



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 02 451 B3** 2004.07.15

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 02 451.4**
(22) Anmeldetag: **22.01.2003**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **15.07.2004**

(51) Int Cl.7: **G01R 27/18**
G01R 31/12, G01R 31/02

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
EDC GmbH, 90768 Fürth, DE

(74) Vertreter:
Schuhmann, A., Rechtsanw., 90461 Nürnberg

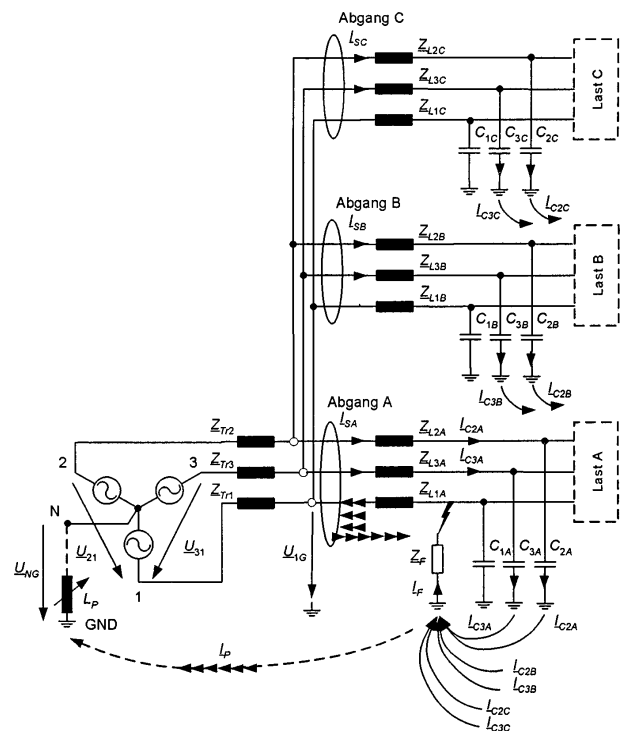
(72) Erfinder:
**Druml, Gernot, 90768 Fürth, DE; Kugi, Andreas,
Dr., 66123 Saarbrücken, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 27 13 000 C3
DE 14 63 729 A
EP 09 99 633 A2
**Pundt, H. "Untersuchung der Ausgleichsvorgänge
bei
Erdschluß in Energieversorgungsnetzen". IN:
Ener-
gietechnik, 1965, H. 10, S. 469-477;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Erkennung der Richtung eines Erdschlusses**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Erkennung der Richtung aus der Aufladeschwingung des einmalig zündenden, des wiederzündenden und des intermittierenden Erdschlusses für Fehlerwiderstände bis in den Bereich von einigen kOhm, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- (a) Kontinuierliches Abtasten und Speichern der Nullspannung u_0 und des Nullstromes i_{0X} in einem Abgang,
- (b) Feststellung eines Erdschlusses bei Überschreitung des Betrags der Nullspannung u_0 eines eingestellten Grenzwertes u_{ERD} zum Zeitpunkt t_1 ,
- (c) Suche im Speicher nach dem Zeitpunkt t_0 des Nulldurchganges der Nullspannung u_0 , der vor dem oben definierten Zeitpunkt t_1 und mindestens eine Periode in der Vergangenheit liegt,
- (d) Speichern der Nullspannung u_0 und des Nullstromes i_{0X} ab diesem Zeitpunkt t_0 bis zum definierten Erdschluss t_1 ,
- (e) Berechnung der Ladung q_{0X} durch Aufsummieren des Nullstromes i_{0X} bei zeitäquidistanter Abtastung, andernfalls muss die Zeit zwischen den Abtastpunkten berücksichtigt werden bzw. ein anderes numerisches Integrationsverfahren verwendet werden,
- (f) Klassifizierung der Kurve $q_0 = f(u_0)$ für den Zeitbereich von t^0 bis t_2 nach bekannten Verfahren der Mathematik wie z. B. Regressionsanalyse, Korrelationsanalyse, Polynominterpolation, Pseudoinverse usw.,
- (g) Feststellung eines gesunden Abgangs, wenn die Kurve eine Gerade mit positiver Steigung ist, oder wenn die Kurve keine Gerade ist und die Tangente der ersten Abweichung von der Geraden eine ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die selektive Erfassung von nieder- und hochohmigen einmalig zündenden, wiederzündenden und intermittierenden Erdschlüssen in Drehstromnetzen mit isoliertem Sternpunkt oder mit hochohmig geerdetem Sternpunkt.

[0002] Ein Erdschluss kann in drei sich gleichzeitig überlagernde Vorgänge aufgeteilt werden

- Entladevorgang des erdschlussbehafteten Leiters
- Aufladevorgang der gesunden Leiter
- Stationäre Erdschluss

[0003] Beim Entladevorgang, wie in **Abb. 1** dargestellt, wird die Ladung des erdschlussbehafteten Leiters über die Fehlerstelle abgeführt. Die Leitung kann als Kettenleiter betrachtet werden. Die Entladung breitet sich als Wanderwelle von der Fehlerstelle in beide Richtungen aus.

[0004] Maßgebend für den Verlauf der Entladung sind:

- Größe der Kapazitäten des Leiters 1 aller Abgänge gegen Erde
- Ladezustand der Kapazitäten des Leiters 1 aller Abgänge
- Leitungsimpedanz Z_{L1} zu und in den andern Abgängen
- Impedanz der Fehlerstelle Z_F

[0005] Der Einspeisetransfo und die Verteiltrasfos wirken als hochohmiger Abschluss. An diesen Stellen wird die Entladewelle reflektiert. Die Welle wird auch an jeder Änderung des Wellenwiderstandes, wie z.B. an der Sammelschiene oder an Verzweigungen von Leitungen teilweise reflektiert. Die resultierende Schwingung ist hochfrequent und liegt üblicherweise im Bereich über 10 kHz. Die Frequenz ist vom Wellenwiderstand und der Ausdehnung des Netzes abhängig.

[0006] Beim Aufladevorgang, wie im **Abb. 2** dargestellt, werden die beiden gesunden Leiter auf die verkettete Spannung angehoben. Die Aufladung erfolgt über die Fehlerstelle und die Streuinduktivität der Einspeisetransformatoren.

[0007] Maßgebend für den Verlauf des Aufladevorganges der beiden gesunden Leiter sind:

- Kapazität der Leiter 2 und 3 aller Abgänge gegen Erde
- aktueller Ladezustand der Leiter-Erde Kapazitäten aller Abgänge
- Größe der Aufladespannungen
- Streuinduktivitäten des Einspeisetransformators
- Leitungsimpedanz Z_{L1} von der Fehlerstelle bis zum Einspeisetransformator
- Impedanz der Fehlerstelle Z_F

[0008] Die Verteiltransformatoren und die Last können in erster Näherung vernachlässigt werden, da deren Impedanzen wesentlich höher sind als die Streuinduktivität des Einspeisetransformators. Die Frequenz der Aufladeschwingung liegt üblicherweise im Bereich von 100Hz bis einige kHz. Die üblichen Wischerrelais werfen im wesentlichen diese Aufladeschwingung aus.

[0009] Beim stationären Erdschluss fließt beim isolierten Netz über die Fehlerstelle der gesamte kapazitive Strom des Netzes. Im gelöschten Netz überlagert sich diesem kapazitiven Strom der Strom durch die Petersen-Spule und reduziert dadurch den Strom über die Fehlerstelle. Bei idealer Kompensation verbleibt nur mehr ein kleiner Wirkanteil. Die Löschfähigkeit des Lichtbogens an der Fehlerstelle wird dadurch bevorzugt.

