

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 776/2010
(22) Anmeldetag: 07.05.2010
(45) Veröffentlicht am: 15.09.2011

(51) Int. Cl. : **G01R 27/20** (2006.01)
G01R 27/08 (2006.01)
G01R 27/02 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2007/0273391A1
EP 0375375A1 WO 1988/001390A
JP 57-207870A

(73) Patentinhaber:
TEST-FUCHS GMBH
A-3812 GROSS-SIEGHARTS (AT)
(72) Erfinder:
STROHMER ANDREAS ING.
ALT NAGELBERG (AT)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG DES WIDERSTANDS AN DER ÜBERGANGSSTELLE ZWEIER LEITER**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des Widerstandes ($Z_{\bar{u}}$) an der Übergangsstelle ($\bar{U}$) zweier Leiter (A, B) einer Struktur (X) mehrfach verbundener Leiter mit einer Wechselstromquelle (13) zur Einprägung eines Wechselstromes (i_{in}) und Einrichtungen zur Messung des resultierenden Wechselstromes ($i_{\bar{u}}$) und der resultierenden Wechselspannung ($u_{\bar{u}}$) an der Übergangsstelle ($\bar{U}$) und zur Ermittlung des Widerstandes ($Z_{\bar{u}}$) an der Übergangsstelle ($\bar{U}$). Zur Erzielung eines möglichst rasch und genau durchführbaren Verfahrens sind zwei Einrichtungen zur Messung des resultierenden Wechselstromes (i_v , i_n) vor und nach der Übergangsstelle ($\bar{U}$) des ersten Leiters (A) und zwei Einrichtungen zur Messung der resultierenden Wechselspannungen (u_v , u_n) vor der Übergangsstelle ($\bar{U}$) am ersten Leiter (A) und nach der Übergangsstelle ($\bar{U}$) am zweiten Leiter (B) vorgesehen, und ist die Einrichtung zur Ermittlung des Widerstandes ($Z_{\bar{u}}$) an der Übergangsstelle ($\bar{U}$) zur Bildung der Division der Differenz (Δu) der gemessenen Wechselspannungen (u_v , u_n) und der Differenz (Δi) der gemessenen Wechselströme (i_v , i_n) ausgebildet.

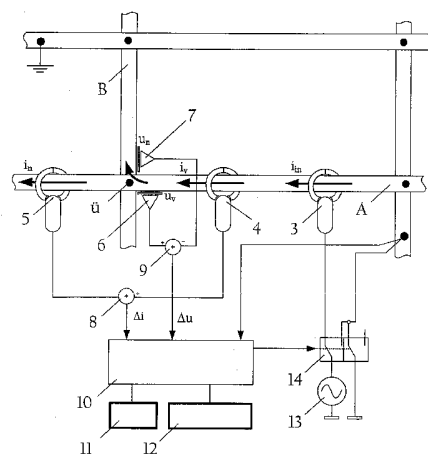


FIG. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des Widerstandes an der Übergangsstelle zweier Leiter einer Struktur mehrfach verbundener Leiter, wobei im ersten Leiter ein Wechselstrom eingepreßt und der resultierende Wechselstrom und die resultierende Wechselspannung an der Übergangsstelle gemessen und der Widerstand durch Division der resultierenden Wechselspannung und des resultierenden Wechselstromes an der Übergangsstelle ermittelt wird.

[0002] Die Erfindung ist insbesondere auf die Messung der Widerstände an den Übergangsstellen von Leitern einer Flugzeugstruktur gerichtet, aber auch bei der Messung der Übergangswiderstände anderer leitfähiger Strukturen, anwendbar.

[0003] Moderne Verkehrsflugzeuge haben eine elektrisch leitfähige Struktur bestehend aus Blechen, Spanten, Trägern und Schienen, welche allesamt leitfähig miteinander verbunden sind. Diese das gesamte Flugzeug durchziehende Struktur stellt in erster Linie die mechanische Stabilität des Flugzeugs sicher. Neben dieser Aufgabe erfüllt die leitfähige Struktur jedoch auch elektrische Aufgaben und dient als Masse-Rückleiter, Blitzableiter, Ableiter für Elektrostatik, zur Abschirmung von elektromagnetischer Strahlung usw.. Um diese elektrischen Aufgaben sicher erfüllen zu können, ist eine durchgehende elektrische Leitfähigkeit der gesamten Struktur zwingend erforderlich. Zu diesem Zweck werden vor der Auslieferung des Flugzeugs und allenfalls auch bei der Wartung sämtliche Übergänge aller Leiter der Struktur vermessen und deren Übergangswiderstände bestimmt. Überschreitet der Übergangswiderstand einen vorgegebenen Grenzwert, muss die Verbindung kontrolliert und gegebenenfalls repariert werden.

[0004] Der geplante Airbus A350 weist beispielsweise ca. 7000 derartige Übergangsstellen in der leitfähigen Struktur auf. Dementsprechend zeitaufwändig ist ein Messzyklus.

[0005] Bei kontaktbehafteten Messungen ist es zusätzlich erforderlich die allenfalls vorhandene Lackschicht auf den Leitern der elektrisch leitfähigen Struktur vor der Messung zu entfernen und nach der Messung wiederherzustellen. Dadurch wird die ohnedies schon sehr lange Messzeit noch weiter erhöht.

[0006] Bei kontaktlosen Messungen ist es zwar nicht erforderlich die allenfalls vorhandene Lackschicht vor der Messung zu entfernen und danach wieder auszubessern, allerdings stellen die üblicherweise sehr niedrigen Übergangswiderstände im Bereich von Bruchteilen von Milli-ohm ($m\Omega$) eine besondere Herausforderung an die Messung dar. Durch übliche Messverfahren können die zumindest in der Flugzeugindustrie geforderten Genauigkeiten von beispielsweise 5 % üblicherweise nicht eingehalten werden.

[0007] Beispielsweise beschreibt die US 2007/0273391 A1 ein Verfahren zur Messung eines Schleifenwiderstandes, wobei die gesamte Impedanz einer Widerstandsschleife kontaktlos gemessen wird. Da bei komplexeren elektrisch leitfähigen Strukturen, wie sie beispielsweise in Flugzeugen vorgesehen sind, nicht gewährleistet werden kann, dass der gesamte Messstrom durch eine einzelne Schleife fließt, ist eine derartige Messung des Schleifenwiderstandes für die Messung der Übergangswiderstände zwischen sämtlichen Leitern der Struktur nicht zielführend.

[0008] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher in der Schaffung eines oben genannten Verfahrens und einer oben genannten Vorrichtung zur Messung des Widerstandes an der Übergangsstelle zweier Leiter einer Struktur mehrfach verbundener Leiter, welche eine rasche, einfache und zerstörungsfreie Messung bei möglichst hoher Genauigkeit zulässt. Nachteile bekannter Verfahren bzw. Vorrichtungen sollen vermieden oder zumindest reduziert werden.

