

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 9285/2018 (51) Int. Cl.: **G01R 31/11** (2006.01)
(86) PCT-Anmeldenummer: PCT/KR18009811 **G01R 31/08** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 24.08.2018
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2025

(30) Priorität:
24.10.2017 KR 10-2017-0138072 beansprucht.

(71) Patentanmelder:
Korea Electric Power Corporation
58322 Jeollanam-do (KR)

(72) Erfinder:
Jung Chae-Kyun
34022 Yuseong-gu (KR)
Shin Yong-June
07340 Yeongdeungpo-gu Seoul (KR)
Kwon Gu-Young
03726 Seodaemun-gu Seoul (KR)
Kim Tae-Kyun
34032 Yuseong-gu Daejeon (KR)
Hwang Jae-Sang
34053 Yuseong-gu Daejeon (KR)

(74) Vertreter:
Schwarz & Partner Patentanwälte OG
1010 Wien (AT)

(54) **Vorrichtung und Verfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels**

(57) Eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels werden vorgeschlagen. Die Vorrichtung umfasst: eine optimale Referenzsignaldesigneinheit, die dazu konfiguriert ist, ein Referenzsignal zum Detektieren der Fehlerstelle des Erdkabels zu konzipieren, wobei die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels gemäß dem Zeit-Frequenzbereichsreflektometrieverfahren berücksichtigt werden; eine Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals, die dazu konfiguriert ist, wenn das konzipierte Referenzsignal erzeugt und an das Erdkabel angelegt wird, das an das Erdkabel angelegte Referenzsignal und ein reflektiertes Signal des angelegten Referenzsignals zu erhalten; und eine Datenanalyseeinheit, die dazu konfiguriert ist zu analysieren, ob eine Fehlerstelle des Erdkabels gegeben ist, entsprechend einer Entscheidung über die Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal, nachdem eine Zeit-Frequenzbereichsenergieverteilung für das erhaltene Referenzsignal und das reflektierte Signal erhalten wurde.

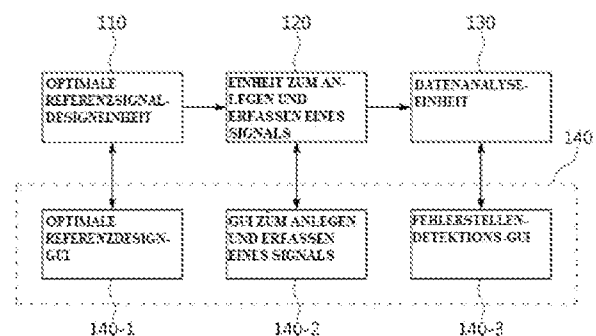


FIG. 1

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels werden vorgeschlagen. Die Vorrichtung umfasst: eine optimale Referenzsignaldesigneinheit, die dazu konfiguriert ist, ein Referenzsignal zum Detektieren der Fehlerstelle des Erdkabels zu konzipieren, wobei die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels gemäß dem Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens berücksichtigt werden; eine Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals, die dazu konfiguriert ist, wenn das konzipierte Referenzsignal erzeugt und an das Erdkabel angelegt wird, das an das Erdkabel angelegte Referenzsignal und ein reflektiertes Signal des angelegten Referenzsignals zu erhalten; und eine Datenanalyseeinheit, die dazu konfiguriert ist zu analysieren, ob eine Fehlerstelle des Erdkabels gegeben ist, entsprechend einer Entscheidung über die Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal, nachdem eine Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das erhaltene Referenzsignal und das reflektierte Signal erhalten wurde.

BESCHREIBUNG

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM DETEKTIEREN EINER FEHLERSTELLE EINES ERDKABELS

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und auf ein Verfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels. Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf eine Vorrichtung und auf ein Verfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels, wobei die Vorrichtung und das Verfahren dazu konfiguriert sind, ein optimales Referenzsignal unter Berücksichtigung von Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels unter Verwendung eines Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens zu konzipieren und ein reflektiertes Signal zu analysieren, das erhalten wird, indem das Referenzsignal an das Erdkabel angelegt wird, das ein zu diagnostizierendes Ziel ist, und das Referenzsignal, wodurch genau eine Fehlerstelle des Erdkabels detektiert und vorhergesagt wird. Diese Anmeldung beansprucht den Nutzen gemäß 35 U.S.C. Abschnitt 371, der PCT Internationalen Anmeldung Nr. PCT/KR2018/009811, eingereicht am 24. August 2018, die Priorität gegenüber der Koreanischen Patentanmeldung Nr. KR 10-2017-0138072, eingereicht am 24. Oktober 2017, beansprucht, deren Offenbarungen hierin durch Verweis aufgenommen sind.

Hintergrundtechnik

Herkömmlicherweise wurde eine Fehlerstelle eines Erdkabels unter Verwendung von Verfahren wie einem Murray-Schleifenverfahren unter Verwendung eines Prinzips der Wheatstone-Brücke, einem TDR-Verfahren unter Verwendung eines Prinzips der wandernden Welle oder einem FDR Verfahren, einem ARM, einem Wegepunktverfahren und dergleichen detektiert.

Erstens ist es im Murray-Schleifen-Verfahren notwendig, dass zumindest eine Schallphase für die genaue Messung existiert, und im Fall eines einzelnen Außenleiter-Erde-Fehlers sollte der Erdungswiderstand an einem Punkt eines Fehlers nahe null sein, um die Messung genau zu machen. Währenddessen ist das Murray-Schleifen-Verfahren vorteilhaft, um die Gleichspannung für eine genaue Messung so viel wie möglich zu erhöhen, und es besitzt den Nachteil, dass, wenn ein Erdungswiderstandswert an dem Fehlerpunkt hoch ist, dann der Strom, der zur Erdung fließt, gering ist, so dass das Galvanometer den Strom nicht genau messen kann, oder der Messfehler sich erhöhen kann.

Das TDR-Verfahren und ARM nutzen das Prinzip einer Impedanzvariation im Fall eines Fehlerauftretens, haben aber den Nachteil, dass sie sehr teuer und schwierig sind, um die Fehlerstelle im Fall eines hohen Widerstandsfehlers zu detektieren. Demgemäß sind Erfahrung sowie ein hohes Maß an Können und Geschick erforderlich, um die Fehlerstelle genau zu detektieren.

Hier kann das Reflektometrieverfahren grob in das TRD-Verfahren und das FDR-Verfahren, abhängig von der Art eines Signals, klassifiziert werden.

Das TDR-Verfahren analysiert die reflektierte Welle im Zeitbereich, indem ein Stufensignal mit einer Auflösung im Zeitbereich angelegt wird. Andererseits analysiert das FDR-Verfahren die reflektierte Welle im Frequenzbereich, indem ein Sinuswellensignal mit einer Auflösung im Frequenzbereich an das Kabel angelegt wird.

Währenddessen können das TDR-Verfahren und das FDR-Verfahren die reflektierte Welle an dem Impedanzsprungpunkt gemäß einem Prinzip des Verfahrens zur Verarbeitung einer reflektierten Welle beobachten, sie können aber auch einen Nachteil des schwierigen Detektierens von kleinen Defekten aufgrund einer Begrenzung der Auflösung besitzen.

Zusätzlich dazu ist die Verwendung des TDR-Verfahrens und des FDR-Verfahrens aufgrund der Verzerrung der reflektierten Wellenform für die Untersuchung des lokalen Isolierungsdurchschlags und die Defektdetektion an einem tatsächlichen Kabel beschränkt.

Zusätzlich ist es gemäß einer Unbestimmtheitsrelation der Signal- und Informationstheorie nicht zulässig, dass das TDR-Verfahren und das FDR-Verfahren willkürlich über eine sehr kleine Auflösung des Zeitbereichs und Frequenzbereichs gleichzeitig besitzen.

Demgemäß verliert das TDR-Verfahren die Auflösung des Frequenzbereichs, weil die Auflösung des Zeitbereichs erhöht wurde, und das FDR-Verfahren verliert die Auflösung des Zeitbereichs, weil die Auflösung des Frequenzbereichs erhöht wurde.

Das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren hat aber in den Referenzsignaldesignbereich eine Flexibilität eingebracht, wo dem herkömmlichen Reflektometrieverfahren bisher Grenzen gesetzt waren. Dies bedeutet, dass das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren ein eingehülltes lineares Gauß-Chirp-Signal als ein Referenzsignal verwendet, in welchem die Frequenz linear mit der Zeit zunimmt. Somit kann ein Design, das ein optimales Signal verwendet, das für die Ausbreitungscharakteristiken des Kabels geeignet ist, im Zeit-Frequenzbereich gemacht werden. Demgemäß kann die Gauß-Einhüllung im Zeit-Frequenzbereich die höchste Auflösung sowohl in dem Zeit- als auch dem Frequenzbereich entsprechend der Unbestimmtheitsrelation aufweisen.

Somit besteht in der verwandten Technik der Bedarf für ein Verfahren, das in der Lage ist, die Genauigkeit der Detektion der Fehlerstelle des Erdkabels zu verbessern, indem es die Vorteile des Reflektometrieverarbeitungsverfahrens im Zeit-Frequenzbereich nutzt.

Offenbarung

Technisches Problem

Demgemäß wurde die vorliegende Erfindung gemacht, wobei die obigen Probleme, die im Stand der Technik auftreten, bedacht werden, und die vorliegende Erfindung soll eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels vorschlagen, wobei die Vorrichtung und das Verfahren dazu konfiguriert sind, ein optimales Referenzsignal unter Berücksichtigung von Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels unter Verwendung eines Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens zu konzipieren und ein reflektiertes Signal, das durch Anlegen des Referenzsignals an das Erdkabel, das ein zu diagnostizierendes Ziel ist, erhalten wird, und das Referenzsignal zu analysieren, wodurch genau eine Fehlerstelle des Erdkabels detektiert und vorhergesagt werden kann.

