

(19)



(10)

AT 507454 B1 2014-11-15

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1642/2009
(22) Anmeldetag: 19.10.2009
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2014

(51) Int. Cl.: **G01R 27/18** (2006.01)
G01R 31/08 (2006.01)
G01R 31/02 (2006.01)

(30) Priorität:
17.10.2008 DE 102008052225 beansprucht.
12.05.2009 DE 102009020908 beansprucht.

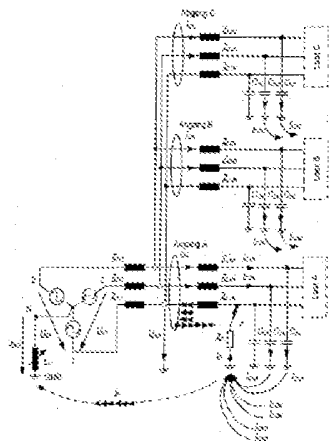
(56) Entgegenhaltungen:
AT 500195 B1
DE 10225058 A1
EP 0267500 A1
WO 2005038474 A1
EP 0963025 A2

(73) Patentinhaber:
EDC GMBH
90441 NÜRNBERG (DE)

(74) Vertreter:
BARGER W. DIPL.ING., PISO E. DR.,
ISRAILOFF P. DIPL.ING. DR. TECHN.
WIEN

(54) **ERWEITERTES VERFAHREN ZUR ERKENNUNG DER RICHTUNG EINES ERDSCHLUSSES**

(57) Verfahren zur Erkennung der Richtung eines Erdschlusses aus der Aufladeschwingung des einmalig zündenden, des wiederzündenden und des intermittierenden Erdschlusses für Fehlerwiderstände von 0 Ohm bis in den Bereich von einigen kOhm in strahlen-, ringförmigen oder vermaschten Wechsel- und Drehstromnetzen mit isoliertem Sternpunkt oder mit nieder- bzw. hochohmig geerdetem Sternpunkt durch kontinuierliches Abtasten und Speichern der Nullspannung sowie des Nullstromes und Feststellung eines Erdschlusses und dessen Art.



Beschreibung

ERWEITERTES VERFAHREN ZUR ERKENNUNG DER RICHTUNG EINES ERDSCHLUSSES BESCHREIBUNG

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

[0002] Wie bereits in der Offenlegungsschrift DE 103 02 451 bzw. AT 500195 beschrieben, kann der Beginn eines Erdschlusses in zwei sich gleichzeitig überlagernde Vorgänge aufgeteilt werden,

- den Entladevorgang des erdschlussbehafteten Leiters und
- den Aufladevorgang der beiden gesunden Leiter,

die dann in den stationären Erdschluss übergehen.

Die in der erwähnten Offenlegungsschrift beschriebenen Vorgänge gelten für Strahlennetze, Ringnetze und vermaschte Netze. Bei Ringnetzen und vermaschten Netzen überlagert sich aber zusätzlich ein Nullstrom, der von der Unsymmetrie der Leitungs-Längsimpedanzen und vom Laststrom abhängt. Abhängig von der Unsymmetrie der Längsimpedanzen und vom Laststrom wird dieser Einfluss nicht vernachlässigbar und führt zu falschen Richtungsentscheidungen der Erdschlussortung. Sowohl die Hochspannungs-Transportnetze als auch die Mittelspannungs-Verteilnetze werden heute aus Gründen der Ausfallsicherheit und der notwendigen Übertragungsleistung überwiegend als Ringnetz bzw. als vermaschtes Netz betrieben. Eine falsche Richtungsanzeige führt zu falschen Entscheidungen bei der Fehlereingrenzung und verlängert dadurch wesentlich die Zeit bis zur Fehlerbeseitigung.

[0003] Das Verfahren soll an Hand der folgenden Bilder beschrieben werden:

[0004] Bild 1 Aufladevorgang des Netzes in einem Strahlennetz

[0005] Bild 2 Aufladevorgang des Netzes in einem Ringnetz

[0006] Bild 3 Übersprechen des Laststromes auf das Nullsystem

[0007] Bild 4 Zeitverlauf von u_0 und i_0 in einem vermaschten Industrienetz

[0008] Bild 5 Standard qu - Diagramm des vermaschten Industrienetzes

[0009] Bild 6 Linearisierung des Nullstromes des Abganges Abg1 des Industrienetzes

[0010] Bild 7 Adaptive Unterdrückung des Nullstromes bis zum Fehlereintritt

[0011] Bild 8 Zeitverlauf von u_0 und i_0 des vermaschten Industrienetzes nach der Linearisierung um den Arbeitspunkt und mit adaptiver Nullunterdrückung.

[0012] Bild 9 qu-Diagramm angewendet auf die Ergebnisse von Bild 8

[0013] Im Bild 1 ist der Aufladevorgang der gesunden Leiter im Strahlennetz dargestellt. Es ist erkennbar, dass der gesamte Aufladestrom über die Fehlerstelle F fließt. Am Relaiseinbauort des Abganges A fließt der gesamte Aufladestrom im fehlerhaften Leiter. Erst im stationären Zustand reduziert der Strom über die Petersen Spule L_p den Strom im fehlerhaften Leiter. Die Auswertung entsprechend der Offenlegungsschrift DE 103 02 451 für niederohmige, hochohmige und wiederzündende Fehler ist im Strahlennetz erfolgreich.

[0014] Im Bild 2 ist erkennbar, dass sich bei einem Ringnetz der Fehlerstrom aufteilt. Die Aufteilung erfolgt umgekehrt proportional zu den Längsimpedanz Z_{L1A} und Z_{L1B} der fehlerhaften Phase. Eine Auswertung entsprechend der Offenlegungsschrift DE 103 02 451 wird richtige Ergebnisse liefern, wenn die Längsimpedanzen des Abganges A bestehend aus Z_{L1A} , Z_{L2A} und Z_{L3A} und des Abganges B bestehend aus Z_{L1B} , Z_{L2B} und Z_{L3B} symmetrisch aufgebaut sind. Dies bedeutet es gilt $Z_{L1A} = Z_{L2A} = Z_{L3A}$ und $Z_{L1B} = Z_{L2B} = Z_{L3B}$.

[0015] Um das Übersprechen des Laststromes auf das Nullsystem zu veranschaulichen, wird im Bild 3 beispielhaft der Einfluss von unsymmetrischen Längsimpedanzen dargestellt. Ein angenommener Laststrom von 100 A teilt sich bei einer angenommenen Längsimpedanz von 1 Ohm zu je 50 A auf die einzelnen Leiter auf. In diesem Fall sind die Summenströme I_{SA} und I_{SB} gemessen am Relaiseinbauort 0A. Im Beispiel wird nun angenommen, dass die Längsimpedanz Z_{L2B} nur einen Wert von 0.5 Ohm hat. Die Laststromaufteilung in den Leitern L1 und L3 bleibt unverändert. Die Aufteilung im Leiter L2 erfolgt aber umgekehrt proportional zu den Impedanzen Z_{L2A} und Z_{L2B} . Infolge dessen sind die Summenströme I_{SA} und I_{SB} am Relaiseinbauort nicht mehr Null. Im Beispiel ist der Strom $I_{SA} = 16.6A$ und $I_{SB} = -I_{SA}$. Diese Summenströme sind in der dargestellten Anordnung mit vernachlässigten Leiter-Erde Kapazitäten unabhängig von der Nullspannung und nicht durch diese verursacht. Diese Summenströme überlagern sich dem Nullstrom, der durch die Nullspannung verursacht wird. Dieses Übersprechen ist auch im fehlerfreien Netz vorhanden.

[0016] Dieses Übersprechen des Laststromes auf das Nullsystem ist meistens nicht vernachlässigbar und führt dann bei allen Relais zu Fehlanzeigen d.h. zu Über- bzw. Unterfunktion.

[0017] Eine einfache Maßnahme wäre es, die beiden Abgänge A und B nicht getrennt zu betrachten. Eine Summierung der beiden Summenströme vor der Auswertung könnte das Problem lösen. Dies bedeutet aber eine feste unveränderliche Schaltung der parallelen Leitungen in einem Ring. Dies ist bei einfachen Netzen mit parallelen Leitungen manchmal möglich. Bei den heutigen Netzen ist allerdings der Schaltzustand meist nicht bekannt und wird sehr oft entsprechend den aktuellen Bedürfnissen verändert. Es existieren oft auch Schaltzustände, bei denen mehr als zwei Abgänge zu einem Mehrfachring zusammen geschaltet sind d.h. zu einem vermaschten Netz geschaltet sind. Für eine korrekte Auswertung müsste das Relais den Schaltzustand des Netzes und die Ströme in den anderen Abgängen kennen. Dies wäre aber nur mit sehr hohem Aufwand und bei sehr kleinen Schaltanlagen bzw. Umspannwerken möglich.