[0009] Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe in verfahrensmäßiger Hinsicht dadurch, dass der resultierende Wechselstrom an der Übergangsstelle durch Bildung der Differenz der vor und nach der Übergangsstelle des ersten Leiters gemessenen Wechselströme ermittelt wird und die resultierende Wechselspannung an der Übergangsstelle durch Bildung der Differenz der vor der Übergangsstelle am ersten Leiter gemessenen Wechselspannung und der nach der

Übergangsstelle am zweiten Leiter gemessenen Wechselspannung ermittelt wird. Durch die Messung der Ströme vor und nach der Übergangsstelle kann der tatsächlich über die Übergangsstelle der beiden Leiter fließende Strom und die entsprechende Spannungsdifferenz mit hoher Genauigkeit ermittelt und daraus der Übergangswiderstand berechnet werden. Durch die Messung des Stromes nach der Übergangsstelle kann der sogenannte Falschstrom, welcher nicht über die Übergangsstelle zwischen den beiden Leitern fließt, ermittelt und dadurch ein genaueres Messergebnis erzielt werden.

[0010] Insbesondere wenn die Leiter der elektrisch leitfähigen Struktur, beispielsweise durch eine Lackschicht, isoliert sind, ist es von Vorteil, dass der Wechselstrom am ersten Leiter kontaktlos über eine mit einer Stromquelle verbundene Einspeisezange eingeprägt wird. Alternativ dazu kann auch an ohnedies abisolierten Stellen der Struktur eine Klemme angebracht werden und der Strom über diese Klemme kontaktbehaftet in die Leiterstruktur eingespeist werden.

[0011] Um eine zerstörungsfreie und rasche Messung bei isolierten Leitern zu ermöglichen, werden die resultierenden Wechselströme vor und nach der Übergangsstelle bevorzugterweise ebenfalls kontaktlos mittels zweier Strommesszangen gemessen.

[0012] Auch die resultierenden Wechselspannungen vor und nach der Übergangsstelle werden vorzugsweise kontaktlos mittels zweier kapazitiver Sensoren gemessen. Da somit vor bzw. nach der Messung keinerlei Arbeit an der Leiterstruktur, wie das Abkratzen bzw. wiederaufbringen der Lackschicht, vorgenommen werden muss, kann die Messung vergleichsweise rasch durchgeführt werden.

[0013] Noch genauere Messergebnisse können dadurch erzielt werden, dass eine Referenzspannung, vorzugsweise kontaktlos, über einen kapazitiven Sensor bei ausgeschaltetem eingeprägten Wechselstrom gemessen wird.

[0014] Durch diese Referenzspannung können bei der Messung auftretende Phasenverschiebungen und Amplitudenfehler ermittelt und entsprechend korrigiert werden. Durch diese Maßnahme können die hohen Genauigkeitsanforderungen, insbesondere im Flugzeugbau, erfüllt werden.

[0015] Um Messfehler zu vermeiden, welche durch inkorrekte Anwendung der kapazitiven Sensoren zur Messung der resultierenden Wechselspannungen auftreten können, ist es von Vorteil, wenn der Anpressdruck der kapazitiven Sensoren während der Messung der resultierenden Wechselspannungen vor und nach der Übergangsstelle und allenfalls der Messung der Referenzspannung im Wesentlichen konstant gehalten wird. Dies kann durch verschiedene mechanische Maßnahmen, wie z.B. den Einsatz von Klemmen, aber auch durch elektronische Maßnahmen, wie das Vorsehen von Drucksensoren, ermittelt und kontrolliert werden.

[0016] Zu Zwecken der Qualitätskontrolle und Dokumentation ist es von Vorteil, wenn die Messwerte gespeichert werden.

[0017] Für einige Anwendungen kann der komplexe Übergangswiderstand der Übergangsstelle als Ergebnis ausreichen, indem die errechnete Wechselspannungsdifferenz durch die errechnete Wechselstromdifferenz an der Übergangsstelle ohne Berücksichtigung der Phase dividiert wird. Von Vorteil ist es jedoch, wenn der ohmsche Widerstand durch Division der errechneten Wechselspannungsdifferenz und der Wechselstromdifferenz an der Übergangsstelle der beiden Leiter unter Berücksichtigung der Phasenverschiebung berechnet wird. Die Berechnung erfolgt vorzugsweise in einem Mikroprozessor unmittelbar während der Durchführung der Messung, sodass die Ergebnisse sofort angezeigt werden können.

[0018] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass der Betrag des ohmschen Widerstandes und der Phasenverschiebungswinkel berechnet und an einer Anzeige dargestellt werden. Alternativ zur Darstellung der Werte für den ohmschen Übergangswiderstand kann beispielsweise auch nur das Überschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes optisch und allenfalls auch akustisch angezeigt werden.

[0019] Aufgrund der besonders niedrigen Übergangswiderstände ist es von Vorteil, wenn der

eingeprägte Wechselstrom eine Amplitude von 5 A bis 50 A aufweist. Zur Erzielung einer optimalen kontaktlosen Messung bei gleichzeitig geringem Messaufwand ist es von Vorteil, wenn der eingeprägte Wechselstrom eine Frequenz zwischen 400 Hz und 10 kHz aufweist. Für die kapazitive Kopplung ist eine höhere Frequenz vorteilhaft, allerdings treten dann durch die bei diesen Frequenzen auftretenden Serieninduktivitäten der Leiter und die Phasengänge der Strommesszangen Probleme auf.

[0020] Gelöst wird die erfindungsgemäße Aufgabe auch durch eine oben genannte Vorrichtung zur Messung des Übergangswiderstandes, wobei zwei Einrichtungen zur Messung des resultierenden Wechselstromes vor und nach der Übergangsstelle des ersten Leiters und zwei Einrichtungen zur Messung der resultierenden Wechselspannungen vor der Übergangsstelle am ersten Leiter und nach der Übergangsstelle am zweiten Leiter vorgesehen sind und die Einrichtung zur Ermittlung des Widerstandes an der Übergangsstelle zur Bildung der Division der Differenz der gemessenen Wechselspannungen und der Differenz der gemessenen Wechselströme ausgebildet ist.

[0021] Zu den Vorteilen dieser Messvorrichtung und den Variationsmöglichkeiten wird auf die obige Beschreibung zum Verfahren verwiesen.