[0010] Mit Hilfe von bekannten Schaltungen bzw. Messanordnungen können die Nullgrößen u_0 und i_0 gemessen werden. Die Nullspannung kann z.B. mit Hilfe des offenen Dreiecks und der Nullstrom mit Hilfe der Holmgreen-Schaltung oder mit Hilfe eines Kabelumbauwandlers gemessen werden. Für die Messungen gelten die folgenden Gleichungen:

$$u_0 = \frac{1}{3}(u_{1E} + u_{2E} + u_{3E}) \quad (1)$$

$$i_{0x} = \frac{1}{3}(i_{1x} + i_{2x} + i_{3x}) \quad (2)$$

[0011] Die Nullspannung wird an der Sammelschiene oder je Abgang gemessen wird. Der Nullstrom wird je Abgang x gemessen.

[0012] Die drei Vorgänge überlagern sich und beginnen mit dem Eintritt des Erdschlusses. Die transienten Vorgänge sind in den Nullgrößen u_0 und i_0 messbar.

[0013] Im **Abb. 3** sind beispielhaft die Nullspannung und der Nullstrom des erdschlussbehafteten Abganges A dargestellt.

[0014] Im **Abb. 4** sind beispielhaft die Nullspannung und der Nullströme der gesunden Abgänge B und C dar-

gestellt.

[0015] Derzeit werden die Erdschlusswischer nur beim erstmaligen Auftreten des Erdschlusses erfasst. Dabei wird üblicherweise nach überschreiten einer Auslöseschwelle der Nullspannung ein Messfenster zur Messung des Nullstromes geöffnet. Während des Messfensters wird die Polarität des Nullstromes i_0 im Vergleich zur Polarität der Nullspannung u_0 bewertet. Sind die beiden Polaritäten unterschiedlich, so erfolgt eine Bewertung des Fehlers in "Vorwärtsrichtung", d.h. in Richtung des zu überwachenden Abganges. Sind hingegen die Polaritäten von u_0 und i_0 während des Messfensters unterschiedlich, so erfolgt eine Bewertung in "Rückwärtsrichtung", d.h. in Richtung Sammelschiene.

[0016] Die Wischerrelais verwenden zur Auswertung der Richtung die Aufladeschwingung des Netzes. Die Entladeschwingung des Leiters ist dem Nullsystem allerdings als Störsignal überlagert. Abhängig vom Zündzeitpunkt, der Netzstruktur und der eingestellten Triggerschwelle kann es zu Fehlbewertungen kommen, wie aus dem **Abb. 3** erkennbar.

[0017] Relais, die quasistationäre Werte auswerten, wie z.B. das "Wattmetrische Verfahren" oder das "Oberschwingungsverfahren", ermitteln die notwendigen Bewertungskriterien U_0 und I_0 mit Hilfe der FFT. Dabei wird die FFT meist über einen Zeitraum von mindestens einer Periode angewendet. Zeiträume von einigen Perioden sind bevorzugt, um die Nullstellen des FFT-Filters so zu legen, dass die Einflüsse von Harmonischen eliminiert werden. Für die Bewertung wird abhängig von der Sternpunktbehandlung und dem Ortungsverfahren der Wirkanteil oder der Blindanteil des Nullstromes der Grundschiwingung oder einer Harmonischen verwendet. Für die Berechnung werden jedoch während der Messung stationäre Werte über zumindest eine Periode vorausgesetzt.

[0018] In gelöschten Netzen wird eine Petersen-Spule zur Kompensation des kapazitiven Stromanteiles über die Fehlerstelle verwendet. Dadurch wird die Löschfähigkeit des Lichtbogens an der Fehlerstelle verbessert (DIN VDE 228 Teil 2). In Freileitungsnetzen wird üblicherweise bei Einhaltung der Löschgrenzen die Lichtbogenstrecke nach dem ersten Verlöschen ausreichend spannungsfest, um ein Wiederründen zu verhindern. In Kabelnetzen ist der Abstand zwischen Innenleiter und Schirm durch die Verwendung des isolierenden Dielektrikums wesentlich geringer. Der Erdschluss tritt durch eine Fehlerstelle in diesem Dielektrikum auf. Im gelöschten Netz wird mit Hilfe der Petersen-Spule auch bei großen Netzen der Strom über die Fehlerstelle so klein, dass der Lichtbogen verlöscht. Durch die Löschspule baut sich die Spannung über die Fehlerstelle nur langsam auf. Eine Verfestigung der Isolationsfähigkeit der Fehlerstelle wird dadurch bevorzugt. Die Luftstrecke an der Überschlagsstelle im Dielektrikum ist allerdings nicht ausreichend die volle Spannung zu halten. Es erfolgt eine Wiederrzündung, sobald die Zündspannung überschritten ist. Diese Überschreitung erfolgt abhängig von der eingestellten Kompensation und den Wirkverlusten des Netzes und der Petersen-Spule nach einigen wenigen bis zu einigen zig Perioden. Während der Zeit, wo der Lichtbogen verlöscht ist bis zur Wiederrzündung ist das Netz eigentlich fehlerfrei. Die Nullspannung klingt innerhalb der oben beschriebenen Perioden langsam ab und die Leiter-Erde-Spannung nimmt zugehörig langsam zu. Wenn der Lichtbogen verlöscht ist, schwingt der Resonanzkreis bestehend aus der Petersen-Spule, den Nullkapazitäten des Netzes und den Verlusten der Petersen-Spule und des Netzes langsam aus. Die Energie, die im Resonanzkreis gespeichert ist wird über die oben beschriebenen Wirkverluste langsam abgebaut. Der Resonanzkreis schwingt mit seiner eigenen Frequenz, die abhängig von der eingestellten Kompensation unterschiedlich von der Netzfrequenz ist, langsam aus. Während dieser gesunden Abklingzeit ist die Nullspannung üblicherweise größer als die Auslöseschwelle der Relais (Wattmetrisch, Oberschwingungsverfahren ...). Während dieser Abklingzeit wird außerdem in den Abgängen auch ein abklingender Nullstrom gemessen, der proportional zur Nullkapazität des Abganges ist.

[0019] Ein "wiederrzündender Erdschluss" kann dadurch definiert werden, dass innerhalb eines definierten Zeitbereiches eine definierte Anzahl von Zündungen erfolgt, oder dadurch, dass eine Wiederrzündung erfolgt, bevor der Betrag des Effektivwertes $|U_0|$ den eingestellten Grenzwert U_{erd} unterschreitet. Ein einmalig zündender Erdschluss liegt vor, wenn die Schwelle U_{erd} nur einmal in positiver Richtung überschritten wird und wenn kein Verlöschen des Lichtbogens für einige ms erfolgt; d.h. der Wechselstromlichtbogen zündet zweimal in jeder Periode wieder.

[0020] Üblicherweise wird der Nullstrom bewertet, sobald der Momentanwert der Nullspannung u_0 einen eingestellten Grenzwert überschreitet.

