können zur Erhöhung der Genauigkeit auch Harmonische und/oder Zwischenharmonische von Strom und Spannung bei der Messung berücksichtigt werden.

Da das Verfahren hinsichtlich der Wahl des Messortes äußerst flexibel ist, kann man auch vorsehen, dass die Messung an zumindest zwei, in Abstand voneinander liegenden Messorten einer Leitung erfolgt, die mehrere, durch Schalteinrichtungen trennbare Leitungsabschnitte aufweist, und auf Basis dieser Messungen ein fehlerbehafteter Leitungsabschnitt selektiv abgetrennt wird. Auf diese Weise können weitgreifende Ausfälle eines Netzes wirksam vermieden werden.

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 die Anordnung mehrerer Messorte und Schaltstellen in einem in Abschnitte unterteiltem Netz,

Fig. 4a und 4b an Hand von Ersatzschaltbildern eine Messung bei Verwendung einer zuschaltbaren Zusatzimpedanz mit bzw. ohne Berücksichtigung einer Fehlerimpedanz,

Fig. 5 einen vereinfachten Ausschnitt der Fig. 1 mit einer Fehlerimpedanz und

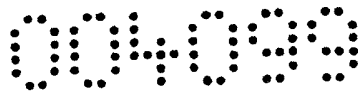


Fig. 6 in einem vereinfachten Schaltbild eines Netzausschnittes das Zustandekommen eines kapazitiven Summenstroms.

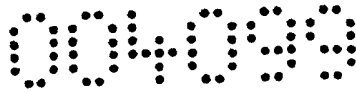
Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze eines 3-Phasen-Elektroenergienetzes, bei welchem über einen Transformator TRA mit Primärwicklungen PWI und Sekundärwicklungen SEW ein Netzabschnitt NAB angespeist wird. Diesem Abschnitt haften im Ersatzschaltbild Induktivitäten L_R, L_S, L_T , Kapazitäten $C_{R1}, C_{S1}, C_{T1}, C_{R2}, C_{S2}, C_{T2}$ 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 Kompensationsimpedanz KIP, meist Petersenspule“ genannt, mit Erde verbunden, wobei über einen gesteuerten Schalter SWI der Impedanz KIP eine Zusatzimpedanz ZIP, hier ein ohmscher Widerstand parallel geschaltet werden kann.

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 zu den Schalteinrichtungen führende Leitungen angedeutet ist. Fallweise wird es jedoch eine zentrale Datenverarbeitungsstelle geben, welche die Messergebnisse bewertet und an Hand von zusätzlichen Kriterien entscheidet, 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_O , 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.

Nun sieht die Erfindung vor, dass bei Überschreiten eines vorgebbaren Grenzwertes dieser Verlagerungsspannung V_O und bei Unterschreiten einer vorgebbaren Minimalspannung eines Phasenleiters, hier V_{TE} des Phasenleiters T durch Strom- und Spannungsmessung die Leitungsimpedanz in diesem Phasenleiter bis zu der Erdschlussstelle und an Hand der bekannten Leitungsimpedanz je Längeneinheit durch eine Impedanzberechnung, ausgehend von der gemessenen Phasenspannung am Messort, dem gemessenen



Phasenstrom am Messort und dem Summenstrom am Messort mittels geeigneter Bewertungsfaktoren die Entfernung bis zu dem Erdschluss berechnet wird.

In Hinblick auf den Umstand, dass der Strom in dem mit einem Erdschluss behafteten Phasenleiter, hier Leiter T wegen der Kompensation des Erdschlusses oft nur gering ist, kann es zur Sicherstellung ausreichender Messsignale zweckmäßig sein, wenn vor der Strom- und Spannungsmessung in dem erdschlussbehafteten Phasenleiter vorübergehend die Zusatzimpedanz ZIP parallel zu der Kompensationsimpedanz KIP des Sternpunktes STP geschaltet und die Strom- und Spannungsmessung zur Entfernungsbestimmung über die Leitungsimpedanz mit einem durch die Parallelschaltung erhöhten Erdstrom durchgeführt und danach die Zusatzimpedanz ZIP wieder abgeschaltet wird.

Die Darstellung nach Fig. 3 soll zeigen, dass eine Leitung, die hier links von einem Transformator TRA gespeist wird, wobei ein Sternpunkt STP über eine Kompensationsimpedanz (Petersenspule) und eine zuschaltbare Impedanz ZIP an Erde liegt, mehrere Leitungsabschnitte NAB, NAB' usw. aufweisen kann. Die Abschnitte sind durch Schalteinrichtungen SEA, SEB usw. trennbar und Erdschlussmessungen im Sinne der Erfindungen können an beliebigen Orten der Leitung mit Hilfe von Distanzschutzgeräten DSG, hier sind drei eingezeichnet, durchgeführt werden. Über eine Datenverbindung DAB können alle wesentlichen Einrichtungen miteinander kommunizieren, erforderlichenfalls natürlich bidirektional. Das heißt, die Auswertergebnisse der einzelnen Distanzschutzgeräte DSG können den anderen Distanzschutzgeräten DSG übermittelt werden, die sodann Schaltsignale selektiv an die Schalteinrichtungen SEA, SEB oder auch an den gesteuerten Schalter SWI zum Zuschalten der Impedanz ZIP sendet. Selbstverständlich können je nach den Gegebenheiten des Netzes Schaltbefehle auch unmittelbar von einem Distanzschutzgerät DSG an eine Schalteinrichtung oder den gesteuerten Schalter SWI gesendet werden.