[0018] Die Ursachen für die unterschiedlichen Längsimpedanzen sind im Wesentlichen durch die unterschiedlichen Anordnungen der drei Leiter zu finden. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Koppelinduktivitäten zwischen den einzelnen Leitern. In der Veröffentlichung 'Control of Petersen Coils' vom XI. International Symposium on Theoretical Electrical Engineering in Linz (2001) wurden die unterschiedlichen Kopplungen und deren Auswirkungen auf das Nullsystem ausführlich dargestellt.

[0019] In der Offenlegungsschrift DE 103 02 451 wurde gezeigt, dass die Nullspannung u_0 in einem gesunden Abgang entsprechend der folgenden Gleichung aus dem Nullstrom des Abganges ermittelt werden kann.

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

[0020] Bei geeigneter Wahl des Integrationszeitpunktes ergeben sich bei gesunden Abgängen Geraden. In ringförmigen und vermaschten Netzen setzt sich der Nullstrom i_{0X} aus zwei Komponenten zusammen:

- Nullstrom verursacht durch die Nullspannung $i_{0_U_0}$
- Strom durch das Übersprechen $i_{0_I_{Last}} = \frac{i_{S_I_{Last}}}{3}$

[0021] Die Gleichung (1) ist damit nicht mehr gültig.

[0022] Die Berechnung der Nullspannung nach Gleichung (1) erfordert, dass der Strom $i_{0_I_{Last}}$ vom gemessenen Strom i_{0X} subtrahiert wird. Der Anteil von $i_{0_I_{Last}}$ im gemessenen Nullstrom ist aber:

- Nicht bekannt
- Von der Größe des Laststrom abhängig und somit zeitlich variabel

- Vom Ort der Last abhängig
- Von der Art des Verbrauchers abhängig: auch Oberschwingungen werden eingekoppelt
- Seine Phasenlage ist von der geometrischen Anordnung der Leiter abhängig.

Die Phasenlage des Nullstromes i_0 u_0 ist hingegen von der Phasenlage der Nullspannung abhängig

[0023] Die Offenlegungsschrift DE 103 02 451 ist eine Erweiterung der DE 102 25 058 mit der zusätzlichen Behandlung des intermittierenden Fehlers.

[0024] In der Patentanmeldung EP 0 267 500 wird ein Verfahren gezeigt, wie ein Grundschwingungsanteil von i_0 und u_0 kompensiert werden kann. Durch ein auf die Netzfrequenz abgestimmtes Bandpassfilter wird das stationäre Signal durchgelassen und vom aktuellen Signal subtrahiert. Das resultierende Signal beinhaltet alle Oberschwingungen und den transienten Vorgang. Durch dieses Verfahren wurde in diesem Patent gezeigt, dass die Anforderungen bezüglich der Auslöseschwelle reduziert werden können.

[0025] In den heutigen Netzen mit den stark angestiegenen Oberschwingungsanteilen, verursacht durch die Frequenzumrichter der Windparks und Photovoltaikanlagen, ist es aber notwendig auch die Oberschwingungen richtig zu kompensieren.

[0026] Andererseits ist aus der Signalverarbeitung bekannt, dass jeder transiente Vorgang auch Oberschwingungsanteile erzeugt. Eine einfache Kompensation mit Bandsperren verfälscht das Frequenzspektrum für einige Erdschlussortungsverfahren unzulässig.

[0027] Im Patent DE 103 02 451 B3 wird ein integrierendes Erdschluss-Ortungs-Verfahren verwendet. Dabei wird der Nullstrom integriert und dieser Wert im Vergleich zur Nullspannung bewertet. Damit diese Bewertung richtige Ergebnisse liefert, ist es notwendig möglichst das ganze Frequenzspektrum richtig zu übertragen. Sowohl Offsetwerte als auch scheinbare Frequenzanteile, die nicht durch den Erdschluss begründet sind, können zu einer falschen Bewertung führen.

[0028] Bisher ist man davon ausgegangen, dass der Erdschlusseintritt immer im Spannungsmaximum erfolgt. Im Beitrag „New Improvements for Transient Relays“ beim Seminar „Methods and techniques for earth fault detection, indication and location“ an der Aalto University Espoo in Finnland (2011) wurden die Auswirkungen gezeigt, wenn der Erdschlusseintritt nicht im Spannungsmaximum erfolgt. In diesem Fall wird das erste Spannungsmaximum wesentlich kleiner und liegt unter der Ansprechschwelle des Erdschlussrelais.

[0029] Durch die neue zusätzliche Vorverarbeitung wird eine wesentlich höhere Empfindlichkeit des qu-Algorithmus aus DE 103 02 451 B3 erreicht.

[0030] Beim Verfahren nach DE 103 02 451 B3 entsteht ein weiteres Problem, wenn z.B. die Messwandler in Sättigung gehen und das Eingangssignal beschnitten wird. In dem erwähnten Verfahren wird durch die Integration des Nullstromes die Ladung berechnet. In einem erdschlussfreien Abgang ist die auf die Leitung aufgebrachte Ladung proportional zur Nullspannung. Wenn aber der Strom durch reale oder scheinbare Sättigungserscheinungen beschnitten wird, dann kann dies ebenfalls zu einer falschen Bewertung der Erdschlussrichtung führen. Neben der erwähnten Sättigung durch Stromwandler kann eine Begrenzung durch Sättigungserscheinungen von Eingangsverstärkern oder durch den limitierten Eingangsbereich von Analog-Digital-Wandler erfolgen.

[0031] Das Verfahren nach EP 0 963 025 A2 verwendet für die Richtungserkennung Zeiger, die aber per Definition nur für den stationären Zustand gültig sind. Die Erkennung der Richtung des erdschlussbehafteten Abganges erfolgte üblicherweise abhängig von der Sternpunktbehandlung: isoliert, kompensiert, niederohmige Erdung. Abhängig von der Sternpunktbehandlung erfolgt bei den üblichen Verfahren eine Parameterumschaltung der Kennlinien. In dieser Offenlegungsschrift beschränkt man sich auf die Vorwärtsrichtung der Erdschlussanzeige. Außerdem

wird nach Bild (4c) angenommen, dass die verteilte Kompensation keine Löscheinleistung ins eigene Netz liefert und damit eine Überschneidung der Sektoren ausgeschlossen.

[0032] Durch die Einführung eines erweiterten Sektors erfolgt in dieser Offenlegung eine Vorwärts-Richtungserkennung unter Einhaltung der oben erwähnten Randbedingung unabhängig von der Art der Sternpunktbehandlung im stationären Zustand. Wie die Praxis zeigt funktionieren die stationären Verfahren meistens nicht richtig, da einerseits die Strom- und Spannungswandler Winkelfehler aufweisen und andererseits das Verfahren auf Grund des transienten Verhaltens eines wiederzündenden Fehlers keine richtige Richtungsentscheidung treffen kann. Sobald ein Kabel im Netz vorhanden ist und der Fehler im Kabelabschnitt liegt, ist dies fast immer ein wiederzündender Fehler und das Verfahren neigt sehr stark zur Überreaktion.

[0033] Das Verfahren nach EP 0 267 500 A1 verwendet zur Erhöhung der Empfindlichkeit Tiefpassfilter um die Grundschiwingung vom gemessenen Signal zu subtrahieren. Das Tiefpassfilter wirkt durch seine Einschwingträgheit als gleitender Speicher. Durch die gleitende Speicherwirkung entsteht aber eine Phasenverschiebung zwischen dem gefilterten Signal und dem ungefilterten Signal, sodass eine vollständige Auslöschung der Grundschiwingung erst bei Filter sehr hoher Ordnung erreichbar ist. Es muss eine Phasendrehung um ein vielfaches von 180° erfolgen. Diese Filter sind aber nicht geeignet um den schnellen Änderungen bei wiederzündenden Fehlern zu folgen und den richtigen Subtraktionswert zu ermitteln. Dadurch erfolgt in der abklingenden Phase des wiederzündenden Fehlers ein falscher Richtungsentscheid. Durch die Wahl des Filters wird das Verfahren auch sehr empfindlich auf Oberschwingungsspannungen und -ströme. In den heutigen Netzen sind diese durch die zunehmenden nichtlinearen Verbraucher aber nicht mehr zu vernachlässigen. Die Wischerrelais nach diesem Verfahren neigen zu Fehlfunktionen durch Oberschwingungskomponenten. Der hochohmige Fehler wird mit diesem Verfahren üblicherweise auch nicht richtig erkannt, denn es wird der langsame Aufladevorgang bewertet und nicht der eigentliche Zündvorgang.

[0034] Um diese Nachteile zu beseitigen werden im neuen Verfahren sowohl Grundschiwingungen als auch Oberschwingungen durch die Verwendung einer Periode aus der Vergangenheit kompensiert. Außerdem wird beim neuen Verfahren untersucht, welcher Typ vom Erdschluss vorliegt: Erster Zündvorgang, wiederzündender Fehler und Zündung vor der ersten Aufzeichnung. Abhängig davon werden Ersatzvektoren für die Subtraktion ermittelt. Zusätzlich erfolgt bei der Richtungsbestimmung eine integrale Bewertung des Zündvorganges über zumindest eine halbe Periode. Störende Oberschwingungsanteile durch den Entladevorgang der fehlerhaften Phase werden dadurch herausgefiltert und nicht bewertet.