[0022] Die vorliegende Erfindung wird anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

[0023] Darin zeigen:

[0024] Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer elektrisch leitfähigen Struktur, wie sie beispielsweise in einem Verkehrsflugzeug vorgesehen ist;

[0025] Fig. 2 eine Prinzipskizze des erfindungsgemäßen Messverfahrens;

[0026] Fig. 3 ein Schema zur Erläuterung der Berechnung des komplexen Übergangswiderstandes;

[0027] Fig. 4 ein Blockschaltbild einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung; und

[0028] Fig. 5 ein Flussdiagramm zur Erläuterung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Messverfahrens.

[0029] Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht einer möglichen Leiterstruktur X, die beispielsweise in einem Verkehrsflugzeug vorgesehen ist. Dementsprechend sind auf parallel angeordneten metallischen Trägern 1 verschiedene Schienen 2 in Richtung der Längsausdehnung des Flugzeugs angeordnet und mit diesen, beispielsweise durch Nieten oder Schrauben verbunden. Schon allein bei dem dargestellten Ausschnitt einer solchen Struktur X, welche quer zum Flugzeugrumpf vorgesehene Spante nicht berücksichtigt, ist die Anzahl an Übergangsstellen $\ddot{U}$ relativ hoch. Dementsprechend hoch ist auch der Aufwand für die Messung der Widerstände sämtlicher Übergangsstellen $\ddot{U}$ der Struktur X.

[0030] Fig. 2 zeigt nun eine Prinzipskizze der erfindungsgemäßen Messvorrichtung bei der Messung des Übergangswiderstandes $Z_{\ddot{U}}$ an der Übergangsstelle $\ddot{U}$ zweier Leiter A, B einer Struktur X mehrfach verbundener elektrischer Leiter. Dabei wird ein Wechselstrom i_{in} vorzugsweise kontaktlos über eine Einspeisezange 3 in den Leiter A eingepreßt. Vor und nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ wird vorzugsweise ebenfalls kontaktlos mittels zweier Strommesszangen 4, 5 der resultierende Wechselstrom i_v vor und der resultierende Wechselstrom i_n nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ des ersten Leiters A gemessen. Darüber hinaus wird mit Hilfe von kapazitiven Sensoren 6, 7 die resultierende Wechselspannung u_v vor der Übergangsstelle $\ddot{U}$ am ersten Leiter A und die resultierende Wechselspannung u_n nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ am zweiten Leiter B ermittelt. Vorzugsweise über entsprechende Differenzverstärker 8, 9 und eine entsprechende Ermittlungseinrichtung 10 werden die Wechselstromdifferenzen $\Delta i = i_v - i_n$ und die Wechselspannungsdifferenzen $\Delta u = u_n - u_v$ an der Übergangsstelle $\ddot{U}$ und schließlich daraus der Übergangswiderstand $Z_{\ddot{U}}$ an der Übergangsstelle $\ddot{U}$ ermittelt. Die Messwerte sowie die Messergebnisse können in einem Speicher 11 gespeichert werden. Über eine Anzeige 12 wird das Ergebnis des Übergangswiderstandes $Z_{\ddot{U}}$ angezeigt. Die Wechselstromquelle 13 zur Erzeugung des

einzuprägenden Wechselstromes i_{in} ist vorzugsweise zur Erzeugung eines Wechselstromes i_{in} mit einer Amplitude zwischen 5 A und 50 A und mit einer Frequenz zwischen 400 Hz und 10 kHz ausgebildet. Über einen Umschalter 14 kann der eingeprägte Wechselstrom i_{in} abgeschaltet werden und eine Referenzspannung u_{ref} zur Ermittlung und Korrektur von Phasenverschiebungen und Amplitudenfehlern (Δu_v , Δu_n) herangezogen werden. Darauf wird weiter unten Bezug genommen.

[0031] Fig. 3 zeigt eine Prinzipskizze zur Berechnung der Messwerte, wobei die beiden Strommesszangen 4, 5 zur Messung des resultierenden Wechselstromes i_v und i_n vor bzw. nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ dargestellt sind. Weiters zeigt das Prinzipschaltbild die kapazitiven Sensoren 6, 7 zur Messung der resultierenden Wechselspannung u_v vor bzw. der resultierenden Wechselspannung u_n nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$. Die Ströme i_v , i_n werden über einen Multiplexer 15 zu einem phasenselektiven Gleichrichter 16 geleitet und die Real- und Imaginärteile des Messstromes (des Wechselstromes i_v vor der Übergangsstelle $\ddot{U}$) und des sogenannten Falschstromes (des Wechselstromes i_n nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$) ermittelt. Die beiden kapazitiven Sensoren 6, 7 zur Messung der resultierenden Wechselspannung u_v vor und der resultierenden Wechselspannung u_n nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ sind mit einem Differenzverstärker 9 und einem phasenselektiven Gleichrichter 17 zur Bildung des Real- und Imaginärteils der Spannungsdifferenz Δu verbunden.

[0032] Aus den erhaltenen Messwerten wird der Strom $i_{\ddot{U}}$ durch die Übergangsstelle $\ddot{U}$ wie folgt berechnet:

$$\text{Real}(i_{\ddot{U}}) = \text{Real}(i_v) - \text{Real}(i_n)$$

$$\text{Ima}(i_{\ddot{U}}) = \text{Ima}(i_v) - \text{Ima}(i_n)$$

[0033] Daraus folgt:

$$i_{\ddot{U}} = \sqrt{\text{Real}(i_{\ddot{U}})^2 + \text{Ima}(i_{\ddot{U}})^2}$$

[0034] Die Spannung $u_{\ddot{U}}$ an der Übergangsstelle $\ddot{U}$ wird folgendermaßen berechnet:

$$\text{Real}(u_{\ddot{U}}) = \text{Real}(\Delta u)$$

$$\text{Ima}(u_{\ddot{U}}) = \text{Ima}(\Delta u)$$

$$u_{\ddot{U}} = \sqrt{\text{Real}(u_{\ddot{U}})^2 + \text{Ima}(u_{\ddot{U}})^2}$$