An Hand der Ersatzschaltbilder der symmetrischen Komponenten nach Fig. 4 sei eine beispielsweise Entfernungsmessung beschrieben. Tritt ein Erdschluss auf, so erhöht sich der Fehlerstrom auf der fehlerbehafteten Leitung durch die parallel geschaltete Zusatzimpedanz ZIP. Die Zusatzimpedanz ZIP wird meist als ohmscher Widerstand ausgebildet und z.B. für 200 ms der Petersenspule KIP parallel geschaltet, wobei der Widerstand so bemessen wird, dass ein zusätzlicher Strom von 10 bis 300 Ampere eingespeist werden kann.

Man kann den Fehlerfall durch die Umrechnung in symmetrische Komponenten darstellen.



Die nachstehende Berechnung zeigt, dass trotz Laststromes eine Entfernungsmessung mit der Kenngröße $Z^1=Z^1 \cdot 1$ mit l...Länge durchgeführt werden kann.

$$U_F^1 + U_F^2 + U_F^0 = 0$$

$$U_{\text{mess}}^1 - I^1 \cdot Z^1 + U_{\text{mess}}^2 - I^2 \cdot Z^2 + U_{\text{mess}}^0 - I^0 \cdot Z^0 = 0$$

Mit

$$Z^1 = Z^2$$

folgt:

$$U_{\text{mess}}^1 + U_{\text{mess}}^2 + U_{\text{mess}}^0 = (I^1 + I^2) \cdot Z^1 + I^0 \cdot Z^0$$

Mit

$$U_{\text{mess}}^1 + U_{\text{mess}}^2 + U_{\text{mess}}^0 = U_{\text{LIE}}$$

folgt:

$$\frac{U_{\text{LIE}}}{Z^1} = (I^1 + I^2) + I^0 \cdot \frac{Z^0}{Z^1}$$

Mit

$$I^1 + I^2 + I^0 = I_{L1} \quad \text{und} \quad k_0 = \left(\frac{Z^0}{Z^1} - 1 \right)$$

folgt:

$$\frac{U_{\text{LIE}}}{Z^1} = I_{L1} + 3 \cdot I^0 \cdot k_0$$

Mit

$$3 \cdot I^0 = I_{\Sigma}$$

folgt:

$$\frac{U_{\text{LIE}}}{Z^1} = I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0$$

$$Z^1 = \frac{U_{\text{LIE}}}{I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0} = Z^1 \cdot 1$$

$Z^{\text{DSG}} = Z^1$	am einem Distanzschutzgerät angezeigte Impedanz bis zur Fehlerstelle
Z^0	Nullimpedanz bis zur Fehlerstelle
Z^1	auf eine Längeneinheit bezogene Impedanz
$U_{\text{mess}}^1, U_{\text{mess}}^2, U_{\text{mess}}^0$	gemessene Spannung des fehlerbehafteten Leiters am Messort in symmetrischen Komponenten



U_{LIE}	gemessene Phasenspannung am Messort
I_{L1}	gemessener Phasenstrom am Messort
k_0	längenunabhängiger Faktor zur Berücksichtigung von Z_0
I_{Σ}	Summenstrom am Einbauort des Messgerätes
U_F^1, U_F^2, U_F^0	Spannung an der Fehlerstelle in symmetrischen Komponenten
l	Entfernung bis zur Fehlerstelle

Es hat sich bewährt, wenn das Zuschalten der Zusatzimpedanz und die mit dieser erfolgende Strom- und Spannungsmessung um zumindest eine Netzperiode, oft auch um zwei oder drei Netzperioden verzögert erfolgt, damit Erdschlusswischer, also vorübergehende kurzzeitige Erdschlüsse, oder Einschwingvorgänge die Messung nicht verfälschen.

In der Praxis tritt manchmal an der Fehlerstelle auch ein größerer Übergangswiderstand auf, der nicht vernachlässigt werden darf.

In Fig. 5 ist eine solche Fehlerimpedanz Z_{FW} dargestellt und es hat sich gezeigt, dass sich eine signifikante Verbesserung der Fehlerlokalisierung ergeben kann, wenn bei zugeschalteter Zusatzimpedanz ein adaptierter Algorithmus verwendet wird.