[0021] Die Verfahren, die die Grundschiwingung und die Harmonischen der Nullströme und Nullspannungen mit Hilfe der FFT ermitteln, treffen im Falle von wiederrzündenden Erdschlüssen falsche Richtungsentscheidungen in Bezug auf die Fehlerrichtung des Erdschlusses. Sowohl die abklingenden Zeitfunktionen als auch die von der Netzfrequenz abweichende Ausschwingfrequenz des Resonanzkreises führt zu Zeigern I_0 und U_0 die für transiente Vorgänge nicht gültig sind. Außerdem werden die Ströme auch während der "gesunden" Abklingzeit bewertet. Die Folge ist, dass auch gesunde Abgänge als fehlerhaft und Abgänge in denen der Zündvorgang erfolgt ist als fehlerfrei bewertet werden.

[0022] Die Richtungsanzeigen werden üblicherweise in eine Warte übertragen und dort in einer Gesamtansicht des Netzes dargestellt. Die Folge ist, dass kein eindeutiges Bild der Fehlerstelle erkennbar ist, da sowohl gesunde Abgänge als fehlerhaft als auch erdschlussbehaftete Abgänge als fehlerfrei angezeigt werden können.

nen. Eine schnelle Eingrenzung der Fehlerstelle kann dadurch nicht erfolgen, da keine vertrauenswürdigen Anzeigen vorliegen. Übliche Schaltmaßnahmen die in der Praxis zur Fehlereingrenzung verwendet werden, wie z.B. Schließen von Ringen und Auftrennen an einer anderen Stelle versagen. Die Zeit bis zur Eingrenzung des Fehlers wird drastisch verlängert.

[0023] Eine Lösung mit Hilfe von üblichen Wischerrelais führt auch zu keiner Lösung, da wie bereits oben gezeigt wurde diese auch zu Fehlanzeigen führen können.

[0024] Des weiteren sind die Wischer-Relais in kompensierten Netzen nur für niederohmige Fehler geeignet. Im Falle eines hochohmigen Fehlers ist zum Zeitpunkt der Auslösung die Petersen-Spule bereits wirksam. Abhängig von der eingestellten Kompensation wird zu diesem Zeitpunkt auch im erdschlussbehafteten Abgang ein kapazitiver Strom vergleichbar mit den Strömen in den gesunden Abgängen gemessen. Ein Richtungsentscheid auf Grund der Polarität von Nullstrom und Nullspannung während des Messfensters funktioniert nicht mehr.

[0025] Beim intermittierenden Erdschluss im isolierten Netz sind ähnliche Vorgänge zu beobachten, mit dem Unterschied, dass in jeder Periode eine Zündung bis zum nächsten Nulldurchgang des Nullstromes erfolgt. Eine stationäre Bewertung führt auch hier zu falsche Ergebnisse.

Stand der Technik

[0026] Im Fachbericht "Untersuchung der Ausgleichsvorgänge bei Erdschluss in Energieversorgungsnetzen", erschienen in der Energietechnik, 15. Jg, Heft 10, Oktober 1965, Seite 469ff, beschreibt Prof. Hans Pundt sehr ausführlich die transienten Vorgänge beim Eintreten des Erdschlusses. Es wird unter anderem die Berechnung des zu erwartenden Aufladestromes in Bezug auf Amplitude und Frequenz abgeleitet.

[0027] In der Offenlegungsschrift DE 1 463 729 wird auf Basis dieses Fachberichtes ein Verfahren vorgestellt, bei dem die erste Halbwelle des Umladestromes nach Umformung in einen Rechteckimpuls definierter Breite polaritätsmäßig mit der in Rechteckimpulse umgeformten Nullspannung verglichen wird. Bei diesem Verfahren wird davon ausgegangen, dass der Entladestrom sehr groß gegenüber dem stationären Ladesstrom I_{CE} der Leitung ist. Dies setzt an der Fehlerstelle Übergangswiderstände von nur wenigen Ohm voraus und eine Zündung des Lichtbogens im Spannungsmaximum. Diese Randbedingung können nicht immer eingehalten werden. Die schwierige Trennung von hochfrequenten Entladeschwingungen von den mittelfrequenten Aufladevorgängen führt zusätzlich zu Fehlanzeigen.

[0028] In der Offenlegungsschrift DE 27 13 000 wird der Umladestrom nicht mit der Nullspannung sondern mit einem Umladestrom einer Netznachbildung der Netz-Erde-Kapazitäten verglichen. Bei diesem Verfahren wird davon ausgegangen, dass beide Umladevorgänge gedämpfte Entladeschwingungen von annähernd gleicher Frequenz sind. Die hochfrequenten Entladeschwingungen werden bei diesem beschriebenen Verfahren mit berücksichtigt und können zu Fehlanzeigen führen. Des weiteren kann gezeigt werden, dass sich, durch die notwendige Anhebung der Ansprechschwelle für die Aufladeströme zur Unterdrückung der hochfrequenten Entladeschwingungen, bei unterschiedlichen Aufladefrequenzen zum Zeitpunkt der Bewertung eine falsche Phasenlage und somit auch eine Fehlanzeige des Relais ergeben kann. Die Relais müssten daher nach Netzumschaltungen immer an das jeweilige Netz neu angepasst werden.

[0029] In der Offenlegungsschrift EP 0 999 633 A2 sind Verfahren beschrieben, bei denen niederohmige Übergangswiderstände an der Fehlerstelle vorausgesetzt werden, damit die Nullstromänderungen groß genug sind. Fehler mit hochohmigen Übergangswiderstand werden damit nicht erfasst. Außerdem wird angenommen, dass die Zündung eine Änderung der Amplitude hervorruft. Es kann gezeigt werden, dass einige Zündzeitpunkt zwar eine Änderung der Leiter-Erdespannungen bewirken, aber im Nullsystem keine Amplitudenänderung bewirken. Auf komplexe Zeiger umgelegt bedeutet dies einer Drehung des Zeigers in der komplexen Ebene.

[0030] In der nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung DE 102 25 058 wird ein Verfahren beschrieben, mit dem nur der erste Erdschlusswischer erkannt wird. Eine Auswertung erfolgt nur nach der erstmaligen Überschreitung der Auslöseschwelle. Während des "wiederzündenden Fehlers" wird die Auswertung nicht wiederholt.

Aufgabenstellung

[0031] Die Aufgabe der Erfindung ist es, selektive den Abgang mit einem einfach zündenden Erdschluss, einen "wiederzündenden Erdschluss" und einen "intermittierenden Erdschluss" für Fehlerwiderstände bis in den Bereich von einigen kOhm zu erkennen und anzuzeigen. Das Verfahren kann auch dazu verwendet werden, die Auswertungen von Verfahren die stationäre Messwerte voraussetzen zu unterdrücken.

[0032] Der Vorteil des neuen Verfahrens liegt darin, dass die Größe des Übergangswiderstandes Z_F bereits indirekt über die Größe der Nullspannung berücksichtigt wird. Mit dem neuen Verfahren ist daher ein Richtungsentscheid aus dem transienten Vorgang bis in den Bereich von einigen kOhm möglich. Bisher konnte mit

Wischerrelais die Richtungserkennung nur bis in den Bereich von einigen Ohm durchgeführt werden. Die meisten Erdschlüsse finden jedoch bereits Übergangswiderstände von einigen hundert Ohm vor.

[0033] Ein weitere Vorteil liegt darin, dass auch Erdschlüsse mit einer Brenndauer im ms-Bereich erkannt werden, auch wenn dieser Erdschluss über einen hochohmigen Widerstand erfolgt.