[0035] Der Phasenverschiebungswinkel $\Phi_{\ddot{u}}$ des Übergangswiderstandes $Z_{\ddot{u}}$ wird folgendermaßen berechnet:

$$\Phi_u = \arctan(\text{Ima}(u_{\ddot{U}})/\text{Real}(u_{\ddot{U}}))$$

$$\Phi_i = \arctan(\text{Ima}(i_{\ddot{U}})/\text{Real}(i_{\ddot{U}}))$$

$$\rightarrow \Phi_{\ddot{u}} = \Phi_u - \Phi_i$$

[0036] Der Übergangswiderstand folgt aus:

$$Z_{\ddot{u}} = u_{\ddot{U}} / i_{\ddot{U}}$$

$$R_{\ddot{u}} = Z_{\ddot{u}} * \cos(\Phi_{\ddot{u}})$$

[0037] Fig. 4 zeigt ein Blockschaltbild einer möglichen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung, wobei neben der Einspeisezange 3 und den Strommesszangen 4, 5 und den kapazitiven Sensoren 6, 7 auch Messspitzen 18 bis 21 und Klemmen 22 (im Falle der Verwendung kapazitiver Sensoren 6, 7) dargestellt sind, welche eine kontaktbehaftete Messung, beispielsweise im Falle nicht-isolierter Leiter, ermöglichen. Der einzuspeisende Strom i_{in}

wird in einem Frequenzgenerator 23 mit einer bevorzugten Frequenz von 1 kHz bis 10 kHz erzeugt und über den Umschalter 14, einem Vorverstärker 24, einem Leistungsverstärker 25 und einem Transformator 26 zugeführt. Wie bereits oben erwähnt weist der eingeprägte Strom i_{in} vorzugsweise eine Amplitude zwischen 5 A und 50 A auf. Über einen Amplitudenregler 27 kann eine Regelung des Vorverstärkers 24 erfolgen. Die über die Strommesszangen 4, 5 ermittelten Wechselströme i_v und i_n vor und nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ werden Verstärkern 28, 29 und dem bereits erwähnten Multiplexer 15 zugeführt. Im phasenselektiven Gleichrichter 16 erfolgt die Bildung der Real- und Imaginärteile der vor und nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ ermittelten Wechselströme $\ddot{u}_v$ und $\ddot{u}_n$. Die über die kapazitiven Sensoren 6, 7 bzw. entsprechenden Messspitzen 20, 21 ermittelten Wechselspannungen u_v und u_n vor und nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ werden Phasenschiebern 30, 31 zugeführt und danach, in vorzugsweise justierbaren Verstärkern 32, 33 entsprechend verstärkt. Im Differenzverstärker 9 und dem phasenselektiven Gleichrichter 17 erfolgt die Differenzbildung der beiden Wechselspannungen und die Bildung des Real- und Imaginärteils, wie oben anhand Fig. 3 beschrieben. Die in den phasenselektiven Gleichrichtern 16, 17 ermittelten Messwerte werden in einem Analog-Digital-Konverter 34 digitalisiert und einem Mikroprozessor 35 zur Berechnung des Übergangswiderstandes $Z_{\ddot{U}}$ zugeführt. Mit dem Mikroprozessor 35 ist die Anzeige 12 zur Darstellung der Werte für den Übergangswiderstand $Z_{\ddot{U}}$ verbunden. Weiters kann eine Tastatur 36 und eine Schnittstelle 37, vorzugsweise eine USB-Schnittstelle, mit dem Mikroprozessor 35 verbunden sein. Die Messvorrichtung wird über eine Spannungsversorgung 38 mit den notwendigen Betriebsspannungen versorgt. Die Spannungsversorgung 38 ist vorzugsweise mit Akkumulatoren 39 verbunden. Eine entsprechende Ladevorrichtung 40 kann zur Aufladung der Akkumulatoren 39 mit elektrischer Spannung verbunden sein.

[0038] Zur Phasenkorrektur und zur Amplitudenkorrektur wird der Umschalter 14 betätigt und somit der eingeprägte Wechselstrom i_{in} abgeschaltet. Der Umschalter 14 ist über einen Phasenschieber 41 und einen Vorverstärker 42 mit der Klemme 22 gekoppelt. Mit Hilfe der Klemme 22 wird eine Referenzspannung u_{ref} gemessen und dem Verstärker 43 und Multiplexer 44 zugeführt.

[0039] Fig. 5 zeigt ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Messverfahrens beginnend mit Schritt 100, dem Einprägen des Wechselstromes i_{in} . Gemäß Schritt 101 erfolgt die Messung des Wechselstromes i_v und i_n vor und nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$. Bei der Abfrage 102 erfolgt ein Test auf vorgegebene untere bzw. obere Grenzwerte der gemessenen Wechselströme und allenfalls eine entsprechende Fehlermeldung (Schritt 103). Entsprechend Schritt 104 erfolgt die vorzugsweise kontaktlose Messung der Wechselspannungen u_v und u_n vor und nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ und eine Speicherung der Messergebnisse gemäß Schritt 105. Schritt 106 sieht das Ausschalten des eingepprägten Wechselstromes i_{in} durch das Umschalten des Umschalters 14 (siehe Fig. 2 und 4) vor. Aufgrund der entsprechenden Messung einer Referenzspannung u_{ref} erfolgt gemäß Schritt 107 eine Justage des Phasenschiebers 41 und Vorverstärkers 42, sodass der kapazitive Sensor 6 ein entsprechendes Signal liefert, wie gemäß Schritt 105 gespeichert. Entsprechend Schritt 108 wird die Referenzspannung u_{ref} über die Klemme 22 gemessen und entsprechend Schritt 109 gespeichert. Gemäß Abfrage 110 werden die ermittelten Spannungswerte auf untere und obere Grenzwerte untersucht und allenfalls gemäß Schritt 111 eine Fehlermeldung ausgegeben. Entsprechend Schritt 112 erfolgt eine Justage des Phasenschiebers 30 und Verstärkers 32 in der Weise, dass der kapazitive Sensor 6 ein entsprechend Schritt 109 gespeichertes Signal liefert. Gemäß Schritt 113 erfolgt dieselbe Justage des Phasenschiebers 41 und des Verstärkers 42, sodass der kapazitive Sensor 7 ein Signal, wie entsprechend Schritt 109 gespeichert, liefert. Danach wird die Referenzspannung u_{ref} entsprechend Schritt 114 gemessen und entsprechend Schritt 115 gespeichert.

[0040] Schließlich erfolgt eine weitere Überprüfung der Messwerte auf untere und obere Grenzwerte (siehe Schritt 116) und allenfalls die Ausgabe einer Fehlermeldung (Schritt 117). Schließlich wird gemäß Schritt 118 des Messverfahrens der Phasenschieber 31 und Verstärker 33 so justiert, dass der kapazitive Sensor 7 ein gleich großes Signal, wie entsprechend Schritt 109 gespeichert, liefert.

[0041] Entsprechend Schritt 119 wird der Umschalter 14 zurückgeschaltet und wieder der Wechselstrom i_{in} eingeprägt (Schritt 120).

[0042] Danach erfolgt die Messung des Wechselstromes i_v und i_n vor und nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ entsprechend Schritt 121 und die Speicherung der Messergebnisse entsprechend Schritt 122.

[0043] Schritt 123 sieht die Differenzspannungsmessung Δu und Speicherung des Messwertes (Schritt 124) vor.

[0044] Gemäß Schritt 125 erfolgt eine Justage der mit den Strommesszangen 4 und 5 verbundenen Verstärker 28 und 29 und des Differenzverstärkers 38 laut gespeicherten Justierkennlinien.