Die korrigierte Formel, die Ausgangspunkt für die Berechnung ist, lautet:

$$Z^1 = \frac{U_{LIE} - I_{FW} \cdot Z_{FW}}{I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0} = Z_1 \cdot l$$

Die Herleitung mittels symmetrischen Komponenten lautet wie folgt:

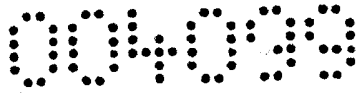
$$U_F^1 + U_F^2 + U_F^0 = U_{FW}$$

Mit $Z^1 = Z^2$ folgt:

$$U_{mess}^1 - I^1 \cdot Z^1 + U_{mess}^2 - I^2 \cdot Z^2 + U_{mess}^0 - I^0 \cdot Z^0 = I_{FW} \cdot Z_{FW}$$

$$U_{mess}^1 + U_{mess}^2 + U_{mess}^0 = (I^1 + I^2) \cdot Z^1 + I^0 \cdot Z^0 + I_{FW} \cdot Z_{FW}$$

$$U_{mess}^1 + U_{mess}^2 + U_{mess}^0 = U_{LIE}$$



$$\frac{U_{LIE} - I_{FW} \cdot Z_{FW}}{Z^1} = (I^1 + I^2) + I^0 \cdot \frac{Z^0}{Z^1}$$

$$\frac{U_{LIE} - I_F \cdot Z_F}{Z^1} = I^1 + I^2 + I^0 - I^0 + I^0 \cdot \frac{Z^0}{Z^1}$$

$$I^1 + I^2 + I^0 = I_{L1}$$

$$\frac{U_{LIE} - I_{FW} \cdot Z_{FW}}{Z^1} = I_{L1} - I^0 + I^0 \cdot \frac{Z^0}{Z^1}$$

$$-I^0 + I^0 \cdot \frac{Z^0}{Z^1} = I^0 \cdot \left(\frac{Z^0}{Z^1} - 1 \right) = I^0 \cdot k_0 \cdot 3$$

$$\frac{U_{LIE} - I_{FW} \cdot Z_{FW}}{Z^1} = I_{L1} + 3 \cdot I^0 \cdot k_0$$

$$3 \cdot I^0 = I_{\Sigma}$$

$$\frac{U_{LIE} - I_{FW} \cdot Z_{FW}}{Z^1} = I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0$$

$$Z^1 = \frac{U_{LIE} - I_{FW} \cdot Z_{FW}}{I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0} = Z_1' \cdot 1$$

wobei bedeuten:

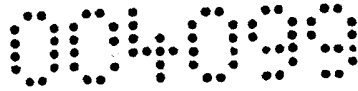
Z^1 gemessene Impedanz bis zur Fehlerstelle

Z^0 gemessene Nullimpedanz bis zur Fehlerstelle

Z_1' auf einen Kilometer bezogene Impedanz

U_{MESS} gemessene Spannung am Einbauort des Messgerätes

U_{L1E} gemessene Phasenspannung am Einbauort des Messgerätes



- I_{L1} gemessener Phasenstrom am Einbauort des Messgerätes
- K_0 Längenunabhängiger Faktor zur Berücksichtigung von Z_0
- I_Σ Summenstrom am Einbauort des Messgerätes
- U_F Spannung an der Fehlerstelle
- l Entfernung bis zur Fehlerstelle
- Z_{FW} Fehlerimpedanz
- U_{FW} Spannung, die an der Fehlerimpedanz abfällt
- I_{FW} Strom an der Fehlerstelle

In der Praxis hat sich weiters gezeigt, dass die Fehlerimpedanz einen fast rein ohmschen Widerstand darstellt, dessen Abschätzung wie folgt erfolgen kann:

$$Z_{FW} = \frac{U_{LIE}}{I_\Sigma}$$

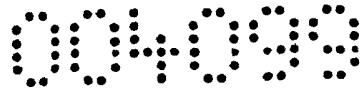
Da, wie oben erwähnt, die Fehlerimpedanz als rein ohmsch betrachtet werden kann, wird von dieser nur der Realteil genommen.

$$Z_{FW} = \text{real}\left(\frac{U_{LIE}}{I_\Sigma}\right)$$

Bei festgestellten Übergangswiderständen von ca. 20-30 Ohm wird empfohlen, diese Adaptierung zu verwenden.

Die Ableitung dieser Formel ist leicht aus Fig. 5 nachvollziehbar, welche einen vereinfachten Ausschnitt aus Fig. 1 zeigt, bei der die Kapazität der fehlerbehafteten Leitung vernachlässigt wurde und bei der nun an der Fehlerstelle eine Impedanz eingezeichnet ist.

Da typische Impedanzwerte von Leitungslängen ca. 10-15 Ohm für einen Leitungsabschnitt betragen, kann man erkennen, dass der Fehlerwiderstand ab ca. 20 Ohm die Schleife dominiert und daher kann auf diesen mit sehr guter Näherung rückgeschlossen werden.