[0035] Die Aufgabe der Erfindung ist es, auch unter den oben angegebenen Randbedingungen selektiv den Abgang mit einem einfach zündenden Erdschluss, einem "wiederzündenden Erdschluss" und einem "intermittierenden Erdschluss" für Fehlerwiderstände von 0 Ohm bis in den Bereich von einigen kOhm in Strahlen-, Ringnetzen und vermaschten Netzen zu erkennen und anzuzeigen. Die folgenden Störeinflüsse sollen möglichst reduziert werden:

- Kreisströme in parallel Leitungen und vermaschten Netzen bestehend aus
 - o Grundschiwingung
 - o Oberschwingungen
 - o Zwischenharmonischen
- Sättigungserscheinungen verursacht durch Wandler, Eingangsverstärker und Analog-Digital-Wandler.
- Scheinbare Null-Ströme verursacht z.B. durch nicht abgegliche Stromwandler bei der Holmgreenschaltung und Null-Spannungen verursacht durch nicht abgegliche Messwandler der offenen Dreieckswicklung zur Spannungsmessung bzw. nicht abgeglichenen kapazitiven Sensoren zur Spannungsmessung.
- Einflusses auf die Richtungsbewertung, wenn die Zündung des Erdschlusses nicht im Spannungsmaximum erfolgt.

- Falsche Bewertung von Nullstrom und Nullspannung, wenn der Zündzeitpunkt vor dem Beginn der Aufzeichnung liegt. Dies kann insbesondere bei hochohmigen Fehlern und bei wiederzündenden Erdschlüssen der Fall sein.

[0036] Der Vorteil des neuen Verfahren liegt darin, dass eine Linearisierung um den Arbeitspunkt erfolgt und somit das Übersprechen des Laststromes weitestgehend sowohl für die Grundschwingung als auch für andere Frequenzen kompensiert wird.

[0037] Die anderen Störgrößen können durch eine geeignete Wahl des Bewertungsbereiches und durch nichtlineare Filter reduziert werden.

[0038] Das Verfahren wird an Hand der Aufzeichnungen der Nullspannung und der Nullströme in vier Abgängen eines Industrienetzes, wie in Bild 4 dargestellt, erläutert werden.

[0039] Aus dem Bild 4 ist zu erkennen, dass sehr große Nullströme bestehend aus Grundschwingung und Oberschwingungen bereits vor dem Fehlereintritt existieren und dass der Nullstrom im Abgang 1 nach dem Fehlereintritt sogar kleiner wird.

[0040] Im Bild 5 ist die zugehörige qu-Auswertung nach dem Verfahren der Offenlegungsschrift DE 103 02 451 dargestellt. Eine aussagekräftige und richtige Ausgleichsgerade kann nicht mehr ermittelt werden. Es kommt durch das mehrfrequente Übersprechen des Laststromes zu falsche Ergebnisse der Richtungserkennung.

[0041] Das einfachste Verfahren verwendet, wie in Bild 5 für den ersten Abgang dargestellt, den Vektor i_1 der erste Periode des aufgezeichneten Stromes und erzeugt daraus einen neuen Vektor i_2 , durch mehrmaliges aneinanderreihen dieser Periode i_1 . Bei der nachfolgenden Subtraktion der beiden Vektoren $i_{e1diff} = i_{e1} - i_2$ wird in der ersten Periode der Strom vollständig ausgelöscht. Unter der Annahme, dass der Laststrom sich während des Beobachtungszeitraumes nicht verändert, wird der Strom auch in den folgenden Perioden inklusive dem Oberschwingungsanteil kompensiert. Übrig bleibt der Aufladestrom der beiden gesunden Leiter. Der wesentliche Vorteil dieser Variante ist, dass automatisch auch für die Oberschwingungen und Zwischenharmonischen eine Linearisierung um den Arbeitspunkt erfolgt. Durch die Länge des Vektors i_1 wird der Anteil der kompensierten Frequenzanteile bestimmt.

[0042] Eine weitere Verbesserung kann erreicht werden, indem kleine Ströme, abhängig von den zu erwartenden maximalen Strömen im Beobachtungszeitraum durch ein nichtlineares adaptives Filter, vollkommen unterdrückt werden. Dies ist im Bild 7 für den Abgang 1 dargestellt. Dies eliminiert in diesem Beispiel auch kleinere Änderungen des Laststromes während des Beobachtungszeitraumes.

[0043] Bei einem Doppelerdschluss wird der Nullstrom wesentlich größer als die sonst üblichen Nullströme während eines einpoligen Erdschlusses. Dadurch gehen die Stromwandler meist in Sättigung und die Ermittlung der Nullströme z.B. mit Hilfe der Holmgreenschaltung erfolgt daher nicht mehr richtig. Aus diesem Grund muss der Zeitbereich für die Ermittlung des Stromes für die Erkennung der Erdschlussrichtung nach dem qu-Verfahren auf den Bereich bis zur ersten Sättigung des Messkreises beschränkt werden.

[0044] Bei hochohmigen Erdschlüssen ist es wichtig zu erkennen, ob der Zündzeitpunkt vor dem Beginn der Aufzeichnung liegt. Hierzu wird überprüft, ob das Signal des Vektors u_1 der ersten Periode, in diesem Bereich konstant ist. Dies wäre zutreffend, wenn der Zündzeitpunkt erst nach dem Vektor u_1 , erfolgt. Wird dies nicht beachtet, so erfolgt bei einem hochohmigen Erdschluss mit einer Zündung vor oder im Bereich der ersten Periode eine falsche Bewertung der Erdschlussrichtung.

[0045] Im Bild 8 sind die Nullspannung und die Nullströme der vier Abgänge nach der Linearisierung und nach der adaptiven Null-Unterdrückung dargestellt. Der Aufladevorgang in den Abgängen ist nun wesentlich gleichmäßiger.

[0046] Im Bild 9 ist die Auswertung nach den üblichen Verfahren auf Basis der um den Arbeitspunkt linearisierten und adaptiv nichtlinear gefilterten Signale dargestellt und liefert nun korrekte Ergebnisse.

[0047] Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zur Erkennung der Richtung aus der Aufladeschwingung des einmalig zündenden, des wiederzündenden und des intermittierenden Erdschlusses für Fehlerwiderstände von 0 Ohm bis in den Bereich von einigen kOhm in strahlen- und ringförmigen Netzen gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- (a) Kontinuierliches Abtasten und Speichern der Nullspannung u_0 im Vektor U_0 sowie des Nullstromes i_{0X} im Vektor I_0
- (b) Feststellung eines Erdschlusses bei Überschreitung des Betrags der Nullspannung u_0 eines eingestellten Grenzwertes u_{ERD} zum Zeitpunkt t_1
- (c) Mit der Bewertung des Erdschlusses wird mindestens bis zum ersten Maximum von $|u_0|$ gewartet.
- (d) Überprüfung des Erdschluss-Typs. Hierzu werden die folgenden Schritte verwendet:
 - a. Erzeugung eines neuen Vektors U_{01} , indem aus dem Vektor U_0 ein Teil gespeichert wird. Vorzugsweise hat dieser Teil für die Kompensation der Grundschiwingung und aller zugehörigen Oberschwingungen die Länge einer Periode. In einem 50 Hz Netz ist hingegen für eine Kompensation der 5. Oberschwingung von einem benachbarten einstuenden 16.7 Hz eine Länge von 3 Perioden zu verwenden.
 - b. Ermittlung der Hüllkurve von U_{01} mit bekannten Verfahren der Mathematik wie z.B. Hilberttransformation.
 - c. Bewertung der Hüllkurve:
 - i. Ansteigend: hochohmiger Erdschluss bereits vor der Aufzeichnung. Die Richtungsbewertung wird abgebrochen, da der Zündzeitpunkt nicht aufgezeichnet wurde.
 - ii. Konstant innerhalb eines definierten Toleranzbereiches: Der letzte Erdschluss war lange vor dem aktuellen Erdschluss. Es wird mit dem vereinfachten Verfahren nach (e) fortgesetzt.
 - iii. Abfallend: Wiederzündender Fehler. Der letzte Erdschluss wirkt sich noch auf die Kurvenform von u_0 und i_{0X} aus. Zu beachten ist, dass u_0 den Schwellwert u_{ERD} unterschritten hatte, denn sonst wäre keine neue Aufzeichnung gestartet worden. Es wird mit dem Punkt (f) fortgesetzt.
- (e) Zündung des Erdschlusses liegt innerhalb des Aufzeichnungszeitraumes
 - a. Der Vektor U_{02} wird erzeugt, indem der Vektor U_{01} mehrmals an den ursprünglichen Vektor U_{01} angehängt wird.
 - b. Es wird ein Vektor $U_{02_diff} = U_0 - U_{02}$ berechnet
 - c. Erzeugung eines neuen Vektors I_{01} , indem aus dem Vektor I_0 ein Teil gespeichert wird. Die Länge von I_{01} muss mit der Länge von U_{01} identisch sein.
 - d. Der Vektor I_{02} wird erzeugt, indem der Vektor I_{01} mehrmals an den ursprünglichen Vektor I_{01} angehängt wird.
 - e. Es wird ein Vektor $I_{02_diff} = I_0 - I_{02}$ ermittelt, der nun den linearisierten Aufladestrom der beiden erdschlussfreien Leiter beschreibt.
 - f. Es wird mit dem Punkt (g) fortgesetzt.
- (f) Es liegt ein wiederzündender bzw. intermittierender Erdschluss vor und es müssen die folgenden Schritte durchgeführt werden:
 - a. Ermittlung der Hüllkurve U_{01} und I_{01} aus den Samples der Vektoren U_0 und I_0 mit bekannten Verfahren der Mathematik wie z.B. Hilberttransformation, STDF (Short Time Discrete Fourier Transformation), Least-Square usw.