[0045] In Schritt 126 wird der Wechselstrom $i_{\ddot{U}}$ an der Übergangsstelle $\ddot{U}$ durch Differenzbildung zwischen dem Wechselstrom i_v vor und dem Wechselstrom i_n nach der Übergangsstelle $\ddot{U}$ berechnet. In Schritt 127 wird der Übergangswiderstand $Z_{\ddot{U}}$ durch Division der Wechselspannungsdifferenz Δu durch die Wechselstromdifferenz Δi ermittelt. In Schritt 128 wird die Phasenverschiebung Φ_u der Spannung und in Schritt 129 die Phasenverschiebung Φ_i des Stromes und in Schritt 130 die Phasenverschiebung $\Phi_{\ddot{U}}$ des Übergangswiderstandes $Z_{\ddot{U}}$ entsprechend Schritt 131 berechnet und entsprechend Schritt 132 angezeigt.

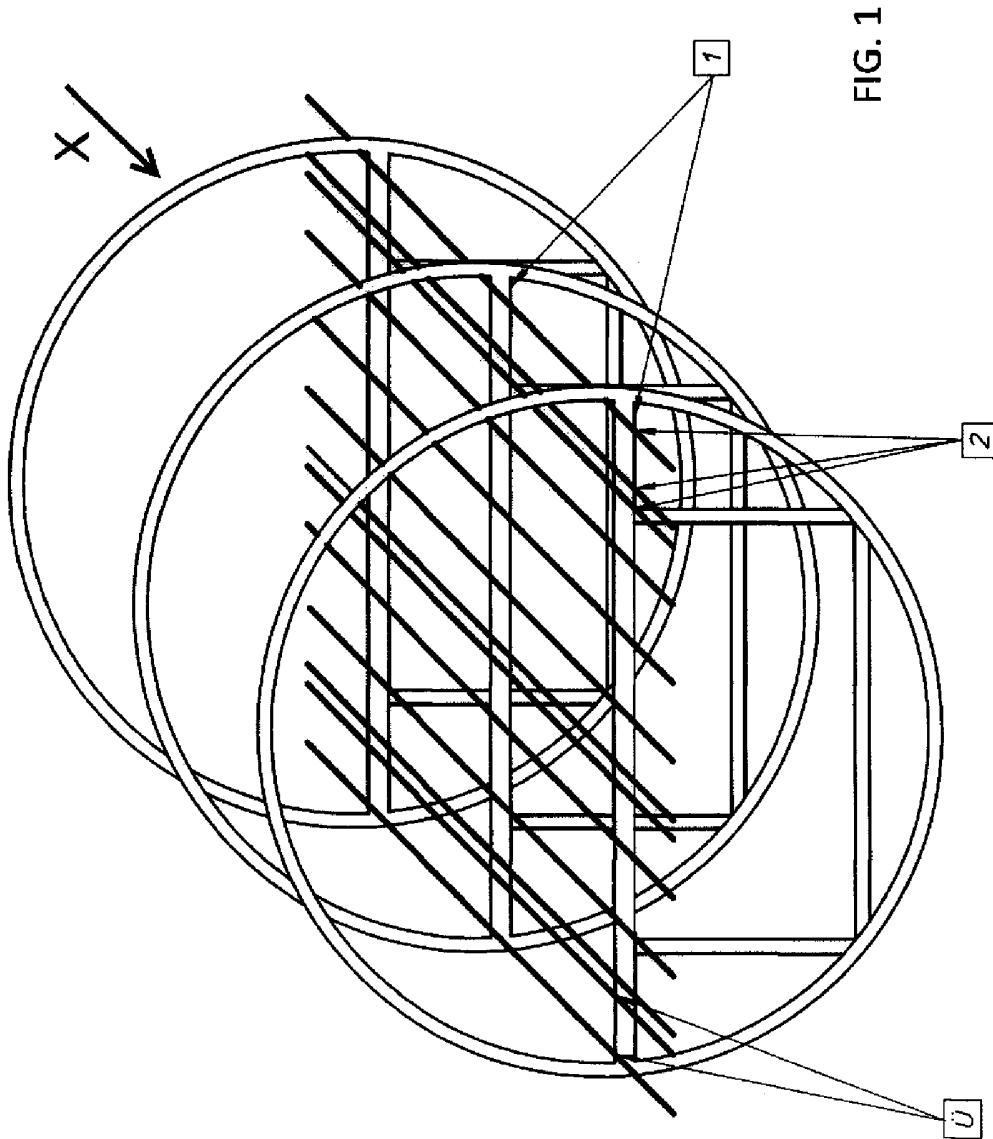
Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung des Widerstandes ($Z_{\ddot{U}}$) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) zweier Leiter (A, B) einer Struktur (X) mehrfach verbundener Leiter, wobei im ersten Leiter (A) ein Wechselstrom (i_{in}) eingeprägt und der resultierende Wechselstrom ($i_{\ddot{U}}$) und die resultierende Wechselspannung ($u_{\ddot{U}}$) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) gemessen und der Widerstand ($Z_{\ddot{U}}$) durch Division der resultierenden Wechselspannung ($u_{\ddot{U}}$) und des resultierenden Wechselstromes ($i_{\ddot{U}}$) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) ermittelt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der resultierende Wechselstrom ($i_{\ddot{U}}$) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) durch Bildung der Differenz (Δi) der vor und nach der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) des ersten Leiters (A) gemessenen Wechselströme (i_v , i_n) ermittelt wird, und die resultierende Wechselspannung ($u_{\ddot{U}}$) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) durch Bildung der Differenz (Δu) der vor der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) am ersten Leiter (A) gemessenen Wechselspannung (u_v) und der nach der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) am zweiten Leiter (B) gemessenen Wechselspannung (u_n) ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wechselstrom (i_{in}) am ersten Leiter (A) kontaktlos über eine mit einer Stromquelle verbundene Einspeisezange (3) eingeprägt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die resultierenden Wechselströme (i_v , i_n) vor und nach der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) kontaktlos mittels zweier Strommesszangen (4, 5) gemessen werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die resultierenden Wechselspannungen (u_v , u_n) vor und nach der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) kontaktlos mittels zweier kapazitiver Sensoren (6, 7) gemessen werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Referenzspannung (u_{ref}) vorzugsweise kontaktlos über einen kapazitiven Sensor bei ausgeschaltetem eingeprägten Wechselstrom (i_{in}) gemessen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass über die Referenzspannung (u_{ref}) die Phasenverschiebung (Φ) und der Amplitudenfehler (Δu_v , Δu_n) ermittelt und korrigiert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Anpressdruck der kapazitiven Sensoren (6, 7) während der Messung der resultierenden Wechselspannungen (u_v , u_n) vor und nach der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) und allenfalls der Messung der Referenzspannung (u_{ref}) im Wesentlichen konstant gehalten wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messwerte gespeichert werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der ohmsche Widerstand ($R_{\ddot{U}}$) durch Division der errechneten Wechselspannungsdifferenz (Δu) und der Wechselstromdifferenz (Δi) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) der beiden Leiter (A, B) unter Berücksichtigung der Phasenverschiebung ($\Phi_{\ddot{U}}$) berechnet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Betrag des komplexen Widerstandes ($|Z_{\ddot{U}}|$), der Betrag des ohmschen Widerstandes ($R_{\ddot{U}}$) und die Phasenverschiebung ($\Phi_{\ddot{U}}$) berechnet und angezeigt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der eingeprägte Wechselstrom (i_{in}) eine Amplitude von 5 A bis 50 A und eine Frequenz von 400 Hz bis 10 kHz aufweist.
12. Vorrichtung zur Messung des Widerstandes ($Z_{\ddot{U}}$) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) zweier Leiter (A, B) einer Struktur (X) mehrfach verbundener Leiter, mit einer Wechselstromquelle zur Einprägung eines Wechselstromes (i_{in}) im ersten Leiter (A) und einer Einrichtung (10) zur Messung des resultierenden Wechselstromes ($i_{\ddot{U}}$) und einer Einrichtung zur Messung der resultierenden Wechselspannung ($u_{\ddot{U}}$) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) und einer Einrichtung zur Ermittlung des Widerstandes ($Z_{\ddot{U}}$) durch Division der resultierenden Wechselspannung ($u_{\ddot{U}}$) und des resultierenden Wechselstromes ($i_{\ddot{U}}$) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$), **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei Einrichtungen zur Messung des resultierenden Wechselstromes (i_v , i_n) vor und nach der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) des ersten Leiters (A), und zwei Einrichtungen zur Messung der resultierenden Wechselspannungen (u_v , u_n) vor der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) am ersten Leiter (A) und nach der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) am zweiten Leiter (B) vorgesehen sind, und dass die Einrichtung zur Ermittlung des Widerstandes ($Z_{\ddot{U}}$) an der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) zur Bildung der Division der Differenz (Δu) der gemessenen Wechselspannungen (u_v , u_n) und der Differenz (Δi) der gemessenen Wechselströme (i_v , i_n) ausgebildet ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung zur Einprägung des Wechselstromes (i_{in}) durch eine mit einer Stromquelle (13) verbundene Einspeisezange (3) gebildet ist.
14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wechselstrommesseinrichtungen durch Strommesszangen (4, 5) gebildet sind.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass Wechselspannungsmesseinrichtungen durch kapazitive Sensoren (6, 7) gebildet sind.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Einrichtung zur Messung einer Referenzspannung (u_{ref}) bei ausgeschalteter Einrichtung zur Einprägung eines Wechselstromes (i_{in}) vorgesehen ist, welche vorzugsweise durch einen kapazitiven Sensor gebildet ist.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ermittlungseinrichtung zur Ermittlung und Korrektur der Phasenverschiebung (Φ) und der Amplitudenfehler (Δu_v , Δu_n) aus der gemessenen Referenzspannung (u_{ref}) ausgebildet ist.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die kapazitiven Sensoren (6, 7) zur Konstanthaltung des Anpressdrucks während der Messung der resultierenden Wechselspannungen (u_v , u_n) vor und nach der Übergangsstelle ($\ddot{U}$) und allenfalls der Messung der Referenzspannung (u_{ref}) ausgebildet sind.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Speicher (11) zur Speicherung der Messwerte vorgesehen ist.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ermittlungseinrichtung (10) zur Berechnung des ohmschen Widerstandes ($R_{\bar{u}}$) an der Übergangsstelle ($\bar{U}$) durch Division der errechneten Wechselspannungsdifferenz (Δu) und der Wechselstromdifferenz (Δi) an der Übergangsstelle ($\bar{U}$) der beiden Leiter (A, B) unter Berücksichtigung der Phasenverschiebung ($\Phi_{\bar{u}}$) ausgebildet ist.
21. Vorrichtung nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Anzeige (12) zur Darstellung des Betrags des komplexen Widerstandes ($|Z_{\bar{u}}|$) des Betrags, des ohmschen Widerstandes ($|R_{\bar{u}}|$) und der Phasenverschiebung ($\Phi_{\bar{u}}$) vorgesehen ist.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einrichtung zum Einprägen eines Wechselstromes (i_{in}) mit einer Amplitude von 5 A bis 50 A und einer Frequenz von 400 Hz bis 10 kHz ausgebildet ist.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen



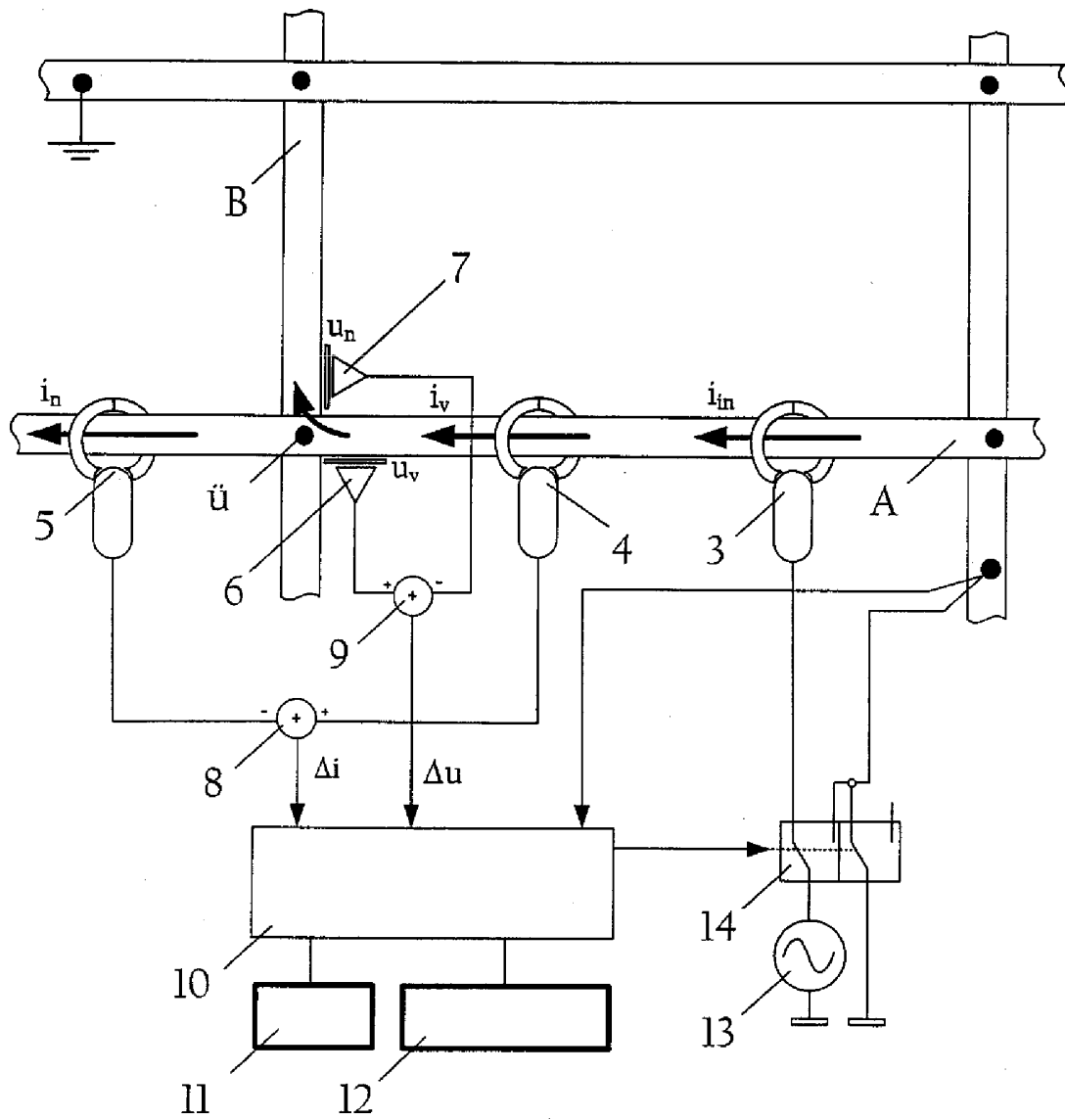


FIG. 2