Der Fehlerstrom kann nach folgender Formel abgeschätzt werden.

$$I_{FW} = I_{\Sigma} + I_{kap}$$

I_{kap} ist der kapazitive Strom, der nur durch den fehlerbehafteten Leitungsabschnitt hervorgerufen wird. Die Größe dieses Stromes kann durch Tabellen, Messungen, etc. im Vorfeld schon bestimmt werden, da der kapazitive Beitrag ja Längeneinheit bekannt ist. Wie Fig. 6 zeigt, liefert jeder Leitungsteil einen gewissen Beitrag. In Fig. 6 erkennt man, dass die bei jedem Distanzschutzgerät DSG eines Leitungsteils vorliegenden kapazitiven Ströme an dem Steuerpunkt summiert auftreten. Die Spule KIP ist so dimensioniert, dass der Spulenstrom gleich groß wie die Summe aller kapazitiver Ströme sein muss.

Dann wird die bekannte Formel: $Z^1 = \frac{U_{LIE}}{I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0}$ um den Term: $-I_{FW} \cdot Z_{FW}$ erweitert, wobei

die kapazitiven Ströme mit dem Verhältnis der Verlagerungsspannung zur Nennspannung bewertet werden müssen, da sich bei veränderter Verlagerungsspannung auch die damit verbundenen kapazitiven Ströme ändern:

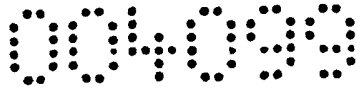
$$I_{FW} = I_{\Sigma} + I_{kap} \cdot \frac{U_{mess}^0}{U_{nenn}}$$

Alle erforderlichen Messungen können mit einem herkömmlichen Schutzgerät, im allgemeinen einem Distanzschutzgerät, erfolgen, welches die Hardware-Basis für das erfindungsgemäße Verfahren bildet.

Es sollte für den Fachmann aus dem oben gesagten klar sein, dass Messfehler aufgrund der Erdungsimpedanzen bei der messenden Station und der Erdfehlerstelle kompensiert werden können. Durch Messung an verschiedenen Orten und durch Signalvergleichsverfahren, vorzugsweise Richtungsvergleichsverfahren, ist eine noch genauere Fehlerortung und in der Folge, falls gewünscht, ein selektives Abschalten möglich.

Es sei nochmals zusammengefasst, dass im Sinne der vorliegenden Erfindung ein besonderes Kriterium für die Entscheidung, ob eine Messung durchgeführt und weitere Konsequenzen gezogen werden, sollen die Größe der Verlagerungsspannung ist.

Weiters wird nicht zwangsweise das überwachte Netzelement, z.B. eine Leitung, bei erfolgter Fehlerortung abgeschaltet, sondern nur eine Impedanz gemessen, die zur Berechnung und Ausgabe der Fehlerentfernung führt. Die entsprechende Meldung kann mit

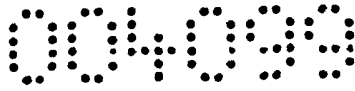


geeigneten Mitteln übertragen und auch zentral ausgewertet werden. Das Abschalten von Netzabschnitten kann sodann individuell, je nach Betriebsweise, Streckenführung oder sonstigen Besonderheiten freigegeben werden.

Wenngleich bevorzugt mit der Grundfrequenz des Netzes gemessen wird, soll darauf hingewiesen werden, dass eine Erhöhung der Genauigkeit möglich ist, wenn Harmonische und/oder Zwischenharmonische von Strom und Spannung bei der Messung berücksichtigt werden.

Sollte ein Erdschluss stehen bleiben, was durch die Verlagerungsspannung feststellbar ist, und nach einer erfolgten kurzen Zuschaltung der Zusatzimpedanz keine eindeutige Messung erfolgt sein, könnte man durch erneutes, z.B. auch händisch gestartetes kurzes Zuschalten der Zusatzimpedanz eine neuerliche Messung durchführen. Prinzipiell kann ein neuerliches Messen, auch ohne Zusatzimpedanz, erfolgen, falls die erste Messung keine plausiblen Ergebnisse gebracht hat. Beispielsweise wäre dies wichtig, wenn sich ein Doppelerdschluss ausbilden würde. Der erste Erdschlusspunkt wurde z.B. durch das Verfahren richtig erkannt, er wird aber aufgrund des Doppelerdschlusses automatisch abgeschaltet. Allerdings besteht noch ein neuer Erdschlusspunkt und diesen kann man durch das erneute Messen vor allem mit der neuerlichen Zuschaltung der Zusatzimpedanz finden und ausmessen. Prinzipiell kann die Messung allerdings auch ohne Zuschalten der Zusatzimpedanz erfolgen.

Wien, den 03. April 2007



ANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Entfernungsortung von Erdschlüssen in erdschlusskompensiert betriebenen 3-Phasen-Elektroenergienetzen mit zumindest einem Sternpunkt (STP), welcher über eine, einen induktiven Anteil besitzende Kompensationsimpedanz (KIP) mit Erde verbunden ist, wobei an zumindest einem Messort in jeder Phase ständig Strom und Spannung gemessen und überwacht werden