Technische Lösung

Um das obige Ziel zu erreichen, kann eine Vorrichtung zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bereitgestellt werden, wobei die Vorrichtung umfasst: eine optimale Referenzsignaldesigneinheit, die dazu konfiguriert ist, ein Referenzsignal zum Detektieren der Fehlerstelle des Erdkabels zu konzipieren, wobei die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels gemäß dem Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens berücksichtigt werden; eine Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals, die dazu konfiguriert ist, wenn das konzipierte Referenzsignal erzeugt und an das Erdkabel angelegt wird, das an das Erdkabel angelegte Referenzsignal und ein reflektiertes Signal des angelegten Referenzsignals zu erfassen; und eine Datenanalyseeinheit, die dazu konfiguriert ist zu analysieren, ob eine Fehlerstelle des Erdkabels gegeben ist, entsprechend einer Entscheidung über die Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal, nachdem eine Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das erfasste Referenzsignal und das reflektierte Signal erhalten wurde.

Die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels können eine Kabelstruktur, ein Kabelisolierschichtmaterial und eine Art der Kabelinstallation sein.

Die optimale Referenzdesigneinheit kann Mittenfrequenz, Frequenzbandbreite und Zeitbreite des Referenzsignals in Werten auswählen, die für das Erdkabel optimiert wurden, um eine Fehlerstelle des Erdkabels zu detektieren.

Die gewählte Frequenzbandbreite und gewählte Zeitbreite des Referenzsignals können so festgelegt werden, so dass der Wert eines Produkts davon mindestens 0,5 beträgt.

Die optimale Referenzsignaldesigneinheit kann umfassen: eine Einheit zum Festlegen von Signal und Algorithmus, die dazu konfiguriert ist, die Signalinformation und Algorithmusinformation für das Design des Referenzsignals zum Detektieren einer Fehlerstelle des Erdkabels festzulegen; eine Mittenfrequenzbestimmungseinheit, die dazu konfiguriert ist, die optimale Mittenfrequenzkandidatengruppe zu bestimmen, indem eine Magnitudenänderung einer Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Mittenfrequenz überprüft wird, nachdem die maximale Mittenfrequenz durch einen Endpunkt-Check identifiziert wurde; eine Frequenzbandbreitenbestimmungseinheit, die dazu konfiguriert ist, die optimale Frequenzbandbreite zu bestimmen, indem eine Änderung der Magnitude der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Frequenzbandbreite überprüft wird, nachdem die Mittenfrequenzkandidatengruppe und die passende Zeitbreite fixiert wurden; und eine Zeitbreitenbestimmungseinheit, die dazu konfiguriert ist, die optimale Zeitbreite zu bestimmen, indem eine Magnitudenänderung der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Zeitbreite überprüft wird, nachdem die Mittenfrequenzkandidatengruppe und die optimale Frequenzbandbreite fixiert wurden.

Die Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals kann umfassen: eine Referenzsignalerzeugungseinheit, die dazu konfiguriert ist, das konzipierte Referenzsignal zu erzeugen; eine Wellenformmesseinheit, die dazu konfiguriert ist, das Referenzsignal, das an das Erdkabel angelegt wird, und das reflektierte Signal für das angelegte Referenzsignal zu messen; und eine Erdkabelverbindungseinheit, die dazu konfiguriert ist, das durch die Referenzsignalerzeugungseinheit erzeugte Referenzsignal an das Erdkabel anzulegen und das reflektierte Signal, das vom Erdkabel übertragen wurde, zur Wellenformmesseinheit zu übertragen.

Gemäß einer Ausführungsform kann die Vorrichtung ferner umfassen: eine Amplifizierungseinheit, die mit der Referenzsignalerzeugungseinheit verbunden und dazu konfiguriert ist, das amplifizierte Referenzsignal an das Erdkabel durch die Erdkabelverbindungseinheit anzulegen, indem das von der Referenzsignalerzeugungseinheit erzeugte Referenzsignal amplifiziert wird.

Die Erdkabelverbindungseinheit kann durch die Verbindung eines T-Steckverbinders und eines BNC-Steckverbinders in Serie verbunden sein, und der BNC-Steckverbinder kann dazu konfiguriert sein, einen (+)-Anschluss, der mit einer Leiterschicht des Erdkabels verbunden ist, und einen (-)-Anschluss, der mit einer Mantelschicht des Erdkabels verbunden ist, aufzuweisen. Die Datenanalyseeinheit kann dazu konfiguriert sein, die Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das erfasste Referenzsignal und das reflektierte Signal durch eine lokalisierte Wigner-Ville-Verteilung für so viel wie einen spezifischen Abschnitt zu erhalten.

Die Datenanalyseeinheit kann dazu konfiguriert sein, über eine Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal unter Verwendung eines normalisierten Werts zwischen null und eins durch eine Kreuzkorrelationsfunktion des Zeit-Frequenzbereichs für das Referenzsignal und das reflektierte Signal zu entscheiden.

Gemäß einer Ausführungsform kann die Vorrichtung ferner eine Benutzerschnittstelle umfassen, die dazu konfiguriert ist, eine Grafikbenutzerschnittstelle (GUI) für einen Verarbeitungsprozess jeder der Referenzsignaldesigneinheit, der Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals und der Datenanalyseeinheit bereitzustellen.

Zusätzlich dazu kann ein Verfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bereitgestellt sein, wobei das Verfahren umfasst: Konzipieren eines Referenzsignals zum Detektieren einer Fehlerstelle des Erdkabels unter Berücksichtigung von Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels gemäß eines Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens; Erfassen des Referenzsignals, das an das Erdkabel angelegt wird, und des reflektierten Signals des angelegten Referenzsignals, wenn das konzipierte Referenzsignal erzeugt und an das Erdkabel angewendet wird; und Analysieren, ob eine Fehlerstelle des Erdkabels gegeben ist, entsprechend einer Entscheidung über die Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal, nachdem eine Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das erfasste Referenzsignal und das reflektierte Signal erhalten wurde.

Das Konzipieren kann umfassen: Festlegen von Signalinformation und Algorithmusinformation für das Design eines Referenzsignals zum Detektieren einer Fehlerquelle des Erdkabels; Bestimmen der optimalen Mittenfrequenzkandidatengruppe, indem eine Magnitudenänderung einer Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Mittenfrequenz überprüft wird, nachdem die maximale Mittenfrequenz durch einen Endpunkt-Check identifiziert wurde; Bestimmen der optimalen Frequenzbandbreite, indem eine Änderung der Magnitude der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer

Änderung der Frequenzbandbreite überprüft wird, nachdem die Mittenfrequenzkandidatengruppe und die passende Zeitbreite fixiert wurden; und Bestimmen der optimalen Zeitbreite, indem eine Magnitudenänderung der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Zeitbreite überprüft wird, nachdem die Mittenfrequenzkandidatengruppe und die optimale Zeitbreite fixiert wurden.

Das Analysieren kann die Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das erfasste Referenzsignal und das reflektierte Signal durch eine lokalisierte Wigner-Ville-Verteilung für so viel wie einen spezifischen Abschnitt erhalten.

Das Analysieren kann über die Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal unter Verwendung eines normalisierten Werts zwischen null und eins durch eine Kreuzkorrelationsfunktion des Zeit-Frequenzbereichs für das Referenzsignal und das reflektierte Signal entscheiden.

Vorteilhafte Wirkungen

Die vorliegende Erfindung konzipiert ein optimales Referenzsignal unter Berücksichtigung der Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels unter Verwendung eines Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens und analysiert das reflektierte Signal, das durch Anlegen des Referenzsignals an das Erdkabel, das ein zu diagnostizierendes Ziel ist, erhalten wird, und das Referenzsignal, wodurch eine Fehlerstelle des Erdkabels genau detektiert und vorhergesagt werden kann.

Zusätzlich dazu kann die vorliegende Erfindung die Fehlerstelle des Erdkabels diagnostizieren, indem sie das optimalste Signal entsprechend einer Kabelstruktur, einem Kabelisolierschichtmaterial und einem Typ der Kabelinstallation des Erdkabels konzipiert, was ein Ziel darstellt.

Zusätzlich dazu verhindert die vorliegende Erfindung die Verzerrung der Signalanalyse aufgrund eines Kreuzterms durch die bestehende Wigner-Ville-Verteilung, indem das Konzept der lokalisierten Wigner-Ville-Verteilung genutzt wird, wodurch die Möglichkeit der Fehlerkennung einer Fehlerstelle aufgrund des Kreuzterms eliminiert werden kann.

Zusätzlich dazu kann beim Design eines Referenzsignals mit einem optimalen Parameter für jede Frequenzcharakteristik die vorliegende Erfindung die Mittenfrequenz unter Berücksichtigung der Dämpfungscharakteristik und Auflösung für jede Frequenz des Kabels auswählen, die Signalverzerrung aufgrund der Dämpfungscharakteristiken des Kabels minimieren und die Zeitbreite auf der Grundlage der Unbestimmtheitsrelation festlegen.

Beschreibung von Zeichnungen

FIG. 1 ist eine Ansicht, die eine Vorrichtung zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht,

FIG. 2 ist eine Ansicht, die ein Beispiel für ein eingehülltes lineares Gauß-Chirp-Signal veranschaulicht,

FIG. 3 ist eine Ansicht, die eine detaillierte Konfiguration einer optimalen Referenzsignaldesigneinheit der Figur 1 veranschaulicht,

FIG. 4 ist eine Ansicht, die eine detaillierte Konfiguration einer Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals der Figur 1 veranschaulicht,

FIG. 5 zeigt Ansichten, die Energieverteilungen in einem Zeit-Frequenzbereich eines Referenzsignals bzw. eines reflektierten Signals veranschaulichen,

FIG. 6 ist eine Ansicht, die einen Kreuzterm einer Wigner-Ville-Verteilung veranschaulicht,

FIG. 7 zeigt Ansichten, die einen Prozess zur Berechnung einer lokalisierten Wigner-Ville-Verteilung veranschaulichen,

FIG. 8 zeigt Ansichten, die eine Kreuzkorrelationsfunktion von Zeit-Frequenz veranschaulichen, wobei der Kreuzterm entfernt ist,

FIG. 9 ist eine Ansicht, die eine optimale Referenz-Design-GUI veranschaulicht,

FIG. 10 ist eine Ansicht, die eine Fehlerstellendetektions-GUI veranschaulicht,

FIG. 11 ist eine Ansicht, die ein Verfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle des Erdkabels gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht,

Die Figuren 12 und 13 sind Ansichten, die eine Einrichtung bzw. ein Resultat eines Verifizierungstests veranschaulichen, der an einer Verifizierungsteststelle durchgeführt wird,

Die Figuren 14 und 15 sind Ansichten, die eine Einrichtung bzw. ein Resultat des Verifizierungstests veranschaulichen, der für ein $\pm 250\text{kV}$ Jindo-Jeju HVDC Kabel durchgeführt wird,

Die Figur 16 und 17 sind Ansichten, die eine Einrichtung bzw. ein Resultat des Verifizierungstests veranschaulichen, der für ein $\pm 180\text{kV}$ Haenam-Jeju HVDC Kabel durchgeführt wird.