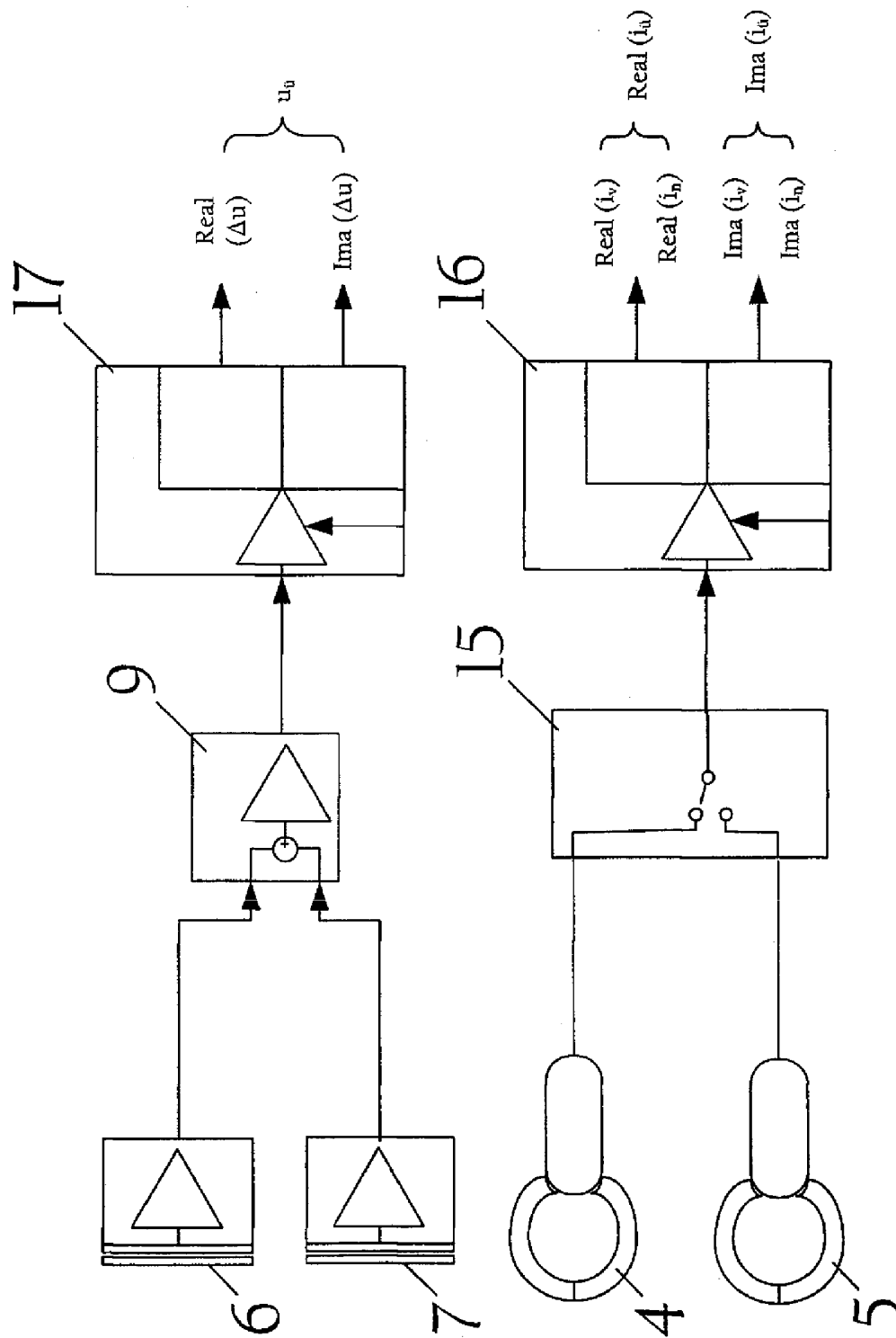
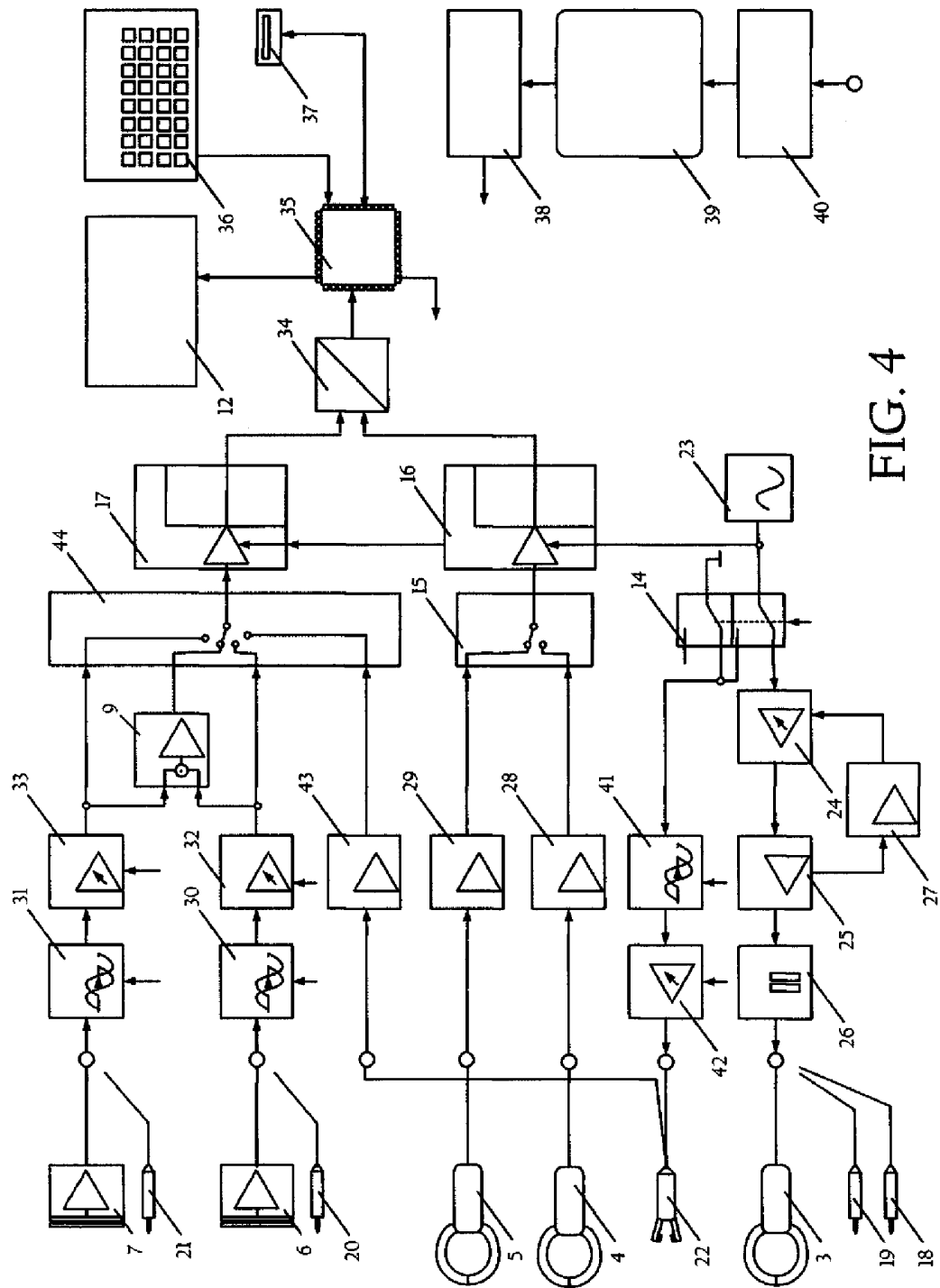