dadurch gekennzeichnet, dass

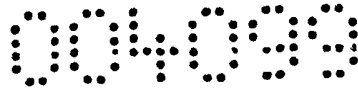
bei Überschreiten eines vorgebbaren Grenzwertes der Verlagerungsspannung (V_0) und bei Unterschreiten einer vorgebbaren Minimalspannung eines Phasenleiters durch Strom- und Spannungsmessung der Leitungswiderstand (Z^l) in diesem Phasenleiter bis zu der Erdschlussstelle und an Hand des bekannten Leitungswiderstandes je Längeneinheit durch eine Impedanzberechnung, ausgehend von der gemessenen Phasenspannung (U_{LIE}) am Messort unter Berücksichtigung der Erdungsimpedanzen am Messort und am Fehlerort die Entfernung bis zu dem Erdschluss berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Strom- und Spannungsmessung in dem erdschlussbehafteten Phasenleitern vorübergehend eine Zusatzimpedanz (ZIP) parallel zur Kompensationsimpedanz (KIP) des Sternpunktes (STP) geschaltet und die Strom- und Spannungsmessung zur Entfernungsbestimmung über die Leitungsimpedanz mit einem durch die Parallelschaltung erhöhten Erdstrom (I_Σ) durchgeführt und danach die Zusatzimpedanz (ZIP) wieder abgeschaltet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Zuschalten der Zusatzimpedanz und die mit dieser erfolgende Strom- und Spannungsmessung um zumindest eine Netzperiode verzögert erfolgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Zusatzimpedanz (ZIP) ein ohmscher Widerstand (R) parallel zu der Kompensationsimpedanz (KIP) des Sternpunktes geschaltet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Zusatzimpedanz eine Induktivität parallel zu der Kompensationsimpedanz des Sternpunktes geschaltet wird.



6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenspannung (U_{L1E}), der Phasenstrom (I_{L1}) und der Summenstrom (I_{Σ}) am Messort ermittelt und daraus die Impedanz (Z^l) bis zur Erdschlussstelle berechnet werden, wodurch sich nach

$$Z^l = \frac{U_{L1E}}{I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0} = Z'_1 \cdot l$$

mit $Z'_1 =$ auf eine Längeneinheit bezogene Impedanz

die Entfernung (l) bis zur Erdschlussstelle ergibt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Berücksichtigung der Fehlerimpedanz (Z_{FW}) durch

$$Z^l = \frac{U_{L1E} - I_{FW} \cdot Z_{FW}}{I_{L1} + I_{\Sigma} \cdot k_0} = Z'_1 \cdot l$$

erfolgt, wobei

I_{FW} der Strom an der Fehlerstelle ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Berücksichtigung der kapazitiven Ströme durch

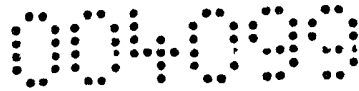
$$I_{FW} = I_{\Sigma} + I_{kap}$$

erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die kapazitiven Ströme gemäß

$$I_{FW} = I_{\Sigma} + I_{kap} * \frac{U^0_{mess}}{U_{nenn}}$$

durch das Verhältnis der Verlagerungsspannung (U^0_{mess}) zur Nennspannung (U_{nenn}) bewertet werden.



10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei Vorliegen nicht plausibler Messergebnisse erneut und gleichfalls vorübergehend eine Zusatzimpedanz parallel zu der Kompensationsimpedanz des Sternpunktes geschaltet wird und die Strom- und Spannungsmessungen für die Berechnung der Erdschlusssentfernung wiederholt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass nach erfolgter Fehlerortberechnung die fehlerbehaftete Leitung ein- oder beidseitig abgeschaltet wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Strom- und Spannungsmessung mit der Grundfrequenz des Netzes durchgeführt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass Harmonische und/oder Zwischenharmonische von Strom und Spannung bei der Messung berücksichtigt werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung an zumindest zwei, in Abstand voneinander liegenden Messorten einer Leitung erfolgt, die mehrere, durch Schalteinrichtungen trennbare Leitungsabschnitte aufweist, und auf Basis dieser Messungen ein fehlerbehafteter Leitungsabschnitt selektiv abgetrennt wird.