- b. Ermittlung der ersten Amplitude und des Dämpfungsfaktors aus dem Kurvenverlauf der abklingenden Hüllkurve mit bekannten Verfahren der Mathematik.
- c. Rekonstruktion der Vektoren $lo2$ und $Uo2$ vom Aufzeichnungsbeginn bis zum Zeitpunkt t_1 mit Hilfe der im vorherigen Schritt ermittelten Parameter und dem bekannten Verfahren zur Berechnung von Abtastwerten aus einer abklingenden Funktion.
- d. Ermittlung der linearisierten Vektoren nach den folgenden Rechenvorschriften
 $Uo2_diff = Uo - Uo2$ und
 $lo2_diff = lo - lo2$
- (g) Eine weitere adaptive Unterdrückung von Nichtlinearitäten des gemessenen Zündstrom für die Bewertung indem:
 - a. Der Vektor $lo2_diff$ wird überprüft, ob ein parametrierbarer Sättigungswert des Stromes überschritten wird. Ist dies der Fall, so wird der Vektor $lo2_diff$ bis zum ersten Auftreten des Sättigungswertes verkürzt. Die gleiche Verkürzung erfolgt für den Vektor $Uo2$.
 - b. Danach wird der Betrag des maximalen Stromes $lo2_max$ im Vektor $lo2_diff$ ermittelt.
 - c. Daraus wird mit Hilfe eines parametrierbaren Faktors k der Grenzwert $lo2_grenz = k * lo2_max$ ermittelt
 - d. Alle Werte im Vektor $lo2$ werden bis zum erstmaligen Überschreiten von $lo2_grenz$ zum Zeitpunkt t_0 auf den Wert 0 gesetzt.
- (h) Bewertung von $lo2_diff$ und $Uo2_diff$ im Bereiches von t_0 bis t_1 nach bekannten Verfahren aus DE 103 02 451

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung der Richtung eines Erdschlusses aus der Aufladeschwingung des einmalig zündenden, des wiederzündenden und des intermittierenden Erdschlusses für Fehlerwiderstände von 0 Ohm bis in den Bereich von einigen kOhm in strahlen-, ringförmigen oder vermaschten Wechsel- und Drehstromnetzen mit isoliertem Sternpunkt oder mit nieder- bzw. hochohmig geerdetem Sternpunkt **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:
 - a. Kontinuierliches Abtasten und Speichern der Nullspannung u_0 im Vektor U_0 sowie des Nullstromes i_{0X} im Vektor I_0
 - b. Feststellung eines Erdschlusses bei Überschreitung des Betrags der Nullspannung u_0 eines eingestellten Grenzwertes u_{ERD} zum Zeitpunkt t_1
 - c. Mit der Bewertung des Erdschlusses wird mindestens bis zum ersten Maximum von $|u_0|$ gewartet.
 - d. Überprüfung des Erdschluss-Typs. Hierzu werden die folgenden Schritte verwendet:
 - a. Erzeugung eines neuen Vektors U_{01} , indem aus dem Vektor U_0 ein Teil gespeichert wird. Vorzugsweise hat dieser Teil für die Kompensation der Grundschwingung und aller zugehörigen Oberschwingungen die Länge einer Periode. In einem 50 Hz Netz ist hingegen für eine Kompensation der 5. Oberschwingung von einem benachbarten einstreuenden 16.7 Hz eine Länge von 3 Perioden zu verwenden.
 - b. Ermittlung der Hüllkurve von U_{01} mit bekannten Verfahren der Mathematik wie z.B. Hilberttransformation.
 - c. Bewertung der Hüllkurve:
 - i. Ansteigend: hochohmiger Erdschluss bereits vor der Aufzeichnung.
 1. Die Richtungsbewertung wird abgebrochen, da der Zündzeitpunkt nicht aufgezeichnet wurde.
 - ii. Konstant innerhalb eines definierten Toleranzbereiches: Der letzte Erdschluss war lange vor dem aktuellen Erdschluss
Es wird mit dem vereinfachten Verfahren nach (e) fortgesetzt.
 - iii. Abfallend: Wiederzündender Fehler. Der letzte Erdschluss wirkt sich noch auf die Kurvenform von u_0 und i_{0X} aus. Zu beachten ist, dass u_0 den Schwellwert u_{ERD} unterschritten hatte, denn sonst wäre keine neue Aufzeichnung gestartet worden. Es wird mit dem Punkt (f) fortgesetzt.
 - e. Zündung des Erdschlusses liegt innerhalb des Aufzeichnungszeitraumes
 - a. Der Vektor U_{02} wird erzeugt, indem der Vektor U_{01} mehrmals an den ursprünglichen Vektor U_{01} angehängt wird.
 - b. Es wird ein Vektor $U_{02_diff} = U_0 - U_{02}$ berechnet
 - c. Erzeugung eines neuen Vektors I_{01} , indem aus dem Vektor I_0 ein Teil gespeichert wird. Die Länge von I_{01} muss mit der Länge von U_{01} identisch sein.
 - d. Der Vektor I_{02} wird erzeugt, indem der Vektor I_{01} mehrmals an den ursprünglichen Vektor I_{01} angehängt wird.
 - e. Es wird ein Vektor $I_{02_diff} = I_0 - I_{02}$ ermittelt, der nun den linearisierten Aufladestrom der beiden erdschlussfreien Leiter beschreibt.

- f. Es wird mit dem Punkt (g) fortgesetzt.
- f. Es liegt ein wiederzündender bzw. intermittierender Erdschluss vor und es müssen die folgenden Schritte durchgeführt werden:
 - a. Ermittlung der Hüllkurve U_{o1} und I_{o1} aus den Samples der Vektoren U_o und I_o mit bekannten Verfahren der Mathematik wie z.B. Hilberttransformation, STDFT (Short Time Discrete Fourier Transformation), Least-Square usw.
 - b. Ermittlung der ersten Amplitude und des Dämpfungsfaktors aus dem Kurvenverlauf der abklingenden Hüllkurve mit bekannten Verfahren der Mathematik.
 - c. Rekonstruktion der Vektoren I_{o2} und U_{o2} vom Aufzeichnungsbeginn bis zum Zeitpunkt t_1 mit Hilfe der im vorherigen Schritt ermittelten Parameter und dem bekannten Verfahren zur Berechnung von Abtastwerten aus einer abklingenden Funktion.
 - d. Ermittlung der linearisierten Vektoren nach den folgenden Rechenvorschriften
 - i. $U_{o2_diff} = U_o - U_{o2}$ und
 - ii. $I_{o2_diff} = I_o - I_{o2}$
 - g. Eine weitere adaptive Unterdrückung von Nichtlinearitäten des gemessenen Zündstrom für die Bewertung indem:
 - h. Der Vektor I_{o2_diff} wird überprüft, ob ein parametrierbarer Sättigungswert des Stromes überschritten wird. Ist dies der Fall, so wird der Vektor I_{o2_diff} bis zum ersten Auftreten des Sättigungswertes verkürzt. Die gleiche Verkürzung erfolgt für den Vektor U_{o2} .
 - i. Danach wird der Betrag des maximalen Stromes I_{o2_max} im Vektor I_{o2_diff} ermittelt.
 - j. Daraus wird mit Hilfe eines parametrierbaren Faktors k der Grenzwert $I_{o2_grenz} = k * I_{o2_max}$ ermittelt
 - k. Alle Werte im Vektor I_{o2} werden bis zum erstmaligen Überschreiten von I_{o2_grenz} zum Zeitpunkt t_0 auf den Wert 0 gesetzt.
 - l. Bewertung von I_{o2_diff} und U_{o2_diff} im Bereiches von t_0 bis t_1 nach bekannten Verfahren aus DE 103 02 451
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Erdschlussschwelle U_{Erd} ein Schwellwert vorgegeben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Erkennung von wiederzündenden Erdschlüssen die notwendige Änderung der Spannung ΔU_o der Hüllkurve von U_{o1} als Schwellwert vorgegeben wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erkannte wiederzündende oder intermittierende Erdschluss die Anzeige von anderen Erdschlusssortungsverfahren unterdrückt.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass für Abtastsysteme Tiefpassfilter als Antialiasingfilter zur Messung von U_o und I_{oX} vorgeschaltet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Faktor k zur Ermittlung des Grenzwertes für das adaptive nichtlineare Filter vorgegeben wird.