[0034] Ein weiterer Vorteil des Verfahrens liegt, darin, dass die Ansprechempfindlichkeit des Relais durch zwei Parameter eingestellt wird:

u_{ERD} Erforderliche Nullspannung für einen Erdschluss

C_{0min} Erforderliche Leitungslänge des gesunden Netzes in A.

[0035] Bei den bisherigen Relais wird ein Auslösestrom angegeben, der eine Funktion von Z_F , Zündzeitpunkt, Trofoimpedanz usw. ist. Die tatsächliche Auslösung musste für jeden Erdschlussfall nachgerechnet werden.

[0036] Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zur Erkennung der Richtung aus der Aufladeschwingung des einmalig zündenden, des wiederzündenden und des intermittierenden Erdschlusses für Fehlerwiderstände bis in den Bereich von einigen kOhm gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- (a) Kontinuierliches Abtasten und Speichern der Nullspannung u_0 und des Nullstromes i_{0x} in einem Abgang.
- (b) Feststellung eines Erdschlusses bei Überschreitung des Betrags der Nullspannung u_0 eines eingestellten Grenzwertes u_{ERD} zum Zeitpunkt t_1
- (c) Suche im Speicher nach dem Zeitpunkt t_0 des Nulldurchganges der Nullspannung u_0 , der vor dem oben definierten Zeitpunkt t_1 und mindestens eine Periode in der Vergangenheit liegt.
- (d) Speichern der Nullspannung u_0 und des Nullstromes i_{0x} ab diesem Zeitpunkt t_0 bis zum definierten Erdschluss t_1 .
- (e) Berechnung der Ladung q_{0x} durch aufsummieren des Nullstromes i_{0x} bei zeitäquidistanter Abtastung, andernfalls muss die Zeit zwischen den Abtastpunkten berücksichtigt werden bzw. ein anderes numerisches Integrationsverfahren verwendet werden.
- (f) Klassifizierung der Kurve $q_0 = f(u_0)$ für den Zeitbereich von t_1 bis t_2 nach bekannten Verfahren der Mathematik wie z.B. Regressionsanalyse, Korrelationsanalyse, Polynominterpolation, Pseudoinverse usw.
- (g) Feststellung eines gesunden Abgangs, wenn die Kurve eine Gerade mit positiver Steigung ist, oder wenn die Kurve keine Gerade ist und die Tangente der ersten Abweichung von der Geraden eine positive Steigung bzw. die Kurve bis zum ersten Maximum links drehend ist, oder
- (h) Feststellung eines erdschlussbehafteten Abgangs, wenn die Kurve eine Gerade mit negativer Steigung ist oder wenn die Kurve keine Gerade ist und die Tangente der ersten Abweichung von der Geraden eine negative Steigung hat, bzw. die Kurve bis zum ersten Maximum rechts drehend ist.
- (i) Ablegen der Nullspannung u_0 und des Nullstroms i_0 während des Erdschlusses in einen Buffer.
- (j) Überprüfung ob eine erneute Zündung innerhalb eines einstellbaren Beobachtungszeitraumes Δt_w erfolgt ist bei nachfolgenden Über- bzw. Unterschreitungen des eingestellten Grenzwert u_{ERD} durch den Betrag der Nullspannung u_0 .
- (k) Erkennung einer erneuten Zündung durch einen Vergleich der Spannungsmaxima von $|u_0|$ innerhalb des Beobachtungszeitraumes. Ist ein Anstieg der Spannungsmaxima erkennbar, so wird eine Zündung des Lichtbogens erkannt und der Erdschluss als wiederzündender bzw. intermittierender Erdschluss klassifiziert und angezeigt. (l) Die Punkte (c). bis (h) werden zur Klassifizierung der Richtung des wiederzündenden bzw. intermittierenden Erdschlusses durchgeführt.
- (m) Die Punkte (j) bis (l) werden wiederholt, bis der eingestellte Wert von u_{ERD} nicht mehr überschritten wird.

Beschreibung der Bilder:

- [0037] **Abb. 1** Entladevorgang des Netzes
- [0038] **Abb. 2** Aufladevorgang des Netzes und stationärer Zustand
- [0039] **Abb. 3** Niederohmiger Fehler: Erdschlussbehafteter Abgang
- [0040] **Abb. 4** Niederohmiger Fehler: Gesunde Abgänge
- [0041] **Abb. 5** Spannungsverlauf der Nullspannung bei einem hochohmiger Fehler in einem gelöschten Netz
- [0042] **Abb. 6** Beginn eines niederohmigen wiederzündenden Fehlers
- [0043] **Abb. 7** q_u – Diagramm: Gesunder Abgang eines gelöschtes Netz bzw. isolierten Netz
- [0044] **Abb. 8** q_u – Diagramm: Erdschlussbehafteter Abgang, isoliertes Netz,
- [0045] **Abb. 9** q_u – Diagramm: Hochohmiger Fehler, gesunder Abgang mit einer zusätzlichen E-Spule in Richtung des Abganges
- [0046] **Abb. 10** q_u – Diagramm: Hochohmiger Fehler, erdschlussbehafteter Abgang

Ausführungsbeispiel

[0047] Im folgenden wird die Erfindung anhand des **Abb. 2** beispielhaft beschrieben.

[0048] Im **Abb. 2** ist ein Netz mit drei Abgängen und einem angenommenen Erdschluss im Leiter 1 im Abgang

A dargestellt.

[0049] Für den betrachteten Frequenzbereich des Umladevorganges sind die Längsimpedanzen der Leitungen vernachlässigbar bzw. reduzieren die im folgenden ermittelten Nullkapazitäten nur gering.

[0050] Wesentlich ist, dass die Nullspannung u_0 entsprechend ihrer Definition in Bezug auf die Erde ermittelt wird.

[0051] Im **Abb. 2** können die folgenden Arten von Abgängen unterschieden werden:

A) Gesunder Abgang ohne Erdschluss:

[0052] Unter Vernachlässigung der Längsimpedanzen der Leitungen werden im gesunden Abgang für das Nullsystem nur die Nullkapazitäten gegen Erde wirksam. Die Nullkapazität eines Abganges kann entsprechend den bekannten Verfahren wie z.B. den symmetrischen Komponenten berechnet werden zu:

$$C_{0X} = C_{1X} + C_{2X} + C_{3X} \quad (3)$$

[0053] Für den gesamten Nullstrom i_{0X} im gesunden Abgang x gilt:

$$i_{0X} = C_{0X} \frac{d u_0}{dt} \quad (4)$$

bzw. für die Nullspannung:

$$u_0 = \frac{1}{C_{0X}} \int i_{0X} dt + u_0(0) \quad (5)$$

[0054] Numerisch kann die Integration durch eine Summenbildung angenähert werden. Bei einer zeitäquidistanten Abtastung der Nullströme vereinfacht sich die Integration zu einer Addition der Abtastwerte. Für den Fall $u_0(0) = 0$ unterscheidet sich der zeitliche Verlauf von u_0 von der Summenkurve nur durch einen Proportionalitätsfaktor.