Wien, den 03. April 2007

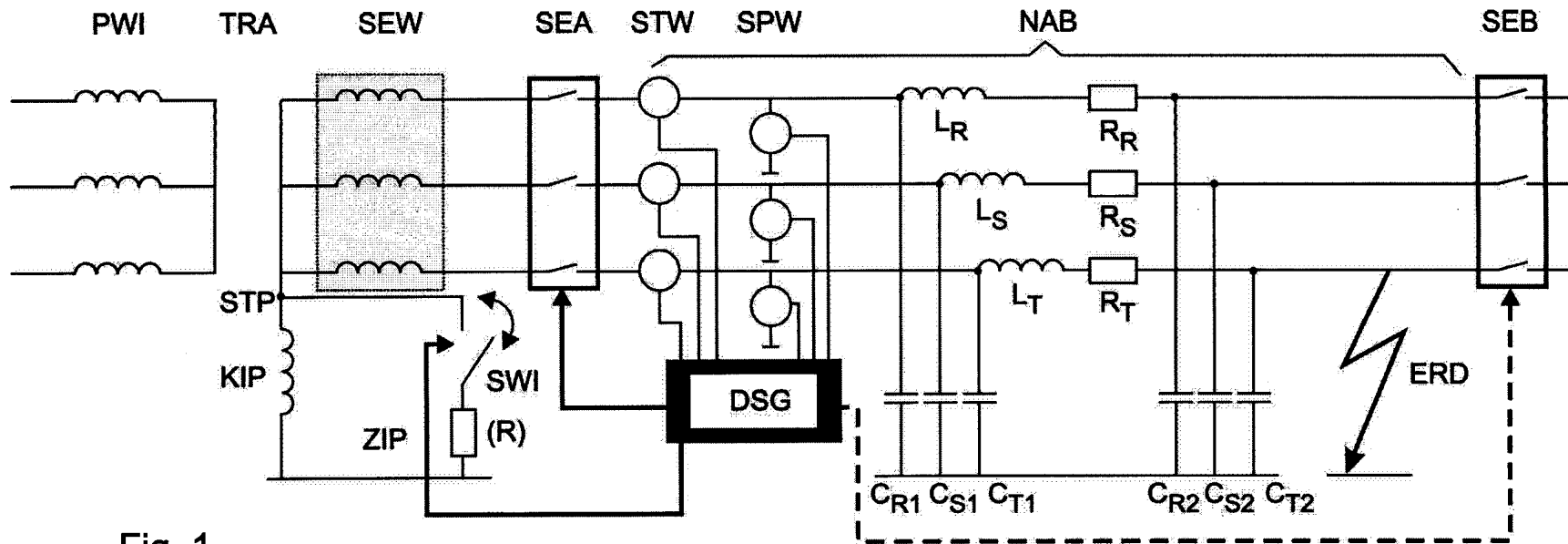


Fig. 1

1/3

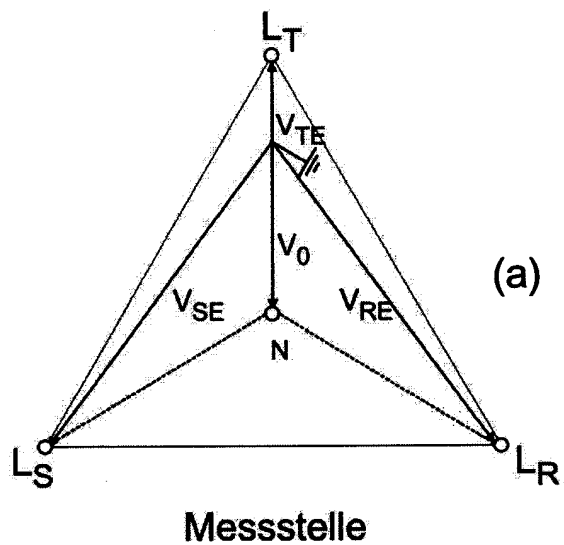
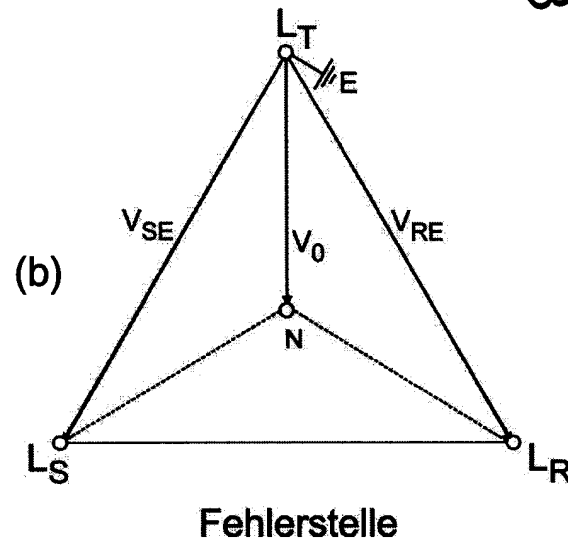