Hierzu 9 Blatt Zeichnungen

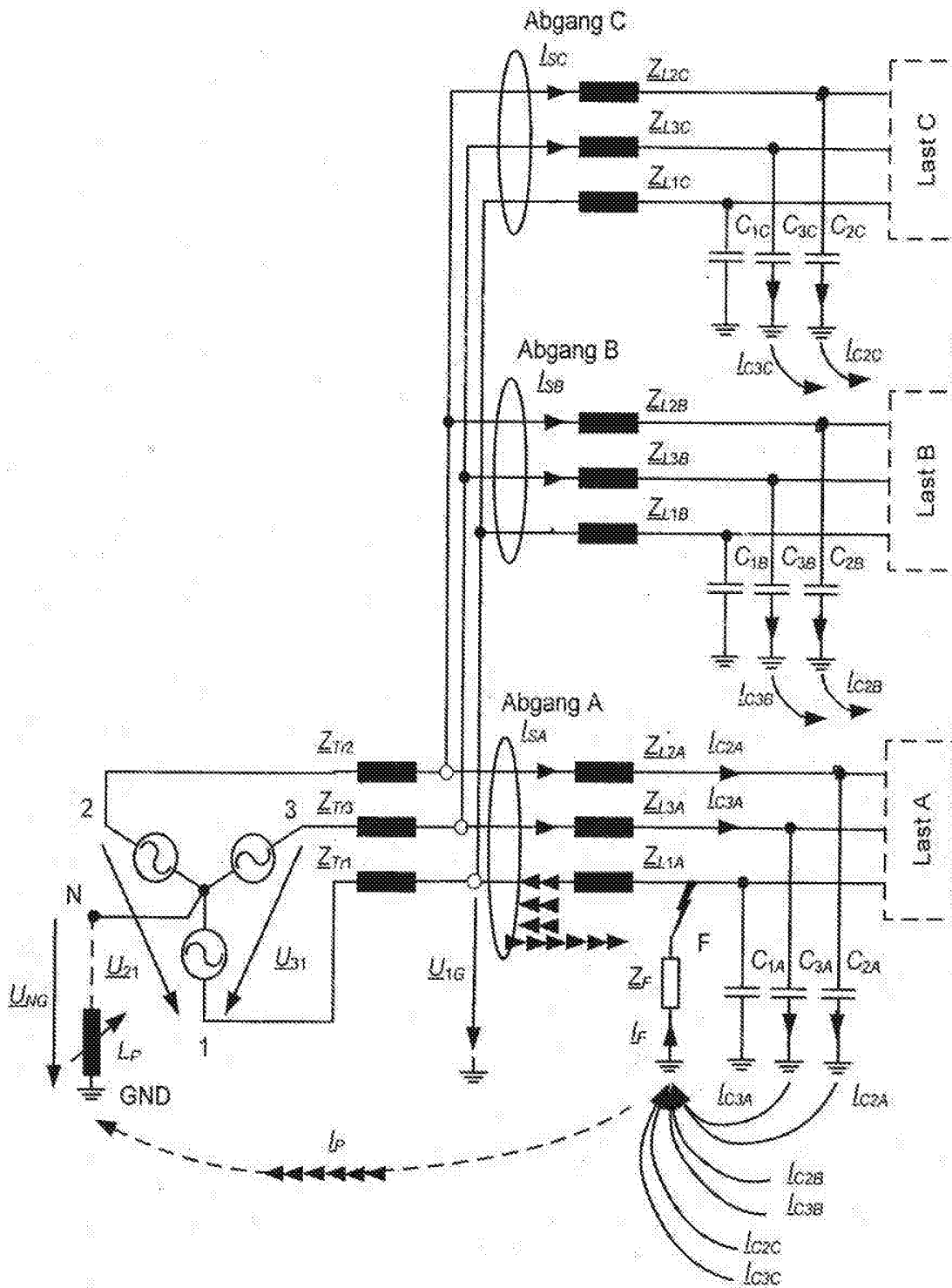


Bild 1

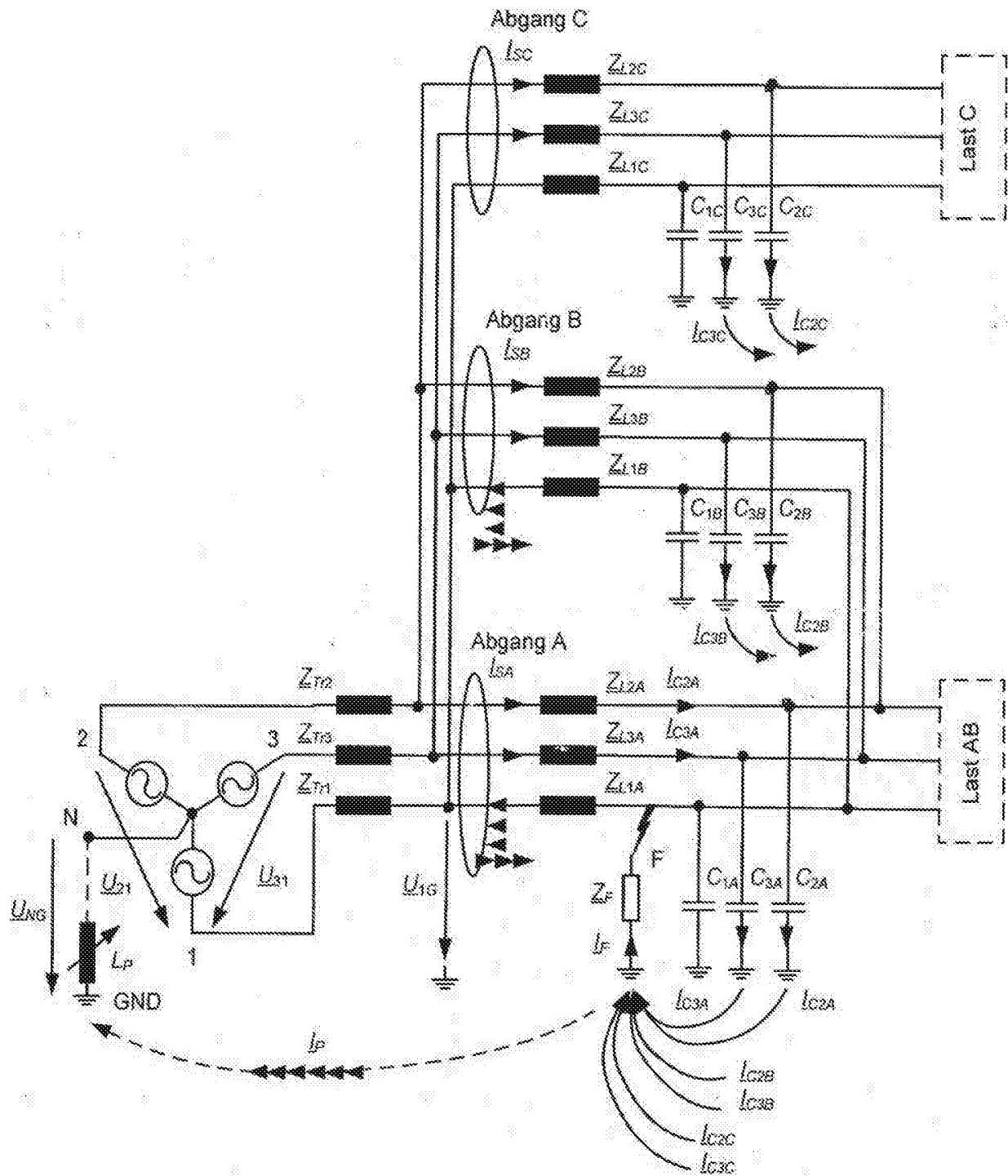