B) Erdschlussbehafteter Abgang:

[0055] Im erdschlussbehafteten Abgang hingegen sind im Nullstrom die folgenden Komponenten enthalten:

a) In den Abgang hineinfließend:

– Aufladestrom des erdschlussbehafteten Abganges A

$$i_{0A} = C_{0A} \frac{d u_0}{dt} \quad (6)$$

b) Aus dem Abgang herausfließend:

– Summe der Ströme der gesunden Abgänge inklusive des erdschlussbehafteten Abganges

$$i_{0\Sigma G} = \sum_{X=A}^n i_{0X} = \sum_{X=A}^n C_{0X} \frac{d u_0}{dt} \quad (7)$$

– Strom durch die Petersen-Spule ($L_P // R_P$)

$$i_P = \frac{u_{NE}}{R_P} + \frac{1}{L_P} \int u_{NE} dt + i_P(0) \quad (8)$$

[0056] Der gesamte Nullstrom des erdschlussbehafteten Abganges A ist:

$$i_{0\Sigma A} = i_{0A} - i_{0\Sigma G} - i_P \quad (9)$$

[0057] Bei isolierten Netzen entspricht der Strom i_{0A} der Summe der Nullströme der gesunden Abgänge, aber mit umgekehrtem Vorzeichen.

[0058] Bei gelöschten Netzen ist der eingeschwungene Wert i_{0A} abhängig von der Größe der Petersenspule und die Kurvenform kann sogar der eines gesunden Abganges sehr ähnlich werden.

- [0059] Am Beginn des Erdschlusses ist der Anteil des Stromes durch die Petersenspule gering.
- [0060] Aus A) ist ersichtlich, dass aus dem Proportionalitätsfaktor die Nullkapazität der Leitung errechnet werden kann. Damit besteht die Möglichkeit die Auslöseempfindlichkeit des Relais in Form der Nullkapazität der gesunden Leitungslänge zu definieren.
- [0061] Da nur die Aufladeschwingung betrachtet wird, können Tiefpassfilter der Messung von u_0 und i_{0x} vorgeschaltet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung der Richtung aus der Aufladeschwingung des einmalig zündenden, des wiederzündenden und des intermittierenden Erdschlusses für Fehlerwiderstände bis in den Bereich von einigen kOhm gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- (a) Kontinuierliches Abtasten und Speichern der Nullspannung u_0 und des Nullstromes i_{0x} in einem Abgang.
- (b) Feststellung eines Erdschlusses bei Überschreitung des Betrags der Nullspannung u_0 eines eingestellten Grenzwertes u_{ERD} zum Zeitpunkt t_1
- (c) Suche im Speicher nach dem Zeitpunkt t_0 des Nulldurchganges der Nullspannung u_0 , der vor dem oben definierten Zeitpunkt t_1 und mindestens eine Periode in der Vergangenheit liegt.
- (d) Speichern der Nullspannung u_0 und des Nullstromes i_{0x} ab diesem Zeitpunkt t_0 bis zum definierten Erdschluss t_1 .
- (e) Berechnung der Ladung q_{0x} durch aufsummieren des Nullstromes i_{0x} bei zeitäquidistanter Abtastung, andernfalls muss die Zeit zwischen den Abtastpunkten berücksichtigt werden bzw. ein anderes numerisches Integrationsverfahren verwendet werden.
- (f) Klassifizierung der Kurve $q_0 = f(u_0)$ für den Zeitbereich von t_0 bis t_2 nach bekannten Verfahren der Mathematik wie z. B. Regressionsanalyse, Korrelationsanalyse, Polynominterpolation, Pseudoinverse usw.
- (g) Feststellung eines gesunden Abgangs, wenn die Kurve eine Gerade mit positiver Steigung ist, oder wenn die Kurve keine Gerade ist und die Tangente der ersten Abweichung von der Geraden eine positive Steigung bzw. die Kurve bis zum ersten Maximum links drehend ist, oder
- (h) Feststellung eines erdschlussbehafteten Abgangs, wenn die Kurve eine Gerade mit negativer Steigung ist oder wenn die Kurve keine Gerade ist und die Tangente der ersten Abweichung von der Geraden eine negative Steigung hat, bzw. die Kurve bis zum ersten Maximum rechts drehend ist.
- (i) Ablegen der Nullspannung u_0 und des Nullstromes i_0 während des Erdschlusses in einen Buffer.
- (j) Überprüfung ob eine erneute Zündung innerhalb eines einstellbaren Beobachtungszeitraumes Δt_w erfolgt ist bei nachfolgenden Über- bzw. Unterschreitungen des eingestellten Grenzwert u_{ERD} durch den Betrag der Nullspannung u_0 .
- (k) Erkennung einer erneuten Zündung durch einen Vergleich der Spannungsmaxima von $|u_0|$ innerhalb des Beobachtungszeitraumes. Ist ein Anstieg der Spannungsmaxima erkennbar, so wird eine Zündung des Lichtbogens erkannt und der Erdschluss als wiederzündender bzw. intermittierender Erdschluss klassifiziert und angezeigt.
- (l) Die Punkte (c). bis (h) werden zur Klassifizierung der Richtung des wiederzündenden bzw, intermittierenden Erdschlusses durchgeführt.
- (m) Die Punkte (j) bis (l) werden wiederholt, bis der eingestellte Wert von u_{ERD} nicht mehr überschritten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur genaueren Berechnung zusätzlich die Messwerte bis zum Zeitpunkt t_2 , der einige ms nach dem Zeitpunkt t_1 liegt, berücksichtigt werden.
zur genaueren Berechnung zusätzlich die Messwerte, die einige ms nach dem Zeitpunkt t_1 gemessen worden sind, berücksichtigt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bestimmung des Zeitpunktes t_0 ein anders definierter Bereich verwendet wird z.B. 30ms oder der Zeitpunkt des dritten Nulldurchganges vor dem definierten Erdschlusseintritt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Nullspannung u_0 über die Messung der drei Spannungen u_{1E} u_{2E} und u_{3E} berechnet wird oder direkt über eine offene Dreieckswicklung gemessen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung des Summenstromes nach Verfahren wie

- Messung der drei Einzelströme und elektrischer Addition der drei Ströme (Holmgreen-Schaltung)
- Messung des Summenstromes mit Hilfe eines Kabelumbauwandlers.
- Messung der drei Einzelströme und numerische Addition nach der Wandlung im Gerät.

erfolgt

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Klassifizierung der Geraden Grenzwerte vorgegeben werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Erdschlussschwelle u_{ERD} ein Schwellwert vorgegeben wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Erkennung von wiederzündenden Erdschlüssen die Länge des Beobachtungsfensters Δt_w und vorgegeben wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Erkennung von wiederzündenden Erdschlüssen die notwendige Änderung der Spannung Δu_0 im Beobachtungsfensters Δt_w als Schwellwert vorgegeben wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erkannte wiederzündende oder intermittierende Erdschluss die Anzeige von anderen Erdschlussortungsverfahren unterdrückt.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für Abtastsysteme Tiefpassfilter als Antialiasingfilter zur Messung von u_0 und i_{0x} vorgeschaltet werden.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Steigung der Kurven im qu-Diagramm die Nullkapazität des Abganges berechnet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine weitere Auslöseschwelle für die Akzeptanz des Richtungsentscheides durch Angabe der Nullkapazität des Abganges gesetzt wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