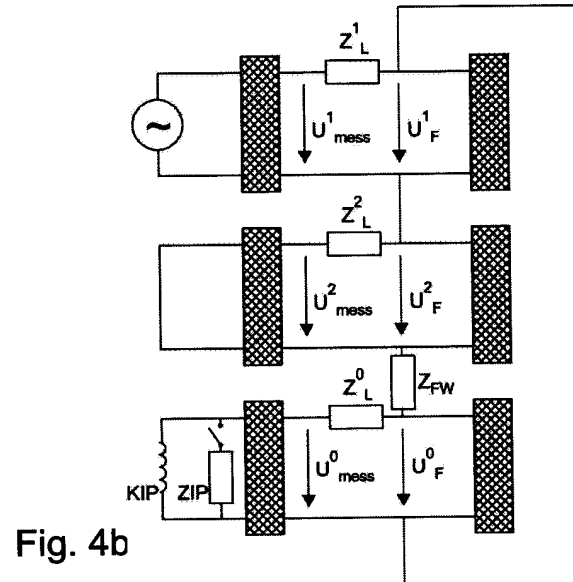
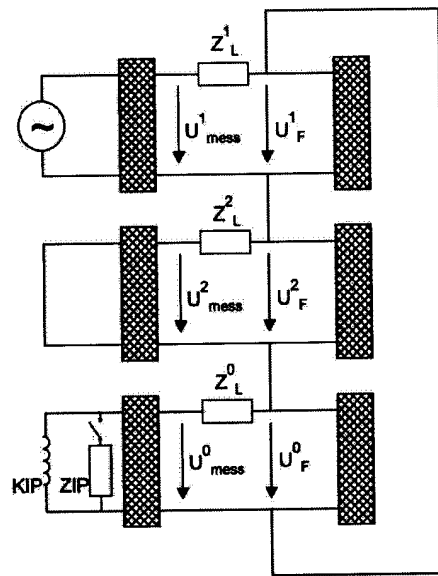
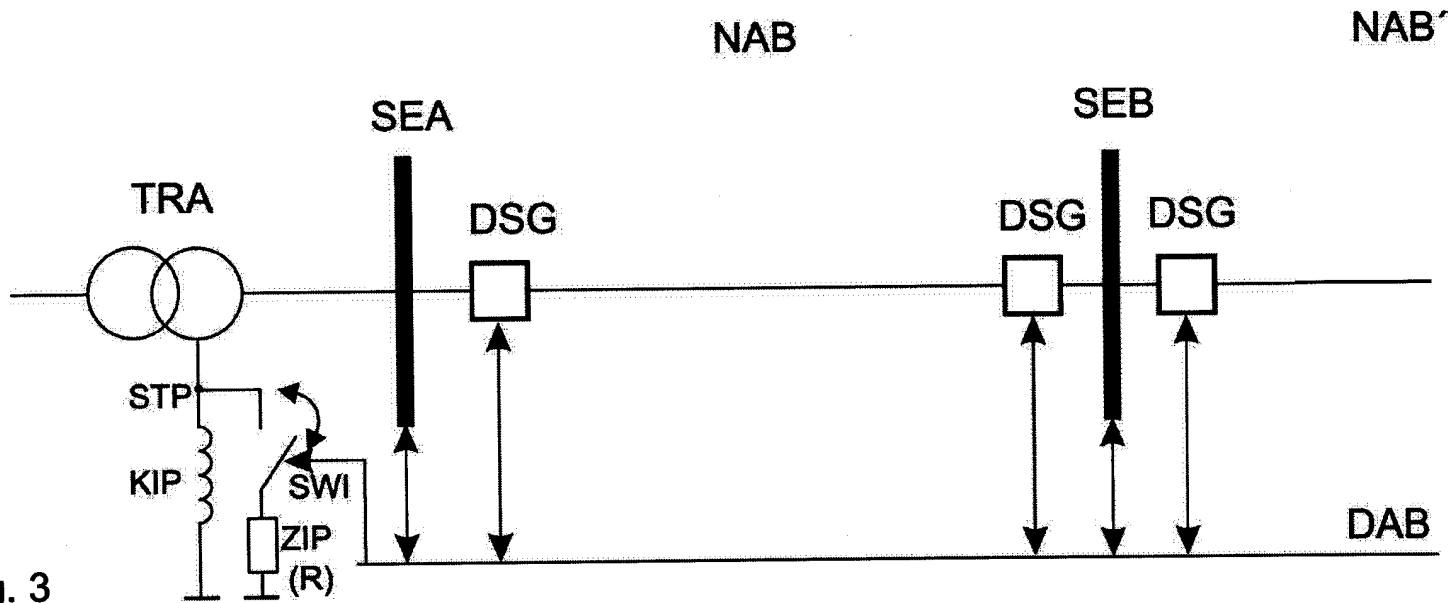