Bild 2

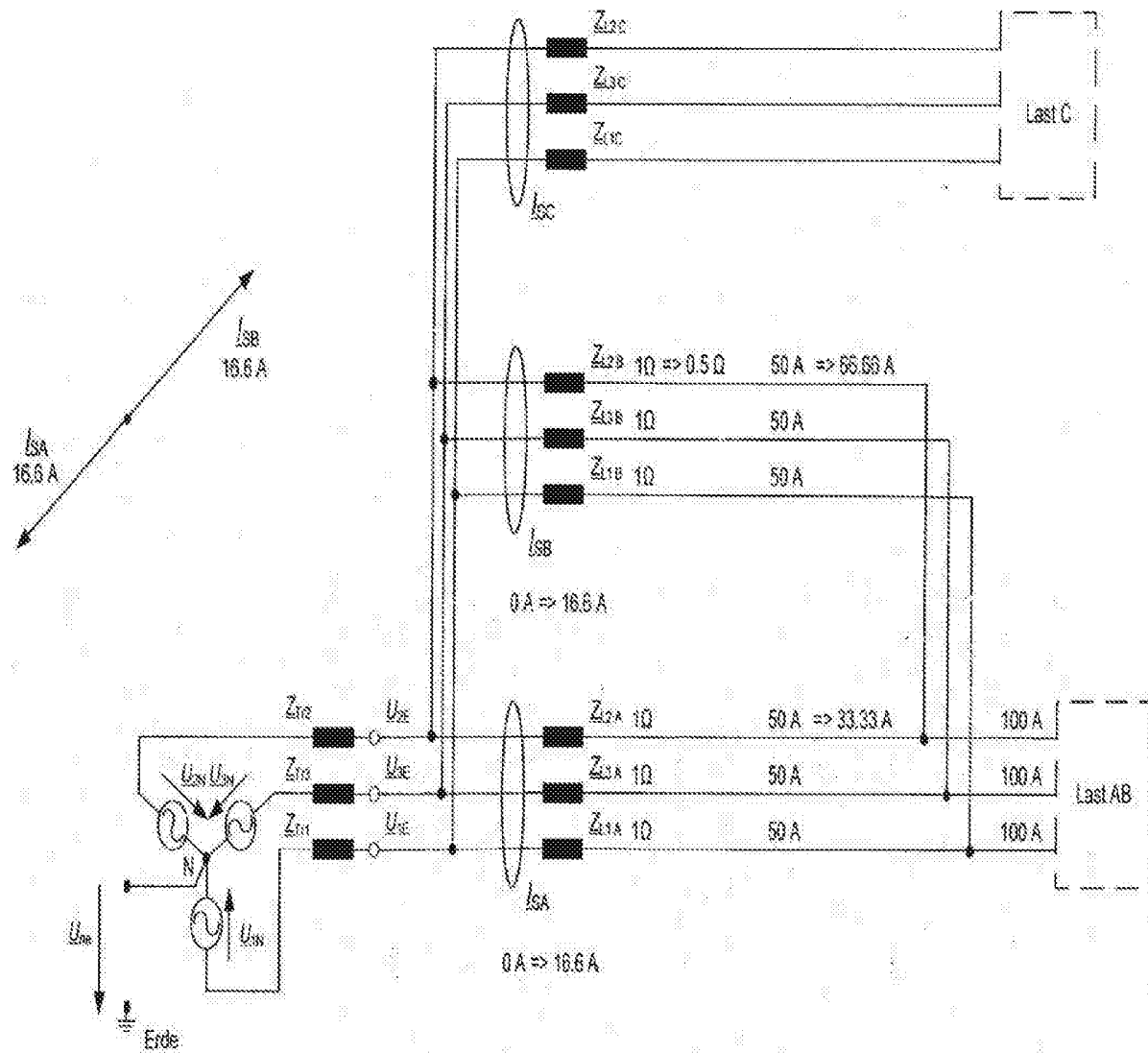


Bild 3

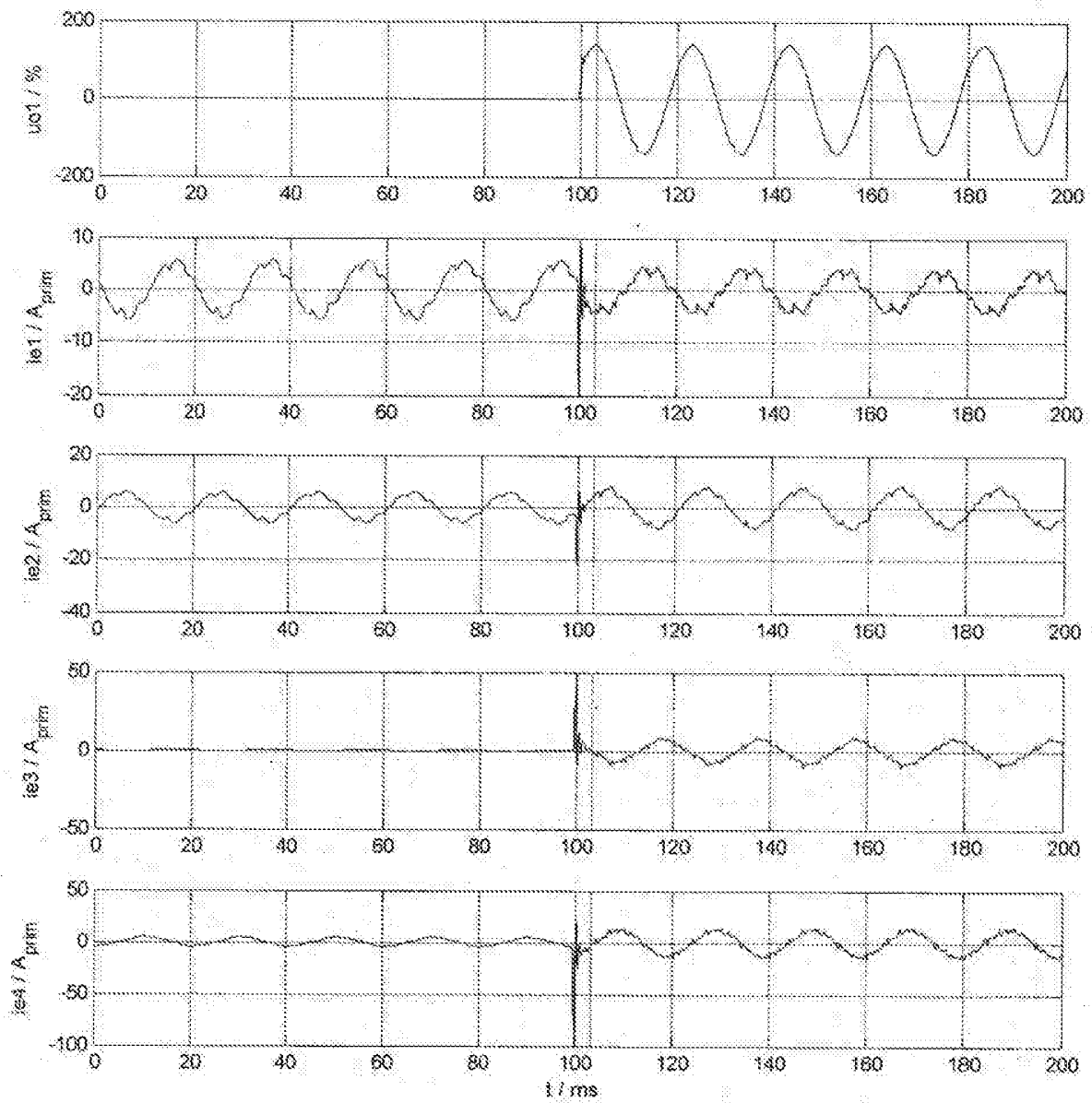


Bild 4