Modus für die Erfindung

Hierin nachfolgend sind beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ausführlich mit Verweis auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben. In der folgenden Beschreibung und in den begleitenden Zeichnungen sind aber ausführliche Beschreibungen von allgemein bekannten Funktionen oder Konfigurationen, die den Gegenstand der vorliegenden Erfindung verschleiern könnten, weggelassen. Zusätzlich dazu ist anzumerken, dass dieselben Komponenten in den Zeichnungen auch so weit wie möglich durch dieselben Referenzziffern bezeichnet werden.

Die in der vorliegenden Beschreibung und in den nachfolgend beschriebenen Ansprüchen verwendeten Begriffe oder Worte sollten nicht als auf die herkömmliche oder wörtliche Bedeutung beschränkt verstanden werden, und auf der Grundlage des Prinzips, dass der Erfinder seine oder ihre Erfindung in Ausdrücken richtig definieren kann, die die Erfindung am besten beschreiben, sollten diese als eine Bedeutung oder Konzept interpretiert werden, die/das mit der technischen Idee der vorliegenden Erfindung übereinstimmt.

Somit sind die in dieser Beschreibung beschriebenen Ausführungsformen und die in den Zeichnungen gezeigten Konfigurationen nur die beispielhaftesten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung und stellen nicht alles des technischen Geistes der vorliegenden Erfindung dar. Demgemäß ist zu verstehen, dass zum Zeitpunkt der vorliegenden Anmeldung verschiedene Äquivalente und Modifikationen vorgelegen haben können, die diese ersetzen können.

In den begleitenden Zeichnungen sind einige Komponenten übertrieben, weggelassen oder schematisch dargestellt, und die Größe jeder Komponente spiegelt nicht gänzlich die tatsächliche Größe wider. Die vorliegende Erfindung ist nicht durch die relative Größe oder den relativen Abstand, die/der in den begleitenden Zeichnungen gezeichnet ist, begrenzt.

Wenn ein Teil der Beschreibung eine gewisse Komponente „umfasst“, so bedeutet dies, dass andere Komponenten ferner umfasst sein können und nicht andere Komponenten ausgeschlossen sind, sofern nicht spezifisch dieses dargelegt ist. Zusätzlich dazu umfasst, wenn ein Teil mit einem anderen Teil „verbunden“ sein soll, dieser nicht nur einen Fall des „direkt verbunden“ sondern sogar einen Fall des „elektrisch verbunden“, während andere Elemente zwischen diesen angeordnet sind.

Einzahlausdrücke umfassen Mehrzahlausdrücke, sofern der Kontext nicht klar anderes angibt. Die Begriffe „umfassen“ oder „aufweisen“ sollen die Gegenwart von Merkmalen, Zahlen, Schritten, Aktionen, Komponenten, Teilen oder Kombinationen davon, die in der Beschreibung beschrieben sind, anzeigen, und sie sollen so zu verstehen sein, dass die Möglichkeit der Gegenwart oder Zugabe von einem oder mehreren anderen Merkmalen, Zahlen, Schritten,

Aktionen, Komponenten, Teilen oder Kombinationen davon nicht im Vorhinein ausgeschlossen ist.

Auch bezeichnet der in der Beschreibung verwendete Begriff „Einheit“ Software- und auch Hardware-Komponenten wie FPGA oder ASIC, und die „Einheit“ führt gewisse Rollen durch. Die „Einheit“ kann in einem aufrufbaren Speichermedium konfiguriert sein, oder sie kann konfiguriert sein, um eine oder mehrere Prozessoren zu reproduzieren. Somit umfasst beispielhaft die „Einheit“ Komponenten wie Software-Komponenten, Gegenstand-orientierte Software-Komponenten, Klassen-Komponenten und Aufgaben-Komponenten sowie Prozesse, Funktionen, Attribute, Verfahren, Subroutinen, Segmente eines Programm-Codes, Treiber, Firmware, Mikrocode, Schaltkreise, Daten, Datenbank, Datenstrukturen, Tabellen, Anordnungen und Variablen. Die in Komponenten und „Einheiten“ bereitgestellte Funktionalität kann mit einer kleineren Anzahl von Komponenten und „Einheiten“ kombiniert werden, oder sie kann mit zusätzlichen Komponenten und „Einheiten“ weiter getrennt werden. Hierin nachfolgend sind beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ausführlich mit Verweis auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, so dass Fachpersonen der Technik, zu welcher die vorliegende Erfindung gehört, leicht diese implementieren können. Die vorliegende Erfindung kann aber in vielen verschiedenen Formen implementiert werden und ist nicht auf die hierin beschriebenen Ausführungsformen begrenzt. Zusätzlich dazu können, um die vorliegende Erfindung in den Zeichnungen klar zu beschreiben, Teile, die für die Beschreibung irrelevant sind, weggelassen werden, und gleiche Referenzzahlen werden ähnlichen Teilen in der Beschreibung zugewiesen.

Hierin nachfolgend sind beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Verweis auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben.

Figur 1 ist eine Ansicht, die eine Vorrichtung zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

Wie in Figur 1 gezeigt ist, detektiert die Vorrichtung zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung (hierin nachfolgend als eine Fehlerstellendetektionsvorrichtung 100 bezeichnet) eine Fehlerstelle eines Erdkabels unter Verwendung eines Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens.

Dies bedeutet, dass, wenn ein Fehler in einem Erdkabel auftritt, die Fehlerstellendetektionsvorrichtung 100 detektiert, ob das Kabel fehlerhaft ist, sowie eine Fehlerstelle durch die Analyse der aufgrund der Impedanzänderung an der Fehlerstelle des Kabels erzeugten reflektierten Welle.

Insbesondere wird die Ausbreitung eines elektrischen Signals in einem Erdkabel entsprechend von Kabelleitungskonstanten wie Widerstand, Induktivität und Kapazität bestimmt.

Wenn aber das Erdkabel einen lokalen Fehler aufweist, erfolgt an der Fehlerstelle des Kabels eine lokale Impedanzänderung. In diesem Fall wird eine reflektierte Welle am Impedanzsprungpunkt des Kabels erzeugt, wenn ein elektrisches Signal an das Kabel angelegt wird.

Demgemäß kann die Fehlerstellendetektionsvorrichtung 100 detektieren, ob das Kabel fehlerhaft ist oder nicht, indem sie die Wellenform der reflektierten Welle, die am Impedanzsprungpunkt erzeugt wird, unter Verwendung des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens analysiert.

Wie oben beschrieben ist, weist das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren, anders als ein Zeitbereichreflektometrieverfahren (TDR-Verfahren) oder ein Frequenzbereichreflektometrieverfahren (FDR-Verfahren), den Vorteil auf, dass es in der Lage ist, ein optimales Referenzsignal (Eingangssignal) entsprechend den Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels, was ein Ziel der Fehlerstellendetektion darstellt, konzipieren kann.

Die obige Fehlerstellendetektionsvorrichtung 100 ist dazu konfiguriert, eine optimale Referenzsignaldesigneinheit 110, eine Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120, eine Datenanalyseeinheit 130 und eine Benutzerschnittstelleneinheit 140 zu umfassen.

Die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 konzipiert das optimale Referenzsignal durch Analyse der Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels, die Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 empfängt das Referenzsignal und das reflektierte Signal, indem sie das optimale Referenzsignal zum Detektieren der Fehlerstelle des Erdkabels erzeugt und anwendet, und die Datenanalyseeinheit 130 analysiert die Messdaten zum Detektieren der Fehlerstelle des Erdkabels.

Hierin nachfolgend sind die Komponenten der Fehlerstellendetektionsvorrichtung 100 ausführlich beschrieben.

Die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 konzipiert ein optimales Referenzsignal für die Diagnose des Erdkabels, indem sie das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren anwendet. Zusätzlich dazu berücksichtigt die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels beim Design des Referenzsignals.

Die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels entsprechen der wichtigsten Information beim Design eines optimalen Referenzsignals und können abhängig von der Kabelstruktur (z.B. Leiterschicht – Isolierschicht – Metallmantelschicht – Antikorrosionsschicht und dergleichen),

Kabelisolierschichtmaterial (z.B. XLPE, OF, MI, MI-PPLP und dergleichen) und einem Typ der Kabelinstallation (z.B. Meeresboden, Stromkanal, Kabelgang, direktes erdverlegtes Kabel und dergleichen) variieren. Aus diesem Grund ist es wichtig, das Referenzsignal unter Berücksichtigung der Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels richtig zu konzipieren, um die Fehlerstelle des Erdkabels zu detektieren.

Aus dem obigen Grund konzipiert die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 ein optimales Referenzsignal, indem sie einen Abschnitt in dem Frequenzbereich wählt, in welchem die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels linear sind und in welchem die Dämpfungsmenge konstant ist.

Dies bedeutet, dass die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 drei Elemente (d.h. Mittenfrequenz, Frequenzbandbreite und Zeitbreite) des Referenzsignals als Werte wählt, die für das Erdkabel optimiert wurden, was das Ziel der Fehlerstellendetektion darstellt, wodurch das optimale Referenzsignal konzipiert wird.

Im Grunde genommen verwendet die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 ein eingehülltes lineares Gauß-Chirp-Signal wie in Gleichung 1 als ein Referenzsignal.

[Gleichung 1]

$$s(t) = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}} e^{-\frac{\alpha(t-t_0)^2}{2} - \frac{j\beta t^2}{2} + j\omega_0(t-t_0)}$$

Hier stehen t und t_0 für Zeit bzw. Anfangszeit. α ist eine Gauß'sche Konstante, und β steht für eine Frequenzsteigerungsrate. ω_0 ist die anfängliche Winkelgeschwindigkeit und stellt eine Mittenfrequenz dar. Die Zeitbreite wird durch α bestimmt, und eine Frequenzbandbreite wird durch α und β bestimmt.