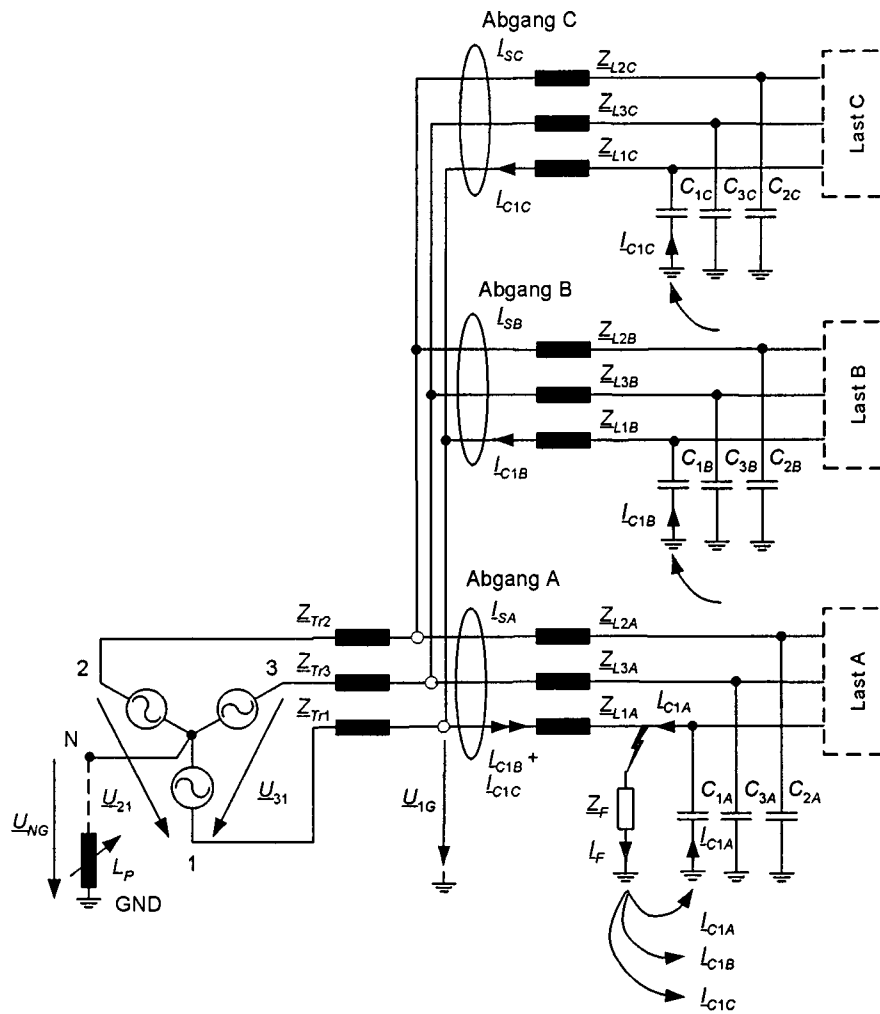


Bild 1

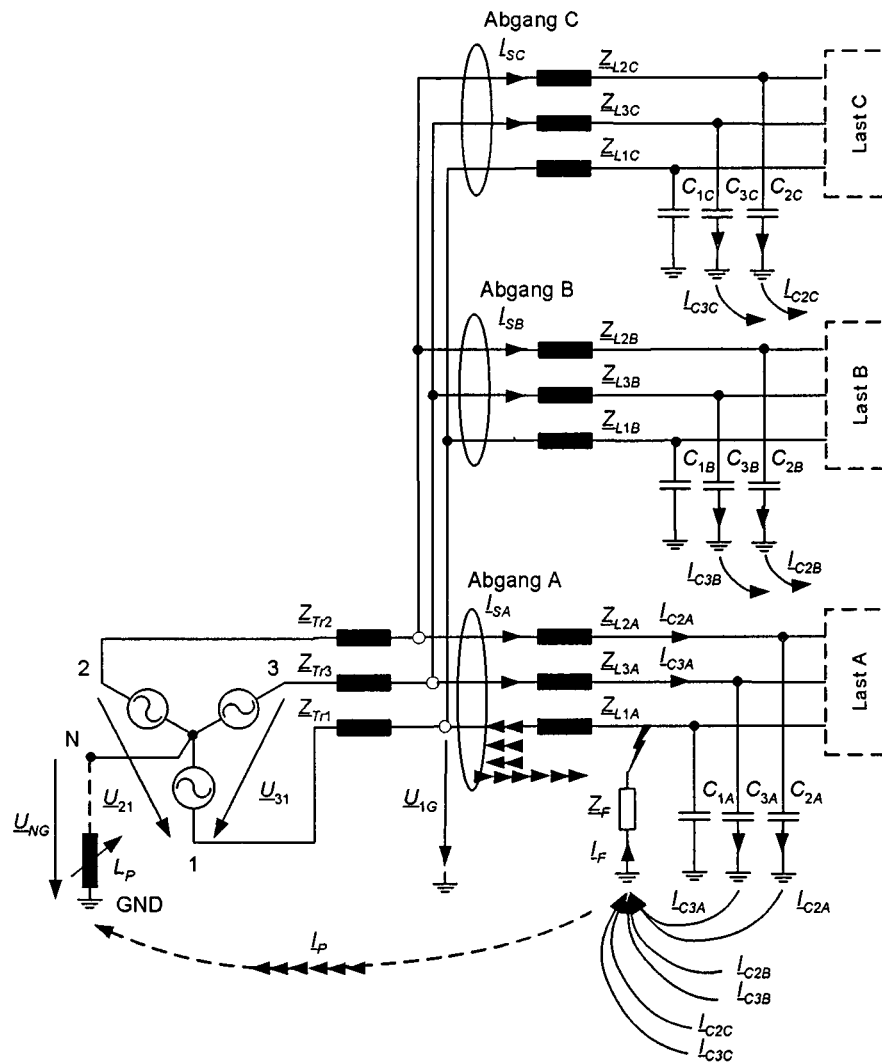


Bild 2

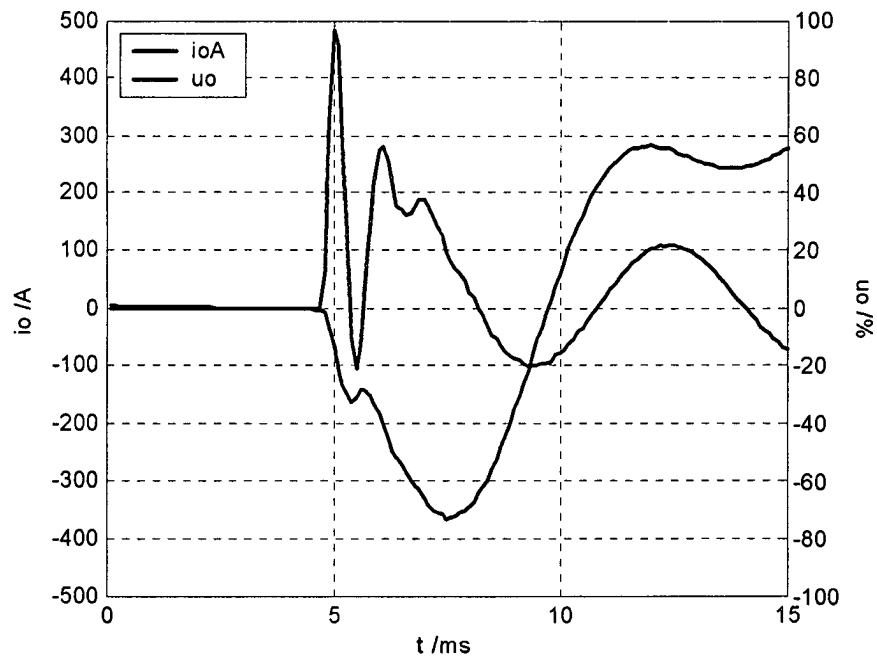


Bild 3