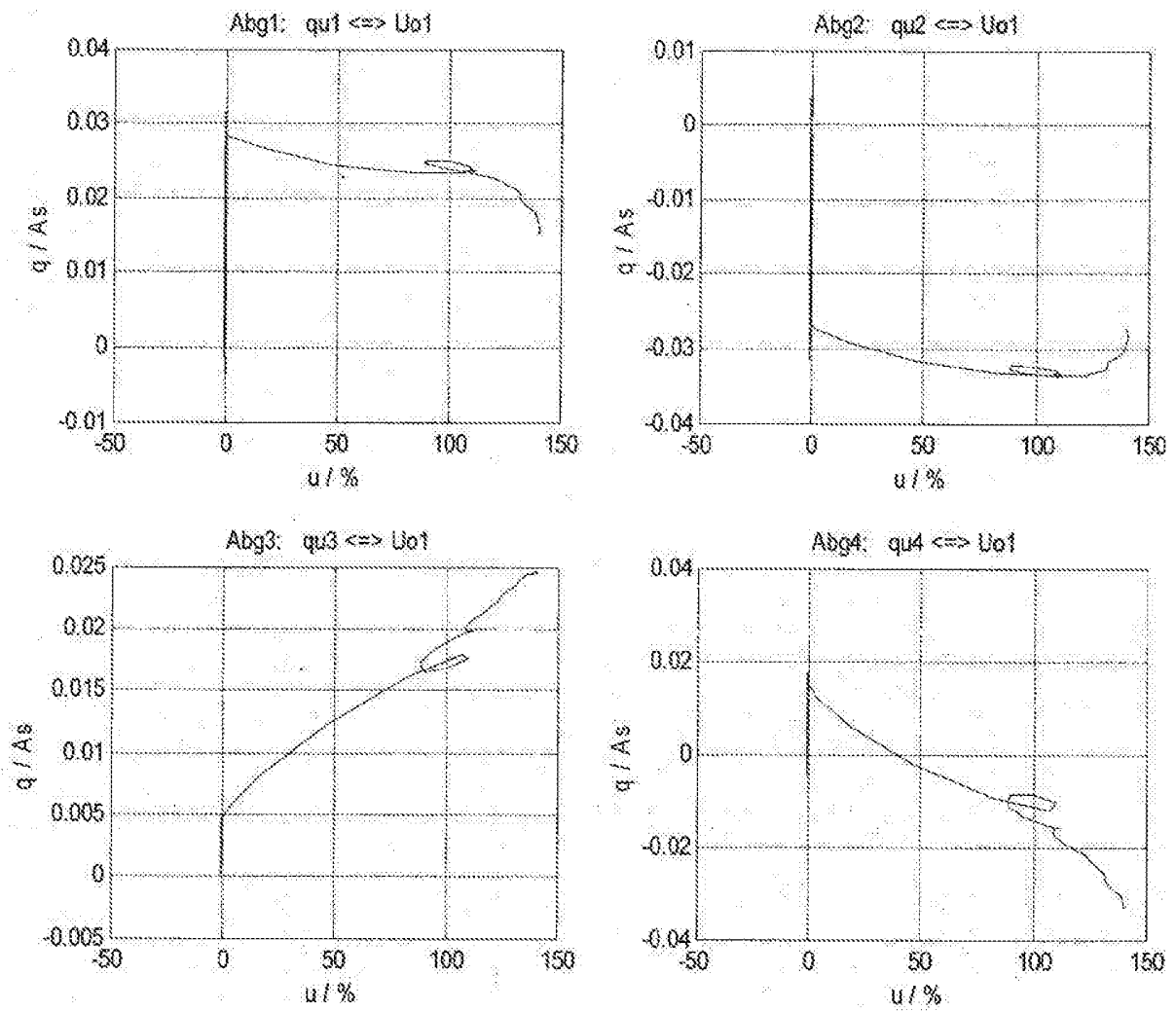


Bild 5

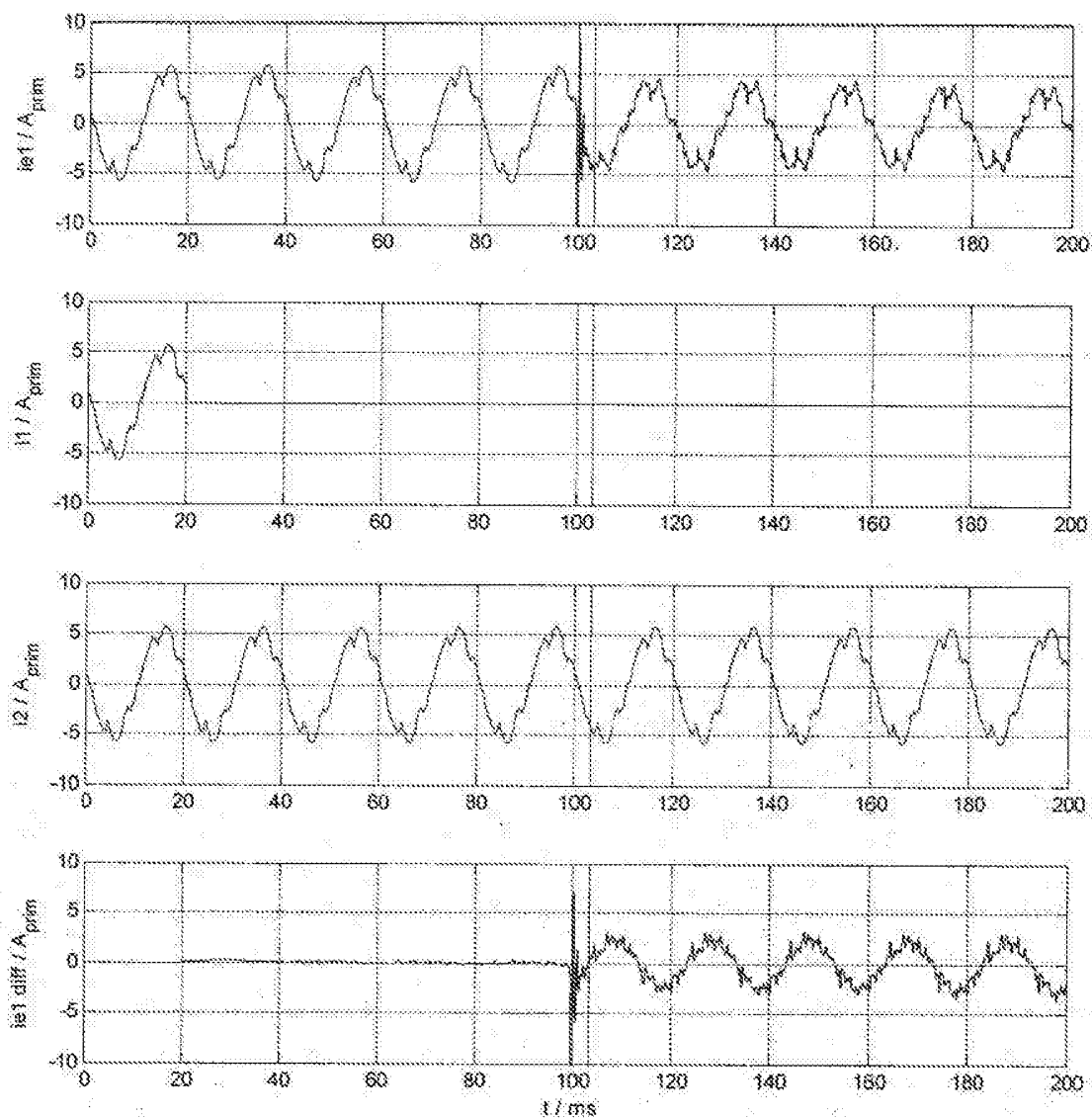


Bild 6

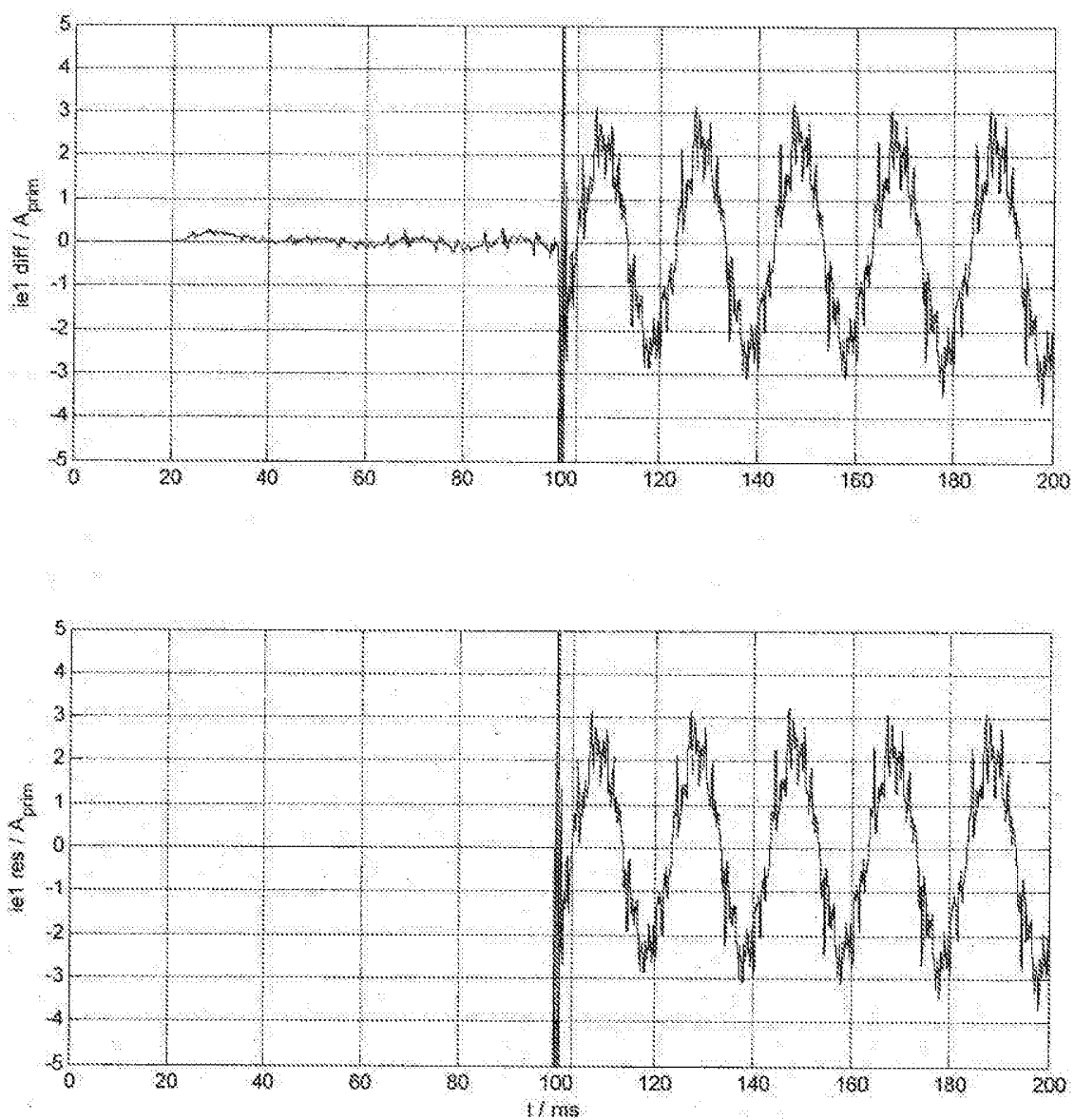