Zusätzlich dazu wird $(\alpha/\pi)^{1/4}$ für die Signalenergienormalisierung verwendet.

Wie in der Gleichung 1 oben weist das eingehüllte lineare Gauß-Chirp-Signal eine Auflösung sowohl des Zeitbereichs als auch des Frequenzbereichs zur selben Zeit auf, und somit ist es möglich, ein optimales Referenzsignal entsprechend den Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels zu konzipieren. Demgemäß kann das optimale Referenzsignal, wie es in Figur 2 gezeigt ist, an das entsprechende Erdkabel durch einen Signalgenerator wie einem willkürlichen Wellenformgenerator (AWG) angelegt werden. Figur 2 ist eine Ansicht, die ein Beispiel für ein eingehülltes lineares Gauß-Chirp-Signal veranschaulicht.

Das eingehüllte lineare Gauß-Chirp-Signal der Figur 2 stellt einen Fall dar, in welchem die Mittenfrequenz 6 MHz beträgt, die Frequenzbandbreite 6 MHz beträgt und die Zeitbreite 480 ns beträgt.

In FIG. 2 entsprechen die X-Achse und die Y-Achse der Zeit bzw. der Spannung. In FIG. 2 entspricht die Zeitbreite der horizontalen Breite des Signals, aber da die Mittenfrequenz und die Bandbreite mit der Frequenz zusammenhängende Komponenten sind, kann die Zeitbreite durch Umwandlung des Frequenzbereichs bestätigt werden. Wird die Mittenfrequenz erhöht, wird die Änderung der Mitte des Signals schneller, und wenn die Bandbreite erhöht wird, wird ein Signal mit einer größeren Änderung der Frequenz erzeugt.

Währenddessen muss die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 die folgenden theoretischen Designbedingungen erfüllen, um ein Referenzsignal mit einem optimalen Parameter für jede Frequenzcharakteristik zu konzipieren.

Zuerst sollte die Mittenfrequenz unter Berücksichtigung der Dämpfungscharakteristiken und Auflösung für die Frequenz jedes Kabels gewählt werden. Zweitens sollte das Referenzsignal die Signalverzerrung aufgrund der Dämpfungscharakteristiken des Kabels minimieren. Drittens sollte die Zeitbreite auf der Grundlage der Unbestimmtheitsrelation festgelegt werden.

Im Allgemeinen zeigt, wenn ein Referenzsignal an ein Erdkabel angelegt wird, das Signal verschiedene Dämpfungsphänomene abhängig vom Frequenzband des Kabels, aber im Fall eines Signals im Hochfrequenzband wird das Signal stärker aufgrund eines Skin-Effekts während der Ausbreitung durch das Kabel gedämpft.

Demgemäß könnte es, wenn das Referenzsignal als ein Signal mit einer hohen Mittenfrequenz (d.h. ein Signal in einem Hochfrequenzband) konzipiert ist, aufgrund der Signaldämpfung schwierig für die reflektierte Welle des an einem Ende reflektierte Referenzsignal sein, die Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 zu erreichen.

Andererseits ist, wenn das Referenzsignal als ein Signal mit einer Mittenfrequenz konzipiert ist, die zu niedrig ist, die Bandbreite des Referenzsignals begrenzt, so dass sich ein blinder Fleck erhöht und die Auflösung abnehmen kann. Hier bezeichnet blinder Fleck einen Wert, der durch die Umwandlung einer minimalen Zeitverzögerung, in welcher die Kreuzkorrelationsfunktionen des Referenzsignals und der reflektierten Welle einander nicht überlappen, in eine Distanz erhalten wird.

Im Referenzsignal ist die Auflösung des Zeitbereichs und des Frequenzbereichs eng mit der Frequenzbandbreite zusammenhängend. Demgemäß ist, obwohl es für das Referenzsignal von Vorteil ist, die Frequenzbandbreite so viel wie möglich zu erhöhen, um eine hohe Auflösung sicherzustellen, unweigerlich eine Obergrenze der Frequenzbandbreite entsprechend der

Unbestimmtheitsrelation gegeben, die eng mit der Zeitbreite zusammenhängt. Demgemäß kann die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 die Frequenzbandbreite und die Zeitbreite derart festlegen, so dass ein Wert eines Produkts davon mindestens 0,5 auf der Grundlage der Unbestimmtheitsrelation beträgt. Dies wird durch eine Relation eines Ausgleichs zwischen der Zeitbreite und der Frequenzbandbreite hervorgerufen, in welchem die Frequenzbandbreite nur erhöht werden kann, wenn die Zeitbreite reduziert wird, und die Zeitbreite kann nur reduziert werden, wenn die Frequenzbandbreite reduziert wird.

Anders gesagt dürfen aufgrund der Unbestimmtheitsrelation die Frequenzbandbreite und die Zeitbreite nicht zusammen reduziert werden. Somit muss, wenn die Frequenzbandbreite des Signals mit 60 MHz gewählt wird, die Zeitbreite des Signals derart gemäß der Unbestimmtheitsrelation gewählt werden, so dass sie nicht kleiner als etwa 48 ns ist, was durch die nachfolgende Gleichung 2 berechnet werden kann.

[Gleichung 2]

$$(2 \times \pi \times \frac{60\text{MHz}}{6}) \times (\frac{48\text{ns}}{6}) \approx \frac{1}{2}$$

Somit ist es für die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 wichtig, einen optimalen Punkt für das Design eines optimalen Referenzsignals zu finden.

Dies geht darauf zurück, dass die Auflösung und Genauigkeit der reflektierten Wellen (d.h. reflektieren Signalen), die vom Ende des Erdkabels reflektiert werden, abhängig vom Referenzsignal (d.h. Eingangssignal), das auf das Erdkabel angelegt wird, um die Fehlerstelle des Erdkabels zu detektieren, variieren.

Dies bedeutet, dass der Prozess der Detektion der Fehlerstelle des Erdkabels die besten Resultate für die Auflösung und Genauigkeit der reflektierten Welle erhalten kann, wenn das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren ausgeführt wird, nachdem das optimale Referenzsignal vor der Ausführung des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens konzipiert wird.

Hierin ist nachfolgend ausführlich der Prozess beschrieben, in welchem die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 das optimale Referenzsignal unter Berücksichtigung des Frequenzbereichdämpfungseffekts des Erdkabels beschrieben.

Zuerst verwendet das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren ein eingehülltes lineares Gauß-Chirp-Signal als ein Referenzsignal, und die obige Gleichung 1 kann als nachfolgende Gleichung 3 ausgedrückt werden. Die obige Gleichung 1 entspricht einem theoretischen Ausdruck, und die nachfolgende Gleichung 3 entspricht einem realen Teil der Gleichung 1. Um ein tatsächliches Signal zu erzeugen, sollte ein Signal des realen Teils, das der nachfolgend

Gleichung 3 entspricht, konzipiert werden. Demgemäß ist das eingehüllte lineare Gauß-Chirp-Signal des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens durch die nachfolgende Gleichung 3 dargestellt.

[Gleichung 3]

$$s_k = A e^{-\frac{(k-m)^2}{2\sigma^2}} \cos\left(\frac{\beta}{2} k^2 + \omega_0 k + \phi_k\right)$$

Hier steht A für eine Magnitude des Signals, β steht für eine Winkelfrequenzerhöhungsrate, ω_0 steht für eine Mittenwinkelfrequenz, m steht für eine Zeitmitte des Referenzsignals, σ^2 steht für einen Zeitbreitenanpassungsparameter und ϕ_k steht für eine Phase.

Das eingehüllte lineare Gauß-Chirp-Signal kann unter Verwendung von Parametern von A, β , ω_0 , σ und m, die konzipierbare Parameter sind, konzipiert werden. Hier verhält sich die Zeitbreite proportional zu σ , und die Frequenzbandbreite wird durch eine Kombination aus β und σ gebildet. Die Mittenfrequenz entspricht ω_0 .

Die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 legt die Mittenfrequenz, die Frequenzbandbreite und die Zeitbreite, die Designparameter sind, des eingehüllten linearen Gauß-Chirp-Signals auf der Grundlage der Analyseresultate der Frequenzdämpfungscharakteristiken des Erdkabels fest. Mit Verweis auf Figur 3 ist die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 dazu konfiguriert, eine Einheit zum Festlegen von Signal und Algorithmus 111, eine Mittenfrequenzbestimmungseinheit 112, eine Frequenzbandbreitenbestimmungseinheit 113 und eine Zeitbreitenbestimmungseinheit 114 zu umfassen. FIG. 3 ist eine Ansicht, die eine detaillierte Konfiguration einer optimalen Referenzsignaldesigneinheit der FIG. 1 veranschaulicht.

Die Einheit zum Festlegen von Signal und Algorithmus 111 legt die Signalinformation fest, die erforderlich ist, um ein Referenzsignal zum Detektieren einer Fehlerstelle des Erdkabels zu konzipieren. Hier entspricht die Signalinformation einer Abtastrate, einer Punktgröße und einer durchschnittlichen Anzahl eines Signals.

Zusätzlich dazu legt die Einheit zum Festlegen von Signal und Algorithmus 111 detaillierte Algorithmusinformationen des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens fest. Zu diesem Zeitpunkt kann die Einheit zum Festlegen von Signal und Algorithmus 111 einen passenden Algorithmus entsprechend der Leitungslänge und der Rauschumgebung des Erdkabels bestimmen. Hier entspricht die Algorithmusinformation einer Größe einer schnellen Fourier-Transformation (FFT), einem Referenzsignalkanal und dergleichen.

Die Mittenfrequenzbestimmungseinheit 112 bestimmt die Mittenfrequenz des Referenzsignals. Wie oben erwähnt ist, erhöht sich, wenn sich die Mittenfrequenz des Referenzsignals erhöht, die Signaldämpfung, so dass die Größe der reflektierten Welle reduziert werden kann.

Demgemäß identifiziert die Mittenfrequenzbestimmungseinheit 112 zuerst, um die optimale Mittenfrequenz zu bestimmen, die maximale Mittenfrequenz durch den End-Checkpunkt und überprüft dann die Änderung der Größe der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend der Änderung der Mittenfrequenz, wodurch eine vorbestimmte Anzahl an Mittenfrequenzkandidatengruppen ausgewählt wird, die als die optimale Mittenfrequenz geeignet sind. Dies geht darauf zurück, dass die Mittenfrequenz das nächste Verfahren, in welchem die Frequenzbandbreite und die Zeitbreite bestimmt werden, beeinflusst.