FIG. 3



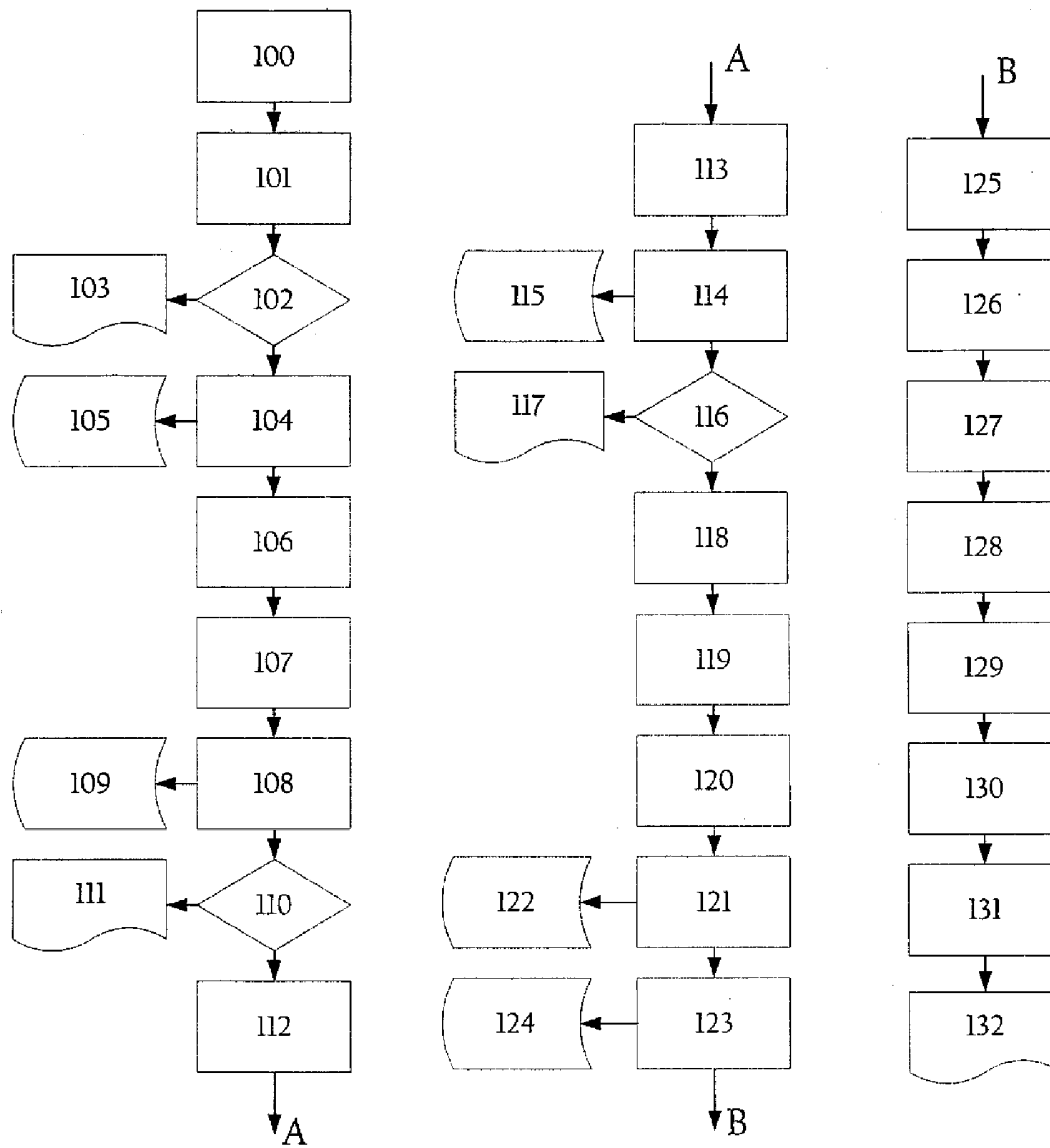


FIG. 5