Bild 7

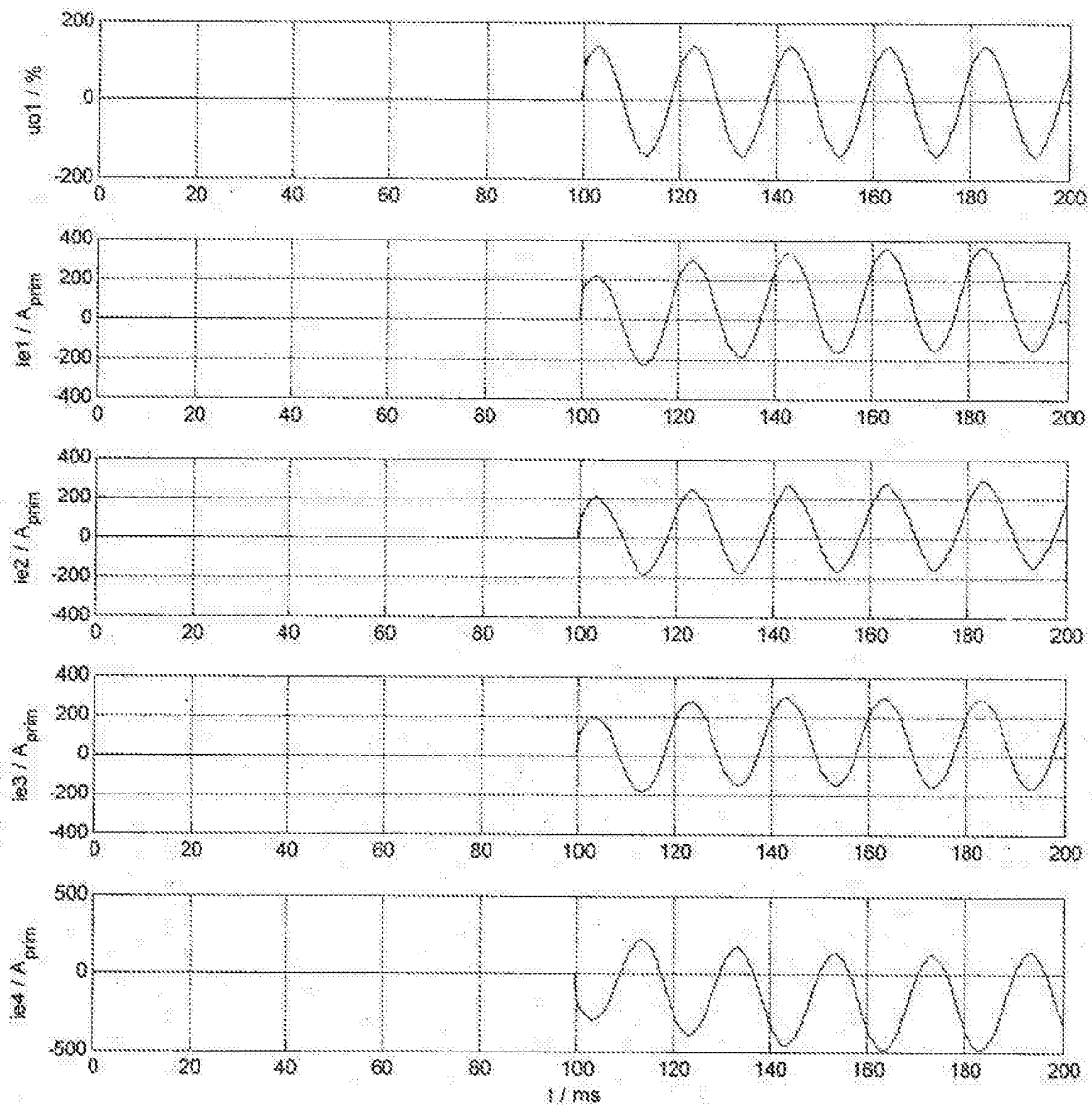


Bild 8

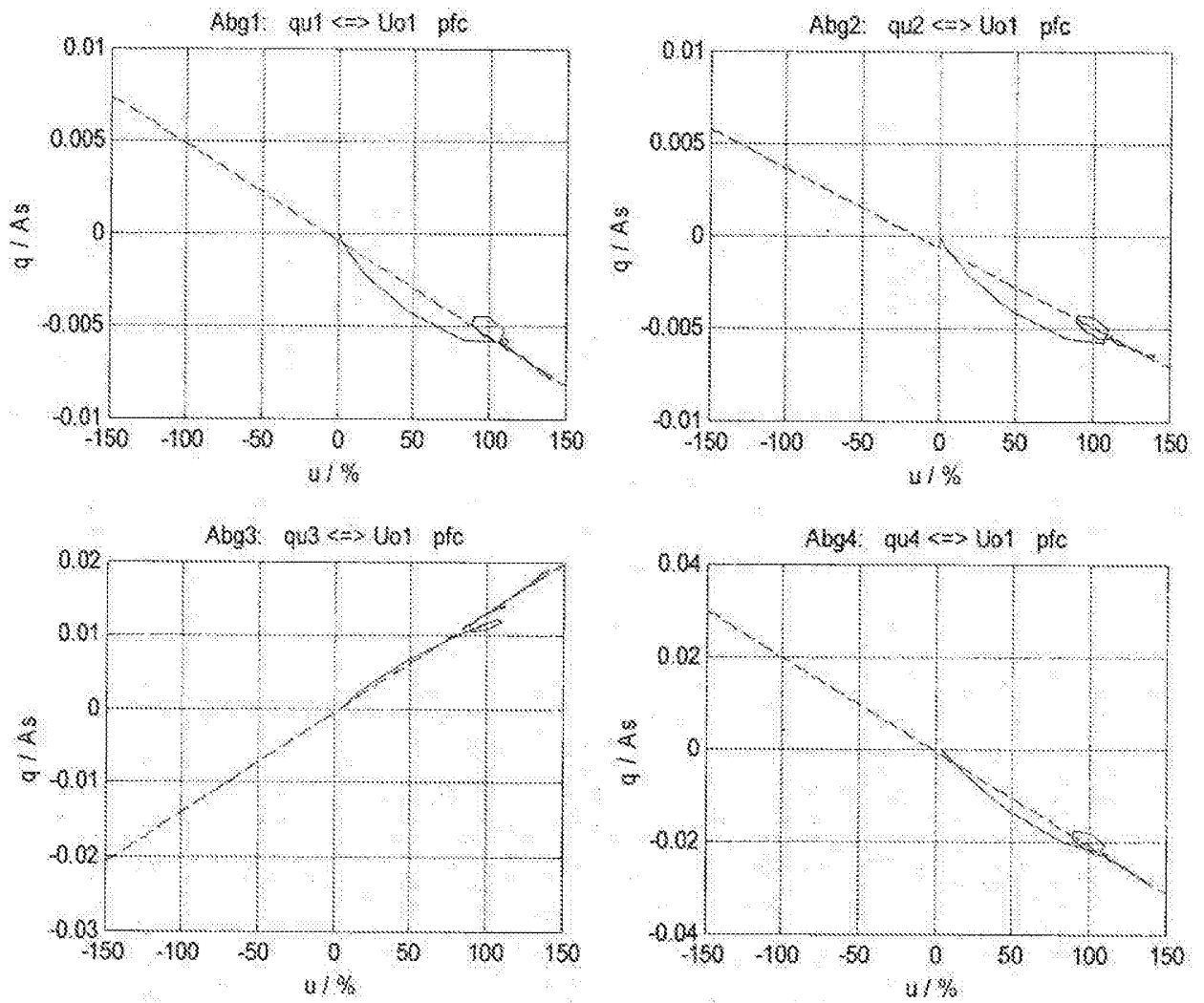


Bild 9