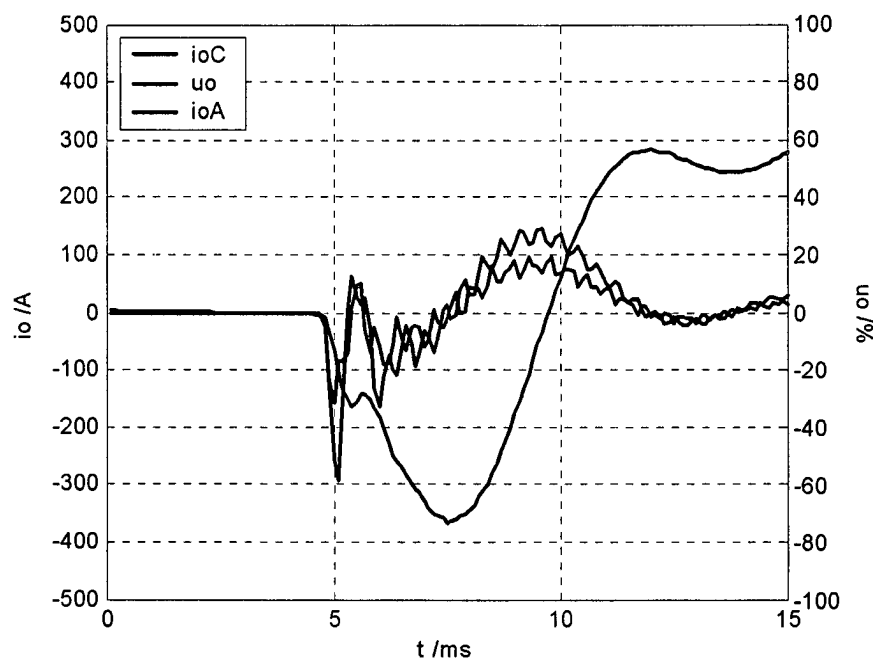


Bild 4

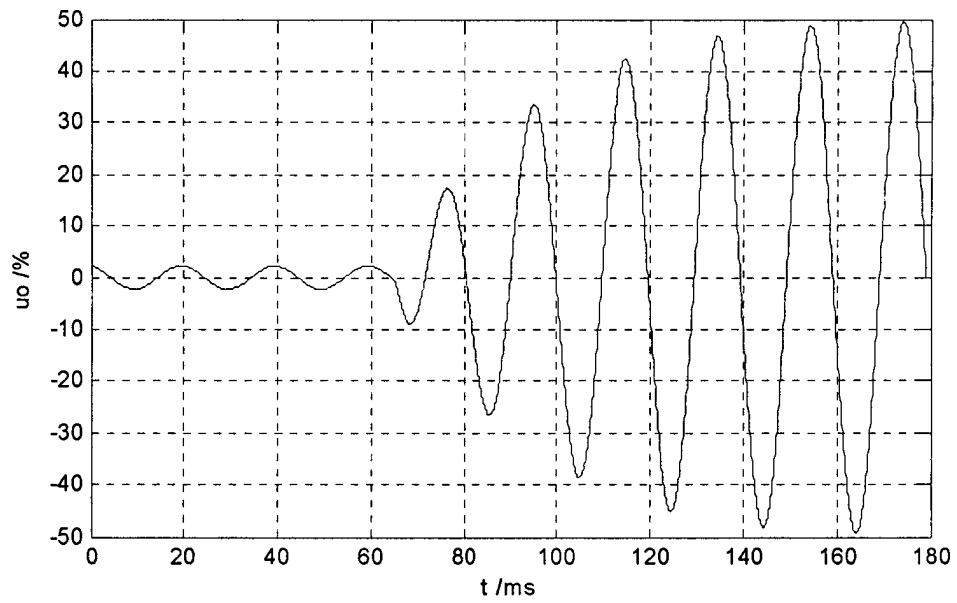


Bild 5

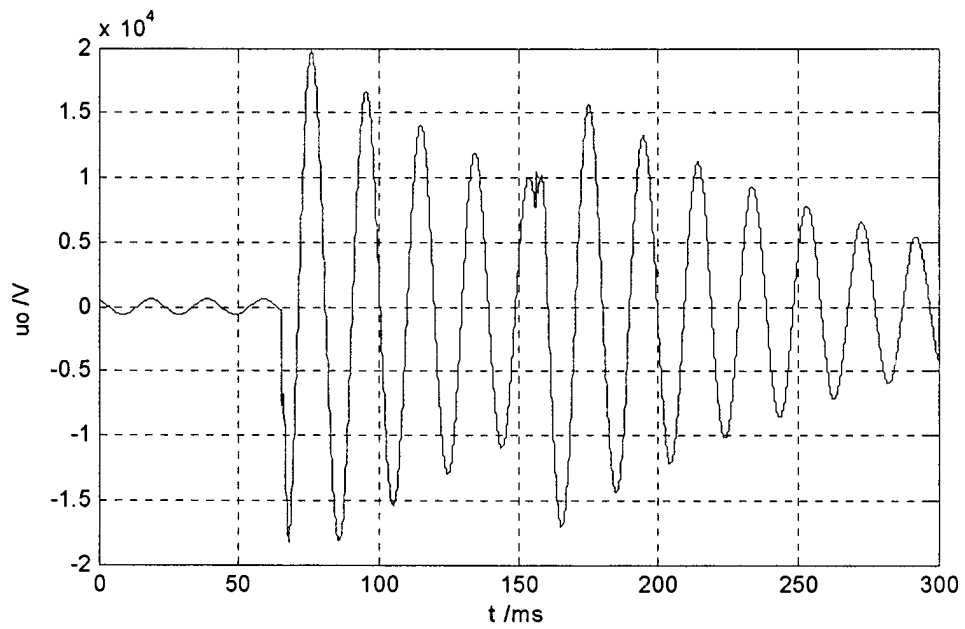


Bild 6

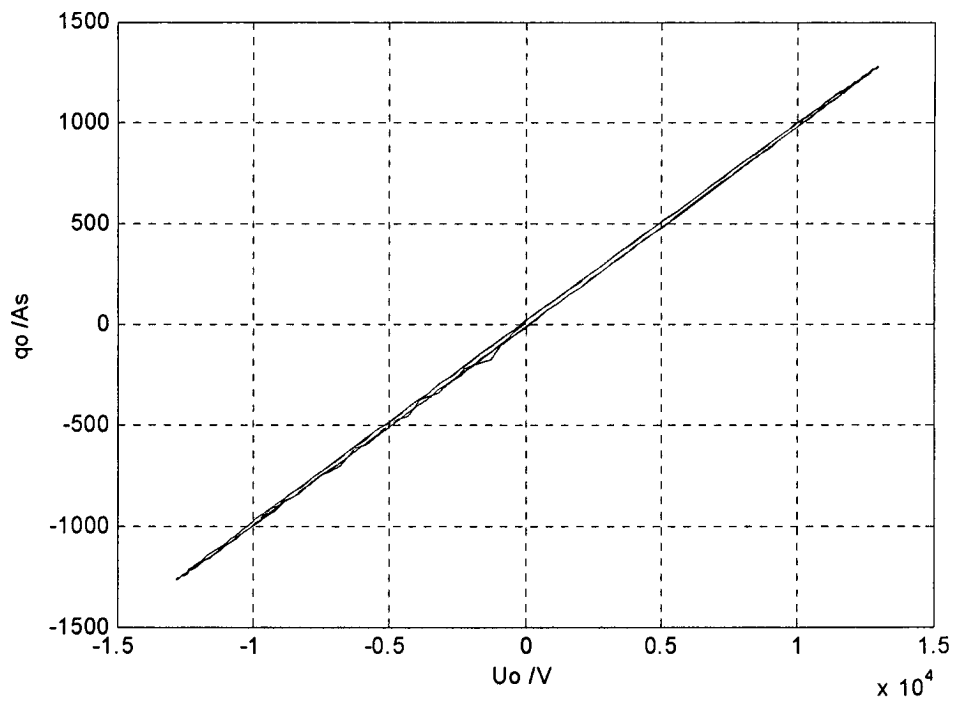