Wenn z.B. die Mittenfrequenz von 50 MHz auf 70 MHz erhöht wird, wird das Referenzsignal weiter durch ein Dämpfungsphänomen beeinflusst, und die Größe der reflektierten Welle wird reduziert. Dies bedeutet, dass das 50MHz-Signal den Endpunkt als einen größeren Kreuzkorrelationsfunktionswert im Vergleich zum 70MHz-Signal detektiert. Da die Mittenfrequenz aber die Obergrenze der Frequenzbandbreite bestimmt, ist eine Möglichkeit gegeben, dass die Zielauflösung nicht erhalten werden kann, wenn ein niedriger Wert gewählt wird. Demgemäß wählt die Mittenfrequenzbestimmungseinheit 112 eine vorbestimmte Anzahl einer Mittenfrequenzkandidatengruppe aus, die in der Lage ist, den Endpunkt zu überprüfen.

Die Frequenzbandbreitenbestimmungseinheit 113 bestimmt die Frequenzbandbreite des Referenzsignals.

Zu diesem Zeitpunkt bestimmt die Frequenzbandbreitenbestimmungseinheit 113 die optimale Bandbreite, indem sie die Frequenzbandbreite ändert, nachdem die Mittenfrequenzkandidatengruppe und die passende Zeitbreite fixiert wurden.

Die Frequenzbandbreite steht mit der Auflösung der reflektierten Welle im Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren im Zusammenhang, und die Grenze der Frequenzbandbreite wird durch die Mittenfrequenzkandidatengruppe bestimmt, die durch die Mittenfrequenzbestimmungseinheit 112 bestimmt wird. Zusätzlich dazu wird, wenn die Frequenzbandbreite breit ist, die Verzerrung des Referenzsignals aufgrund der Dämpfungs- und Dispersionseffekte der Signale für jede Frequenz schwer.

Demgemäß bestimmt die Frequenzbandbreitenbestimmungseinheit 113 die optimale Frequenzbandbreite, indem sie die Magnitudenänderung der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend der Änderung der Frequenzbandbreite überprüft.

Wurde die Mittenfrequenz zuvor als eine Kandidatengruppe von etwa 55 MHz bis 65 MHz gewählt, so kann die Frequenzbandbreite auf 110 MHz für die Mittenfrequenz von 55 MHz und

bis zu 130 MHz für die Mittenfrequenz von 65 MHz erhöht werden. Je größer die Frequenzbandbreite ist, desto höher ist die Auflösung, aber die Verzerrung des Signals wird schwer, so dass die Detektionsleistung abnehmen kann. Somit beobachtet die Frequenzbandbreitenbestimmungseinheit 113 die Kreuzkorrelationsfunktion und beginnt eine optimale Frequenzbandbreite zu bestimmen, was einen hohen Wert angibt.

Die Zeitbreitenbestimmungseinheit 114 bestimmt die Zeitbreite des Referenzsignals.

Zu diesem Zeitpunkt, nach der Fixierung der optimalen Mittenfrequenzkandidatengruppe und der optimalen Frequenzbandbreite, bestimmt die Zeitbreitenbestimmungseinheit 114 die optimale Zeitbreite durch Überprüfen der Magnitudenänderung der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend der Änderung der Zeitbreite.

Die Zeitbreitenbestimmungseinheit 114 wählt eine optimale Zeitbreite aus, indem sie die Energie des gesamten Signals ändert. Dies soll verhindern, dass sich die reflektierte Welle und das Referenzsignal in dem Zeitbereich überlappen.

Dies bedeutet, dass, wenn die Zeitbreite zunimmt, sich die Energie des Signals erhöht. Dies kann bewirken, dass das Detektionsresultat besser wird, aber wenn die Zeitbreite groß wird, überlappen die reflektierte Welle und das Referenzsignal einander in dem Zeitbereich, was die Auflösung negativ beeinflussen kann. Aus diesem Grund sollte die Zeitbreitenbestimmungseinheit 114 eine passende Zeitbreite unter Berücksichtigung der zwei Punkte wählen.

Schließlich wird für den Fall der Zeitbreite die Zeitbreite durch eine Kreuzkorrelationsfunktion bestimmt, während sie innerhalb eines Bereichs geändert wird, der die Unbestimmtheitsrelation nicht verletzt. Wenn z.B. zuvor die Mittenfrequenz mit 60 MHz und die Frequenzbandbreite mit 60 MHz bestimmt wurden, erhöht die Zeitbreitenbestimmungseinheit 114 die Zeitbreite ausgehend von einem Minimum von 48 ns, wodurch die optimale Zeitbreite gewählt wird, während das Resultat beobachtet wird.

Somit kann die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 ein optimales Referenzsignal unter Berücksichtigung von Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels konzipieren, wenn die Mittenfrequenz, die Frequenzbandbreite und die Zeitbreite des Referenzsignals bestimmt werden.

Nach der Erzeugung eines optimalen Referenzsignals, das von der optimalen Referenzsignaldesigneinheit 110 konzipiert wird, und der Anlegung des optimalen Referenzsignals an das Erdkabel erhält die Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 ein Referenzsignal vom Erdkabel für das Referenzsignal, das an das Erdkabel angelegt wird.

Mit Verweis auf FIG. 4 ist die Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 konfiguriert, eine Steuerung 121, eine Referenzsignalerzeugungseinheit 122, eine Amplifizierungseinheit 123, eine Erdkabelverbindungseinheit 124 und eine Wellenformmesseinheit 125 zu umfassen. FIG. 4 ist eine Ansicht, die eine detaillierte Konfiguration einer Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals der FIG. 1 veranschaulicht.

Die Steuerung 121 überträgt eine Steueranweisung an den Referenzsignalgenerator 122, um ein optimales Referenzsignal entsprechend der Mittenfrequenz, der Frequenzbandbreite und der Zeitbreite des optimalen Referenzsignals zu erzeugen, das von der optimalen Referenzsignaldesignereinheit 110 konzipiert wird.

Zu diesem Zeitpunkt erzeugt die Referenzsignalerzeugungseinheit 122 ein optimales Referenzsignal, wodurch das optimale Referenzsignal an das Erdkabel 10 durch die Erdkabelverbindungseinheit 124 angelegt wird.

Weil die Signaldämpfung abhängig vom Referenzsignalfrequenzband im Fall des lange Distanzen überspannenden Erdkabels erfolgen kann, amplifiziert die Amplifizierungseinheit 123 hier das optimale Referenzsignal, das von der Referenzsignalerzeugungseinheit 122 erzeugt wird, wodurch das optimale Referenzsignal an das Erdkabel 10 durch die Erdkabelverbindungseinheit 124 angewendet wird. Dies soll die Auflösung und Genauigkeit des reflektierten Signals bei Anwendung des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens verbessern. Demgemäß kann die Amplifizierungseinheit 123 nicht im Fall des kurze Distanzen überspannenden Erdkabels 10 arbeiten.

Die Steuerung 121 und die Referenzsignalerzeugungseinheit 122 können miteinander über einen GPIB (general purpose interface bus) kommunizieren.

Die Erdkabelverbindungseinheit 124, von welcher ein Ende mit der Referenzsignalerzeugungseinheit 122 oder der Amplifizierungseinheit 123 verbunden ist, überträgt das optimale Referenzsignal, das von der Referenzsignalerzeugungseinheit 122 oder der Amplifizierungseinheit 123 angelegt wird, auf eine Leiterschicht 1 des Erdkabels 10. Dies bedeutet, dass sich das optimale Referenzsignal entlang eines Wegs bewegt, der zu der Referenzsignalerzeugungseinheit 122, der Amplifizierungseinheit 123, der Erdkabelverbindungseinheit 124 und der Leiterschicht 1 des Erdkabels 10 führt.

Zusätzlich dazu überträgt die Erdkabelverbindungseinheit 124, deren gegenüberliegendes Ende mit der Wellenformmesseinheit 125 verbunden ist, das reflektierte Signal, das von der Metallmantelschicht 2 des Erdkabels 10 empfangen wird, an die Wellenformmesseinheit 125.

Zu diesem Zeitpunkt ist die Erdkabelverbindungseinheit 124 durch die Verbindung eines T-Steckverbinders 124a und eines BNC-Steckverbinders 124b in Serie konfiguriert. Hier ist ein erster Anschluss a1 des T-Steckverbinders 124a mit der Referenzsignalerzeugungseinheit 122 oder der Amplifizierungseinheit 123 verbunden, ein zweiter Anschluss a2 des T-Steckverbinders 124a ist mit einem ersten Anschluss b1 des BNC-Steckverbinders 124b verbunden, und ein dritter Anschluss a3 des T-Steckverbinders 124a mit der Wellenformmesseinheit 125 verbunden.

Zusätzlich dazu ist der zweite Anschluss b2 des BNC-Steckverbinders 124b ein (+)-Anschluss und mit der Leiterschicht 1 des Erdkabels 10 verbunden, und der dritte Anschluss b3 des BNC-Steckverbinders 124b ist ein (-)-Anschluss und mit der Metallmantelschicht 2 des Erdkabels 10 verbunden.

Ein Messkabel C1, mit welchem der zweite Anschluss b2 des BNC-Steckverbinders 124b und die Leiterschicht 1 des Erdkabels 10 verbunden sind, sowie ein Messkabel C2, mit welchem der dritte Anschluss b3 des BNC-Steckverbinders 124b und die Metallmantelschicht 2 des Erdkabels 10 verbunden sind, sollten derselbe Typ sein und dieselbe Länge besitzen.

Da das Referenzsignalfrequenzband hoch ist, wenn das Erdkabel 10 über eine kurze Distanz spannt, kann ein Einfluss der Messkabel C1 und C2 groß sein. In diesem Fall können die Messkabel C1 und C2 den Einfluss der Kabel selbst durch Impedanzanpassung minimieren.

Die Wellenformmesseinheit 125 misst das reflektierte Signal, das von der Erdkabelverbindungseinheit 124 übertragen wird. Zu diesem Zeitpunkt ist die Wellenformmesseinheit 125 in der Lage, nicht nur das reflektierte Signal sondern auch das Referenzsignal zu messen und liefert das Messresultat an die Steuerung 121.