Fig. 2





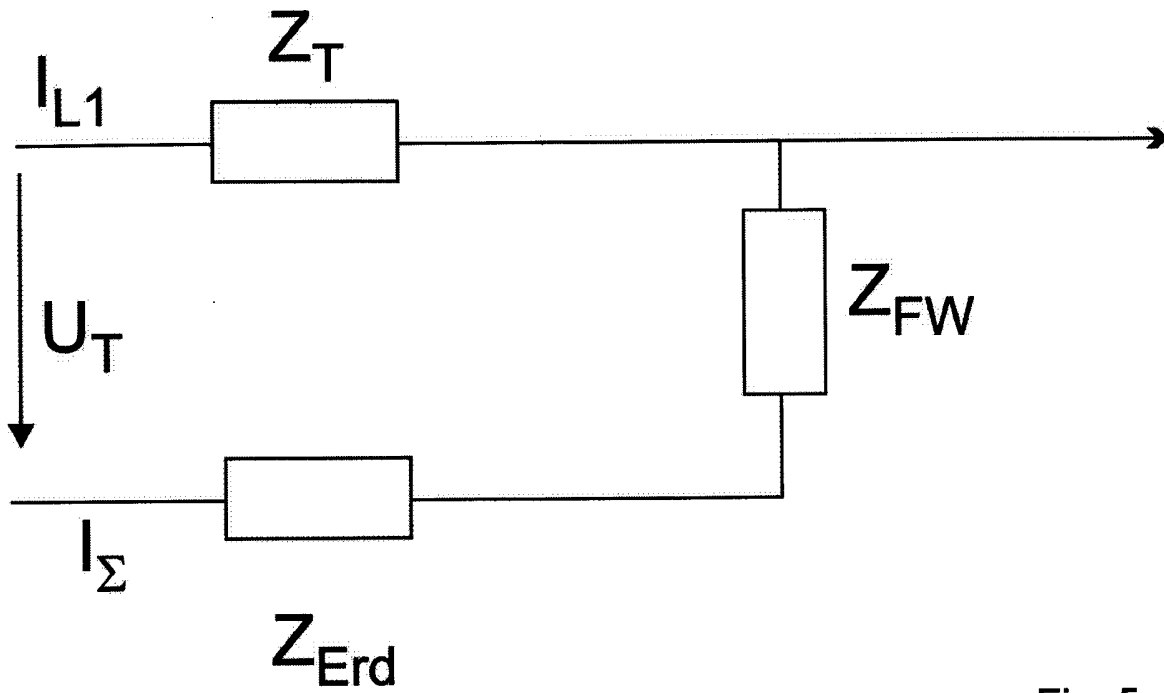


Fig. 5

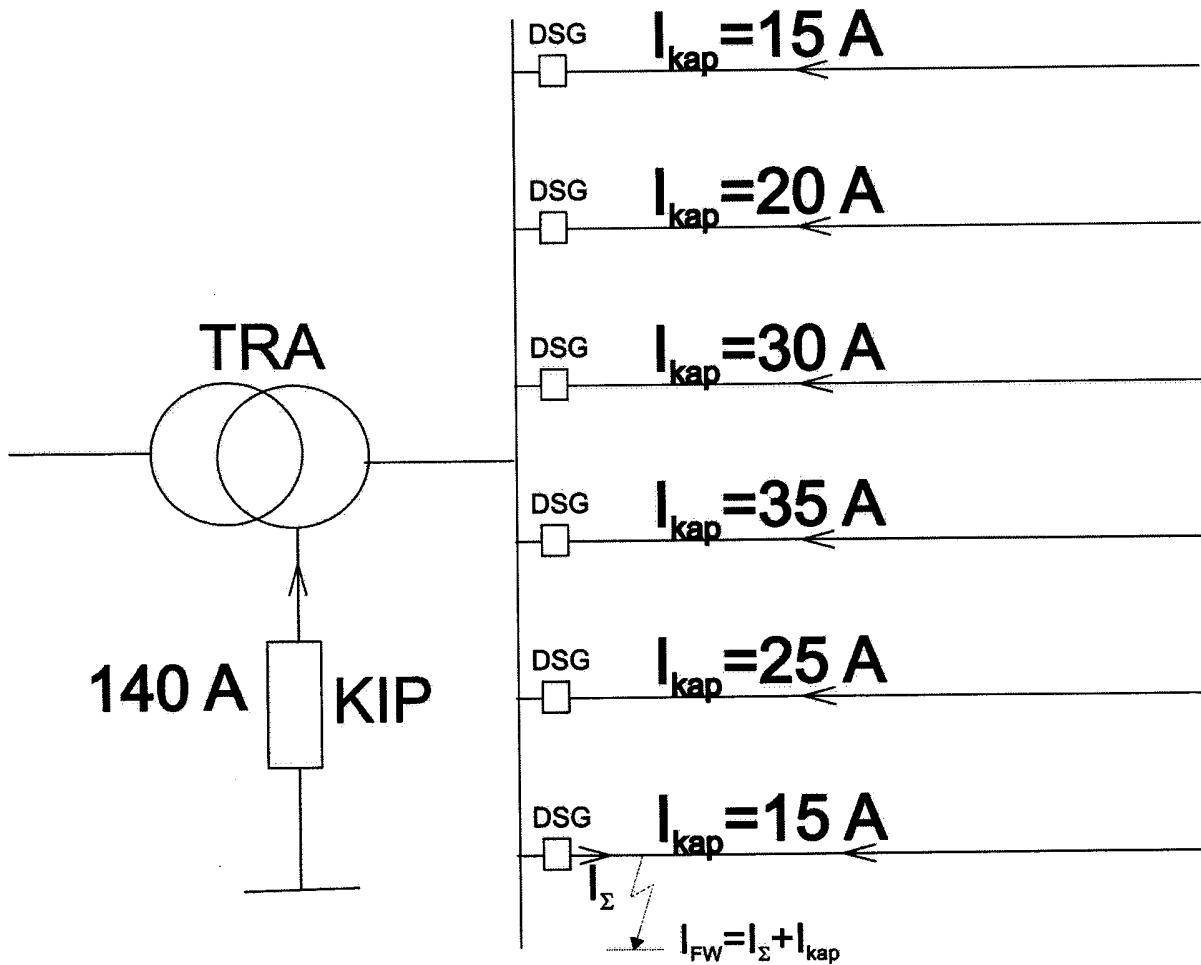


Fig. 6