Bild 7

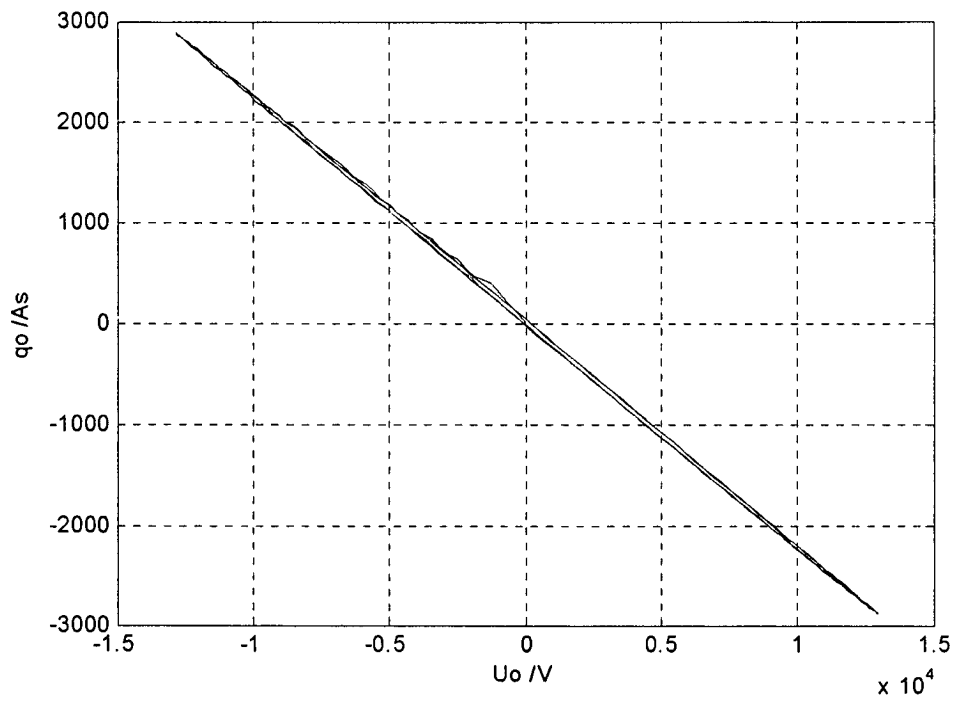


Bild 8

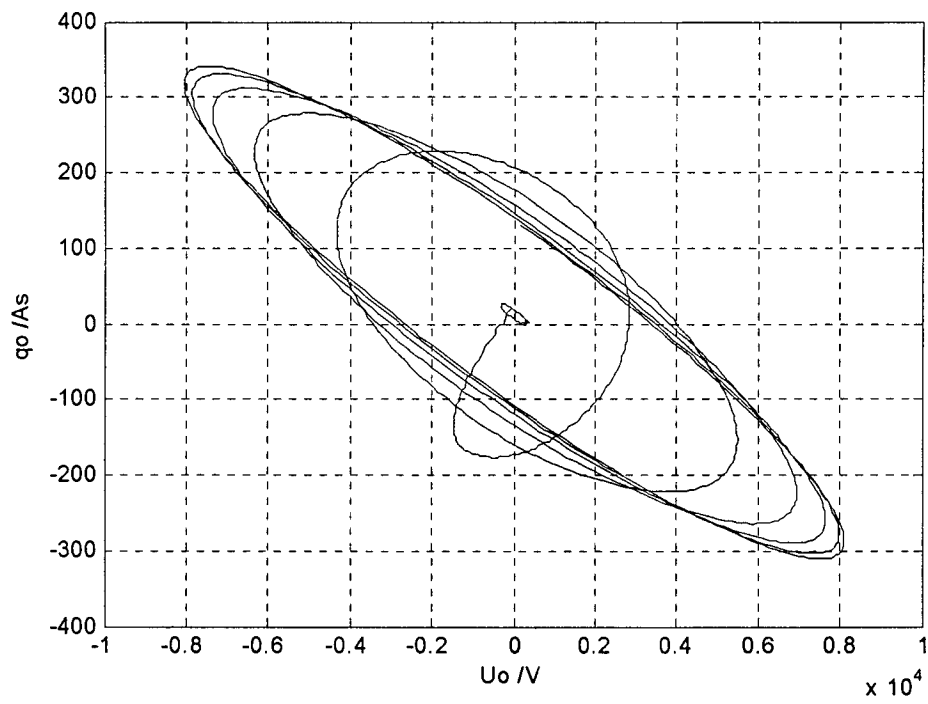


Bild 9

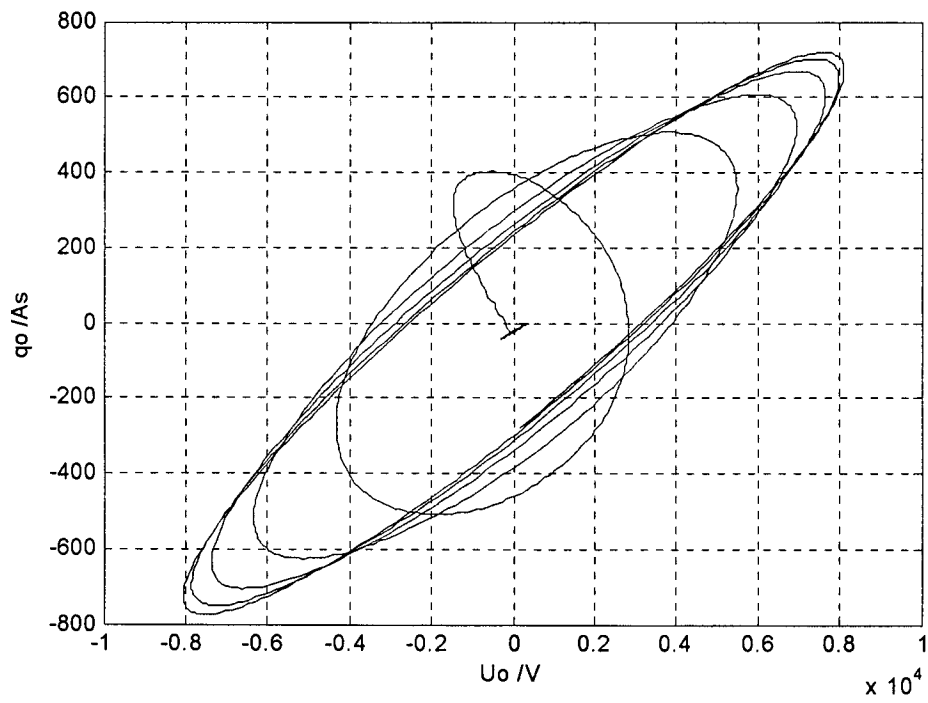


Bild 10