Die Steuerung 121 und die Wellenformmesseinheit 125 können miteinander über den GPIB (general purpose interface bus) kommunizieren.

Währenddessen wird eine Distanz zur Fehlerstelle letztlich durch eine Kreuzkorrelationsfunktion zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal bestimmt, die im optimalen Referenzsignaldesign erwähnt sind.

Die Datenanalyseeinheit 130 analysiert Daten (d.h. Erfassungsdaten für Referenzsignale und reflektierte Signal) die von Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 in einem Zeitbereich und einem Frequenzbereich erfasst werden.

Zuerst erhält die Datenanalyseeinheit 130 eine Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das Referenzsignal und das reflektierte Signal, die durch eine Wigner-Ville-Verteilung erfasst wird. Dies bedeutet, dass nach der Berechnung der Energieverteilung des reflektierten Signals und der Energieverteilung des Referenzsignals (siehe Figur 5) die Datenanalyseeinheit 130 über die

Ähnlichkeit zwischen den zwei Signalen entscheidet und ermittelt, ob eine Fehlerstelle des Erdkabels gegeben ist. Figur 5 zeigt Ansichten, die Energieverteilungen in einem Zeit-Frequenzbereich eines Referenzsignals bzw. eines reflektierten Signals veranschaulichen.

Hier ist die Energieverteilung für jede Zeit-Frequenz des nicht-stationären Signals durch die Wigner-Ville-Verteilungsfunktion ausgedrückt, wie das in der nachfolgenden Gleichung 4 gezeigt ist.

[Gleichung 4]

$$W(t, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} s^*\left(t - \frac{1}{2}\tau\right) s\left(t + \frac{1}{2}\tau\right) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

Somit erhält zum Detektieren der Fehlerstelle des Erdkabels die Datenanalyseeinheit 130 die Zeit-Frequenzbereichenergieverteilungen für das Referenzsignal und das reflektierte Signal und überprüft daraufhin die Korrelation beider Signale unter Verwendung der Kreuzkorrelationsfunktion des Zeit-Frequenzbereichs.

Hier wird die Kreuzkorrelationsfunktion des Zeit-Frequenzbereichs verwendet, um über die Ähnlichkeit der Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das Referenzsignal und das reflektierte Signal zu entscheiden, und erhält einen normalisierten Wert zwischen null und eins. Zu diesem Zeitpunkt steht der Wert der normalisierten Kreuzkorrelationsfunktion für eine Wahrscheinlichkeitsbedeutung, was angibt, ob eine Fehlerstelle gegeben ist.

Zusätzlich dazu ist die Korrelation der Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung der zwei Signale als eine Kreuzkorrelationsfunktion der zwei Signale wie in der nachfolgenden Gleichung 5 ausgedrückt.

[Gleichung 5]

$$C_{s\gamma}(t) = \frac{1}{E_s E_\gamma(t)} \int_{t'-T_s}^{t'+T_s} W_\gamma(t', \omega) W_s(t'-t, \omega) d\omega dt'$$

Hier ist $W_\gamma(t, \omega)$ die Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung des reflektierten Signals, $W_s(t, \omega)$ ist die Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung des Referenzsignals, und $E_s E_\gamma(t)$ ist ein normalisierter Wert, um den Wert der Kreuzkorrelationsfunktion in einem Wert zwischen null und eins darzustellen.

Deshalb kann die Datenanalyseeinheit 130 einen lokalen Impedanzänderungspunkt durch die Gegenwart oder Abwesenheit, eine Magnitude, eine Peak-Distanz und dergleichen des Werts der Kreuzkorrelationsfunktion detektieren.

Andererseits folgt, wie oben beschrieben ist, die Datenanalyseeinheit 130 dem Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverarbeitungsverfahren zum Detektieren der Fehlerstelle des Erdkabels und verwendet die Wigner-Ville-Verteilung, um die Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung des Referenzsignals und des reflektierten Signals in dem Zeit-Frequenzbereich zu analysieren.

Da die Wigner-Ville-Verteilung aber einen Kreuzterm zwischen dem Referenzsignal (einfallendes Signal) und dem reflektierten Signal (reflektierte Welle) aufweist, kann in der Signalanalyse eine Verzerrung auftreten. Da der Kreuzterm durch die Berechnung des Referenzsignals und des reflektierten Signals erzeugt wird, ist eine Ähnlichkeit mit dem Referenzsignal im Kreuzterm gegeben.

Mit Verweis auf FIG. 6 ist der Kreuzterm an einer arithmetischen Mittelposition zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal gegeben und weist ein eindeutiges Muster auf, in welchem sich positive und negative Komponenten wiederholen. Aus diesem Grund kann der Kreuzterm fälschlicherweise für eine Fehlerstelle gehalten werden. FIG. 6 ist eine Ansicht, die einen Kreuzterm der Wigner-Ville-Verteilung veranschaulicht.

Bei der Berechnung der Korrelationsfunktion durch die Wigner-Ville-Verteilung des gesamten Referenzsignals (einfallendes Signal) verwendet die Datenanalyseeinheit 130 eine Signalverarbeitungstechnik, die ein bewegliches Fenster (Moving-Window-Methode) verwendet.

Mit Verweis auf FIG. 7 wählt die Datenanalyseeinheit 130 zuerst ein Signal, das etwa dem Referenzsignal entspricht, als das erste Signal aus, berechnet die Wigner-Ville-Verteilung und berechnet dann kontinuierlich die Wigner-Ville-Verteilung durch die Bewegung so viel wie einer Stichprobe. Das oben beschriebene Verfahren nutzt das Konzept einer lokalisierten Wigner-Ville-Verteilung für so viel wie einen spezifischen Abschnitt und ist in der Lage, komplett den Kreuzterm, der die Leistungsver schlechterung in der bestehenden Wigner-Ville-Verteilung hervorruft, zu entfernen. Dies bedeutet, dass die Datenanalyseeinheit 130 die lokalisierte Wigner-Ville-Verteilung zur Berechnung der Wigner-Ville-Verteilung für jedes bewegliche Fenster verwendet. FIG. 7 zeigt Ansichten, die einen Prozess zur Berechnung der lokalisierten Wigner-Ville-Verteilung veranschaulichen.

Wie in FIG. 8 gezeigt ist, kann die Datenanalyseeinheit 130 eine Fehlerstelle des Erdkabels durch Analyse einer Kreuzkorrelationsfunktion der Zeit-Frequenz, in welcher der Kreuzterm von der Wigner-Ville-Verteilung entfernt ist, detektieren. FIG. 8 zeigt Ansichten, die die Kreuzkorrelationsfunktion von Zeit-Frequenz, in welcher der Kreuzterm entfernt ist, veranschaulichen.

Die Benutzerschnittstelleneinheit 140 stellt eine Benutzerschnittstellenumgebung (Grafikbenutzerschnittstelle, GUI) in Verbindung mit der optimalen Referenzsignaldesigneinheit 110, der Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 und der Datenanalyseeinheit 130 bereit.

Insbesondere stellt die Benutzerschnittstelleneinheit 140 eine optimale Referenzdesign-GUI 140-1, wie in FIG. 9 gezeigt, als die GUI zum Vorantreiben eines optimalen Referenzsignaldesigns gemäß dem Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren in Verbindung mit der optimalen Referenzsignaldesigneinheit 110 bereit. FIG. 9 ist eine Ansicht, die die optimale Referenzdesign-GUI veranschaulicht.

Mit Verweis auf FIG. 9 stellt die optimale Referenzdesign-GUI 140-1 die GUI für eine Reihe von Bestimmungsprozessen für die Mittenfrequenz, die Frequenzbandbreite und die Zeitbreite für das Design eines optimalen Referenzsignals bereit.

Zu diesem Zweck stellt die optimale Referenzdesign-GUI 140-1 eine Signalerzeugungs- und Algorithmusfestlegungsfunktion ①, eine Mittenfrequenzbestimmungsfunktion ②, eine Frequenzbandbreitenbestimmungsfunktion ③, eine Zeitbreitenbestimmungsfunktion ④ und eine Kurvenbildexpressionsfunktion ⑤ der Korrelationsfunktion durch Designsignale bereit.

Zusätzlich dazu stellt die Benutzerschnittstelleneinheit 140 eine GUI zum Anlegen und Erfassen eines Signals 140-2 als die GUI bereit, die Messresultate für das Referenzsignal und das reflektierte Signal gemäß dem Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren in Verbindung mit der Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 anzeigt. Zu diesem Zeitpunkt kann die GUI zum Anlegen und Erfassen eines Signals 140-2 als in der Fehlerstellendetektions-GUI 140-3, die später beschrieben ist, umfasst bereitgestellt sein.

Andererseits stellt die Benutzerschnittstelleneinheit 140 eine Fehlerstellendetektions-GUI 140-3, wie in FIG. 10 gezeigt, als die GUI bereit, die einen Prozess zur Detektion einer Fehlerstelle des Erdkabels gemäß dem Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren in Verbindung mit der Datenanalyseeinheit 130 anzeigt. FIG. 10 ist eine Ansicht, die eine Fehlerstellendetektions-GUI veranschaulicht.

Mit Verweis auf FIG. 10 stellt die Fehlerstellendetektions-GUI 140-3 die GUI für eine Reihe von Prozessen zur Detektion einer Fehlerstelle eines Erdkabels bereit.

Zu diesem Zweck stellt die Fehlerstellendetektions-GUI 140-3 eine Signalerzeugungs- und Algorithmusfestlegungsfunktion ①, eine Wellenformmesssteuerfunktion ②, eine Datenanalysesteuerfunktion ③ und eine Wellenformanalysefunktion ④ bereit.

Die Signalerzeugungs- und Algorithmusfestlegungsfunktion ① stellt eine Funktion bereit, um die Mittenfrequenz, die Bandbreite und die Zeitbreite des Referenzsignals, das an das Erdkabel

angelegt wird, einzugeben und um die Abtastrate, die Länge des Signals und der gleichen festzulegen, wodurch der Signalgenerator gesteuert wird. Zu diesem Zeitpunkt kann die Signalerzeugungs- und Algorithmusfestlegungsfunktion ①, als ein Fehlerstellendetektionsalgorithmus, die Fehlerstelle des Erdkabels unter Verwendung des bestehenden Algorithmus detektieren, indem das bestehende TDR-Verfahren festgelegt wird.

Die Wellenformmesssteuerfunktion ② stellt eine Funktion bereit, um das Wellenforminstrument durch Festlegung der Teilungsebene, der Auflösung, der Punktgröße und einer durchschnittlichen Anzahl eines Signals des Wellenforminstruments zu steuern.

Die Datenanalysesteuerfunktion ③ stellt eine Funktion bereit, die in der Lage ist, die Magnitude der mit einem detaillierten Algorithmus des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens zusammenhängenden FFT zu bestimmen. Zu diesem Zeitpunkt stellt die Datenanalysesteuerfunktion ③ auch sogar die Funktionalität der Steuerung der Endresultatwellenform ⑦ bereit, in welcher die Fehlerdistanz, die durch die Kreuzkorrelationsfunktion des Referenzsignals ⑤ und des reflektierten Signals ⑥ definiert ist, in der Wellenformanalysefunktion ④ ausgedrückt ist.

Zusätzlich dazu ist die Datenanalysesteuerfunktion ③ für eine Funktion der Eingabe des Fehlerwerts der Ausbreitungsgeschwindigkeit verantwortlich, die für die Berechnung der Fehlerstelle notwendig ist, und sie ist auch für eine Funktion der Speicherung numerischer Daten aller Wellenformen verantwortlich, die in der Wellenformanalysefunktion ④ angezeigt werden.

Die Wellenformanalysefunktion ④ zeigt das Referenzsignal ⑤ und das reflektierte Signal ⑥, gemessen durch das Wellenformmessgerät gemessen, sowie die Endresultatwellenform ⑦, in welcher die Fehlerstelle, die durch die Kreuzkorrelationsfunktion des Referenzsignals und des reflektierten Signals berechnet wird, ausgedrückt wird.

FIG. 11 ist eine Ansicht, die ein Verfahren zur Detektion einer Fehlerstelle des Erdkabels gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

Wenn das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren bei der Detektion der Fehlerstelle des Erdkabels angewendet wird, konzipiert die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 das Eingangssignal, d.h. das optimale Referenzsignal, das an das Erdkabel angelegt wird, wobei die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels berücksichtigt werden. In diesem Fall wählt die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 drei Elemente (d.h. Mittenfrequenz, Frequenzbandbreite und Zeitbreite) des Referenzsignals in Werten aus, die für das Erdkabel, das ein Ziel sein soll, optimiert wurden, wodurch das optimale Referenzsignal konzipiert wird.

Zuerst legt die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 Daten zur Erzeugung eines Referenzsignals wie etwa eine Abtastrate eines Signals, von welchem ein Referenzsignal erhalten werden soll, eine Länge eines Signals, eine Punktgröße, eine durchschnittliche Anzahl eines Signals und dergleichen fest und legt eine FFT-Größe und eine Referenzsignalkanalbestimmung und dergleichen, die mit dem detaillierten Algorithmus des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens assoziiert sind, bei S201 fest.

Danach konzipiert die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 ein optimales Referenzsignal bei S202. Insbesondere führt die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 einen Mittenfrequenzbestimmungsprozess zum Bestimmen der Mittenfrequenzkandidatengruppe des Referenzsignals bei S202a, einen Frequenzbandbreitenbestimmungsprozess des Referenzsignals bei S202b sowie einen Zeitbreitenbestimmungsprozess des Referenzsignals bei S202c durch.

Somit kann die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 ein optimales Referenzsignal zum Detektieren einer Fehlerstelle für ein Erdkabel konzipieren.

Als nächstes erzeugt die Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 ein Referenzsignal (analoges Signal) unter Verwendung von drei Elementen (d.h. Mittenfrequenz, Frequenzbandbreite und Zeitbreite) des Referenzsignals, das durch die optimale Referenzsignaldesigneinheit 110 konzipiert wird, wodurch das optimale Referenzsignal an das Erdkabel angelegt wird, das ein zu diagnostizierendes Ziel ist, bei S203. Zu diesem Zeitpunkt wird das angelegte optimale Referenzsignal entlang des Erdkabels ausgebreitet.

Danach erfasst die Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 das reflektierte Signal des angelegten Referenzsignals vom Impedanzunterbrechungspunkt im Erdkabel bei S204. Zu diesem Zeitpunkt erfasst die Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals 120 auch sogar das angelegte Referenzsignal.

Als nächstes analysiert die Datenanalyseeinheit 130 die erhaltenen Daten, die gemäß dem Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren erfasst wurden, bei S205. Zu diesem Zeitpunkt erhält die Datenanalyseeinheit 130 eine Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das Referenzsignal und das reflektierte Signal, die durch die Wigner-Ville-Verteilung erfasst wurden, und ermittelt, ob eine Fehlerstelle gegeben ist, indem über die Ähnlichkeit zwischen den zwei Signalen entschieden wird. Die Datenanalyseeinheit 130 verwendet eine Kreuzkorrelationsfunktion des Zeit-Frequenzbereichs, um über die Ähnlichkeit zwischen den zwei Signalen zu entscheiden. Hier erhält die Kreuzkorrelationsfunktion einen normalisierten Wert zwischen null und eins, und der Wert der normalisierten Kreuzkorrelationsfunktion stellt eine Wahrscheinlichkeitsbedeutung dar, die angibt, ob eine Fehlerstelle gegeben ist.

Wie oben beschrieben ist, verwendet die Datenanalyseeinheit 130 ein Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle des Erdkabels, und sie verwendet eine Wigner-Ville-Verteilung für die Zeit-Frequenzbereichsanalyse.

Da der Kreuzterm zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal gegeben ist, führt aber, wenn die Analyse unter Verwendung der Wigner-Ville-Verteilung durchgeführt wird, die Datenanalyseeinheit 130 eine Zeit-Frequenzbereichsanalyse ohne den Kreuzterm durch eine lokalisierte Wigner-Ville-Verteilung für so viel wie einen spezifischen Abschnitt durch.

Im Anschluss daran führt die Datenanalyseeinheit 130 einen Fehlerstellenexpressionsprozess des Detektierens einer Fehlerfunktion des Erdkabels durch die Zeit-Frequenzbereichsanalyse bei S206 wie oben beschrieben durch.

Die Figuren 12 und 13 sind Ansichten, die eine Einrichtung bzw. ein Resultat eines Verifizierungstests veranschaulichen, der an einer Verifizierungsteststelle durchgeführt wird.

Der Verifizierungstest ist ein Test zur Validierung der Fehlerstellendetektionsvorrichtung 100, die die Fehlerstelle des Erdkabels unter Verwendung des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens detektiert.

Das Erdkabel, das das Ziel des Verifizierungstests ist, war ein 800 mm² MI-Kabel, dieselbe Art eines ± 180 kV HVDC-Kabels, das zwischen Jeju und Haenam verwendet wurde, und wies eine Länge von 80m auf.

Im Verifizierungstest, wie er in Figur 12 gezeigt ist, wurden die Mittenfrequenz, die Bandbreite und die Zeitbreite des optimalen Referenzsignals durch Experimente ausgewählt. Die gewählte Mittenfrequenz betrug 6 MHz, die Frequenzbandbreite betrug 6 MHz, und die Zeitbreite betrug 480 ns.

Das MI-Kabel, das das Zielkabel war, wies eine Gesamtlänge von 80 m auf und wurde durch einen Meeresbodenabschnitt von bis zu 26 m installiert, und der Endpunkt wurde durch das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren berechnet.

FIG. 13 zeigt das Resultat, das den Endpunkt durch das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren berechnete, wobei das Resultat zeigt, dass 80 m der Länge 201 des Endpunkts genau vorhergesagt werden, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit des MI-Kabels $1,4741 \times 10^8$ m/s beträgt.

Die Figuren 14 und 15 sind Ansichten, die eine Einrichtung bzw. ein Resultat des Verifizierungstests veranschaulichen, der für ein ± 250 kV Jindo - Jeju HVDC-Kabel durchgeführt wurde.

Die Figuren 14 und 15 sind Ansichten, die eine Einrichtung bzw. ein Resultat des Verifizierungstests veranschaulichen, der für das ± 250 kV HVDC-Kabel zwischen Jindo und Jeju durchgeführt wurde. Das unter dem Meeresboden verlegte HVDC-Kabel zwischen Jindo und Jeju verwendet ein Kabel von $MI\ 900\ mm^2$, und die Gesamtlänge der Leitung beträgt 113 km.

FIG. 14 zeigt einen Verifizierungstestprozess, und um ein optimales Referenzsignal des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens zu konzipieren, wurde das optimale Referenzsignal durch aufeinanderfolgende Beobachtung der Kreuzkorrelationsfunktion in der Reihenfolge der Auswahl der Mittenfrequenz, Frequenzbandbreite und Zeitbreite konzipiert. Hier wurde ein optimales Referenzsignal mit einer Mittenfrequenz von 5 kHz, einer Frequenzbandbreite von 9,5 kHz und einer Zeitbreite von 580 μs extrahiert.

FIG. 15 zeigt das Resultat, das den Endpunkt durch das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren berechnete. Mit Verweis auf FIG. 15 ist zu sehen, dass die Länge 202 des Endpunkts des ± 250 kV HVDC-Kabels zwischen Jindo und Jeju mit 113,7 km genau vorhergesagt wurde.

Die Figuren 16 und 17 sind Ansichten, die eine Einrichtung bzw. ein Resultat des Verifizierungstests veranschaulichen, der für das ± 180 kV HVDC-Kabel Haenam – Jeju durchgeführt wurde.

Die Figuren 16 und 17 sind Ansichten, die eine Einrichtung bzw. ein Resultat des Verifizierungstests veranschaulichen, der für das ± 180 kV HVDC-Kabel zwischen Haenam und Jeju durchgeführt wurde. Das unter dem Meeresboden zwischen Haenam und Jeju verlegte HVDC-Kabel verwendet ein Kabel von $MI\ 800\ mm^2$, und die Gesamtlänge der Leitung beträgt 101,67 km.

FIG. 16 zeigt einen Verifizierungstestprozess, und um ein optimales Referenzsignal des Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens zu konzipieren, wurde das optimale Referenzsignal durch aufeinanderfolgende Beobachtung der Kreuzkorrelationsfunktion in der Reihenfolge der Auswahl der Mittenfrequenz, Frequenzbandbreite und Zeitbreite konzipiert. Hier wurde ein optimales Referenzsignal mit einer Mittenfrequenz von 3 kHz, einer Frequenzbandbreite von 6 kHz und einer Zeitbreite von 570 μs extrahiert.

FIG. 17 zeigt das Resultat, das den Endpunkt durch das Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahren berechnete. Mit Verweis auf FIG. 17 ist zu sehen, dass die Länge 203 des Endpunkts des ± 180 kV HVDC-Kabels zwischen Haenam und Jeju genau mit 101,7 km vorhergesagt wurde.

Das Verfahren gemäß einiger Ausführungsformen kann in einer Form von Programminstruktionen implementiert sein, die durch verschiedene Computermittel ausgeführt werden können, wobei sie auf einem Computer-lesbaren Medium aufgezeichnet werden. Das Computer-lesbare Medium kann Programminstruktionen, Datendateien, Datenstrukturen und dergleichen allein oder in Kombination umfassen. Die auf dem Medium aufgezeichneten Programminstruktionen können spezifisch für die vorliegende Erfindung konzipiert und konfiguriert sein, oder es können solche sein, die Fachpersonen auf dem Gebiet der Computer-Software bekannt sind oder von diesen verwendet werden können. Beispiele für Computer-lesbare Aufzeichnungsmedien umfassen magnetische Medien wie z.B. Hard Disks, Floppy Disks und Magnetbänder, optische Medien wie CDROMs und DVDs, magnet-optische Medien wie Floptical-Disks und Hardware-Vorrichtungen, die spezifisch konfiguriert sind, um Programminstruktionen zu speichern und auszuführen, so etwa ROM, RAM, Flash Memory und dergleichen. Beispiele für Programminstruktionen umfassen einen Sprach-Code hoher Ebene, der von einem Computer unter Verwendung eines Interpreters ausgeführt werden kann, und dergleichen sowie einen Maschinensprachen-Code, der von einem Compiler produziert wird.

Obwohl die obige Beschreibung mit Fokus auf die neuen Merkmale der vorliegenden Erfindung, die auf verschiedene Ausführungsformen angewendet wurde, beschrieben wurde, wird eine Fachperson der Technik verstehen, dass verschiedene Deletionen, Substitutionen und Änderungen in der Form und in den Details der Vorrichtung und des Verfahren, die oben beschrieben sind, möglich sind, ohne vom Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Demgemäß ist der Umfang der Erfindung durch die angehängten Ansprüche und nicht in der obigen Beschreibung definiert. Alle Modifikationen innerhalb des äquivalenten Umfangs der Ansprüche sind durch den Umfang der vorliegenden Erfindung abgedeckt.

ANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels gemäß eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei die Vorrichtung umfasst:

eine optimale Referenzsignaldesigneinheit, die dazu konfiguriert ist, ein Referenzsignal zum Detektieren der Fehlerstelle des Erdkabels zu konzipieren, wobei die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels gemäß dem Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens berücksichtigt werden;

eine Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals, die dazu konfiguriert ist, wenn das konzipierte Referenzsignal erzeugt und auf das Erdkabel angelegt wird, das an das Erdkabel angelegte Referenzsignal und ein reflektiertes Signal des angelegten Referenzsignals zu erhalten; und

eine Datenanalyseeinheit, die dazu konfiguriert ist zu analysieren, ob eine Fehlerstelle des Erdkabels gegeben ist, entsprechend einer Entscheidung über die Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal, nachdem eine Zeit-Frequenzbereichsenergieverteilung für das erhaltene Referenzsignal und das reflektierte Signal erhalten wurde.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels eine Kabelstruktur, ein Kabelisolierschichtmaterial und eine Art der Kabelinstallation sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die optimale Referenzsignaldesigneinheit die Mittenfrequenz, die Frequenzbandbreite und die Zeitbreite des Referenzsignals in Werten auswählt, die für das Erdkabel optimiert wurden, um eine Fehlerstelle des Erdkabels zu detektieren.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die gewählte Frequenzbandbreite und Zeitbreite des Referenzsignals so festgelegt werden, so dass ein Wert eines Produkts davon mindestens 0,5 beträgt.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die optimale Referenzsignaldesigneinheit umfasst:

eine Einheit zum Festlegen von Signal und Algorithmus, die dazu konfiguriert ist, die Signalinformation und Algorithmusinformation für das Design des Referenzsignals zum Detektieren einer Fehlerstelle des Erdkabels festzulegen;

eine Mittenfrequenzbestimmungseinheit, die dazu konfiguriert ist, die optimale Mittenfrequenzkandidatengruppe zu bestimmen, indem eine Magnitudenänderung einer Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Mittenfrequenz überprüft wird, nachdem die maximale Mittenfrequenz durch einen Endpunkt-Check identifiziert wurde;

eine Frequenzbandbreitenbestimmungseinheit, die dazu konfiguriert ist, die optimale Frequenzbandbreite zu bestimmen, indem eine Änderung der Magnitude der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Frequenzbandbreite überprüft wird, nachdem die Mittenfrequenzkandidatengruppe und die passende Zeitbreite fixiert wurden; und

eine Zeitbreitenbestimmungseinheit, die dazu konfiguriert ist, die optimale Zeitbreite zu bestimmen, indem eine Magnitudenänderung der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Zeitbreite überprüft wird, nachdem die Mittenfrequenzkandidatengruppe und die optimale Frequenzbandbreite fixiert wurden.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals umfasst:

eine Referenzsignalerzeugungseinheit, die dazu konfiguriert ist, das konzipierte Referenzsignal zu erzeugen;

eine Wellenformmesseinheit, die dazu konfiguriert ist, das Referenzsignal, das an den Erdkabel angelegt wird, und das reflektierte Signal für das angelegte Referenzsignal zu messen; und

an Erdkabelverbindungseinheit, die dazu konfiguriert ist, das durch die Referenzsignalerzeugungseinheit erzeugte Referenzsignal an das Erdkabel anzulegen und das reflektierte Signal, das vom Erdkabel übertragen wurde, zur Wellenformmesseinheit zu übertragen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, die weiters umfasst:

eine Amplifizierungseinheit, die mit der Referenzsignalerzeugungseinheit verbunden und dazu konfiguriert ist, das amplifizierte Referenzsignal an das Erdkabel durch die Erdkabelverbindungseinheit anzulegen, indem das von der Referenzsignalerzeugungseinheit erzeugte Referenzsignal amplifiziert wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Erdkabelverbindungseinheit durch die Verbindung eines T-Steckverbinders und eines BNC-Steckverbinders in Serie verbunden ist und wobei der BNC-Steckverbinder dazu konfiguriert ist, einen (+)-Anschluss, der mit einer Leiterschicht des Erdkabels verbunden ist, und einen (-)-Anschluss, der mit einer Mantelschicht des Erdkabels verbunden ist, aufzuweisen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Datenanalyseeinheit dazu konfiguriert ist, die Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das erhaltene Referenzsignal und das reflektierte Signal durch eine lokalisierte Wigner-Ville-Verteilung für so viel wie einen spezifischen Abschnitt zu erhalten.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Datenanalyseeinheit dazu konfiguriert ist, über eine Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal unter Verwendung eines normalisierten Werts zwischen null und eins durch eine Kreuzkorrelationsfunktion des Zeit-Frequenzbereichs für das Referenzsignal und das reflektierte Signal zu entscheiden.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1, die weiters umfasst:
eine Benutzerschnittstelle, die dazu konfiguriert ist, eine Grafikbenutzerschnittstelle (GUI) für einen Verarbeitungsprozess jeder der Referenzsignaldesigneinheit, der Einheit zum Anlegen und Erfassen eines Signals und der Datenanalyseeinheit bereitzustellen.

12. Verfahren zum Detektieren einer Fehlerstelle eines Erdkabels gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei das Verfahren umfasst:

Konzipieren eines Referenzsignals zum Detektieren einer Fehlerstelle des Erdkabels unter Berücksichtigung von Ausbreitungscharakteristiken des Erdkabels gemäß eines Zeit-Frequenzbereichreflektometrieverfahrens;

Erhalten des Referenzsignals, das auf das Erdkabel angelegt wird, und des reflektierten Signals des angelegten Referenzsignals, da das konzipierte Referenzsignal erzeugt und an das Erdkabel angelegt wird; und

Analysieren, ob eine Fehlerstelle des Erdkabels gegeben ist, entsprechend einer Entscheidung über die Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal, nachdem eine Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das erhaltene Referenzsignal und das reflektierte Signal erhalten wurde.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Konzipieren wie folgt umfasst:

Festlegen von Signalinformation und Algorithmusinformation für das Design eines Referenzsignals zum Detektieren einer Fehlerquelle des Erdkabels;

Bestimmen der optimalen Mittenfrequenzkandidatengruppe, indem eine Magnitudenänderung einer Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Mittenfrequenz überprüft wird, nachdem die maximale Mittenfrequenz durch einen Endpunkt-Check identifiziert wurde;

Bestimmen der optimalen Frequenzbandbreite, indem eine Änderung der Magnitude der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Frequenzbandbreite überprüft wird, nachdem die Mittenfrequenzkandidatengruppe und die passende Zeitbreite fixiert wurden; und

Bestimmen der optimalen Zeitbreite, indem eine Magnitudenänderung der Kreuzkorrelationsfunktion entsprechend einer Änderung der Zeitbreite überprüft wird, nachdem die Mittenfrequenzkandidatengruppe und die optimale Zeitbreite fixiert wurden.

14. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Analysieren die Zeit-Frequenzbereichenergieverteilung für das erhaltene Referenzsignal und das reflektierte Signal durch eine lokalisierte Wigner-Ville-Verteilung für so viel wie einen spezifischen Abschnitt erhält.

15. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Analysieren über die Ähnlichkeit zwischen dem Referenzsignal und dem reflektierten Signal unter Verwendung eines normalisierten Werts zwischen null und eins durch eine Kreuzkorrelationsfunktion des Zeit-Frequenzbereichs für das Referenzsignal und das reflektierte Signal entscheidet.

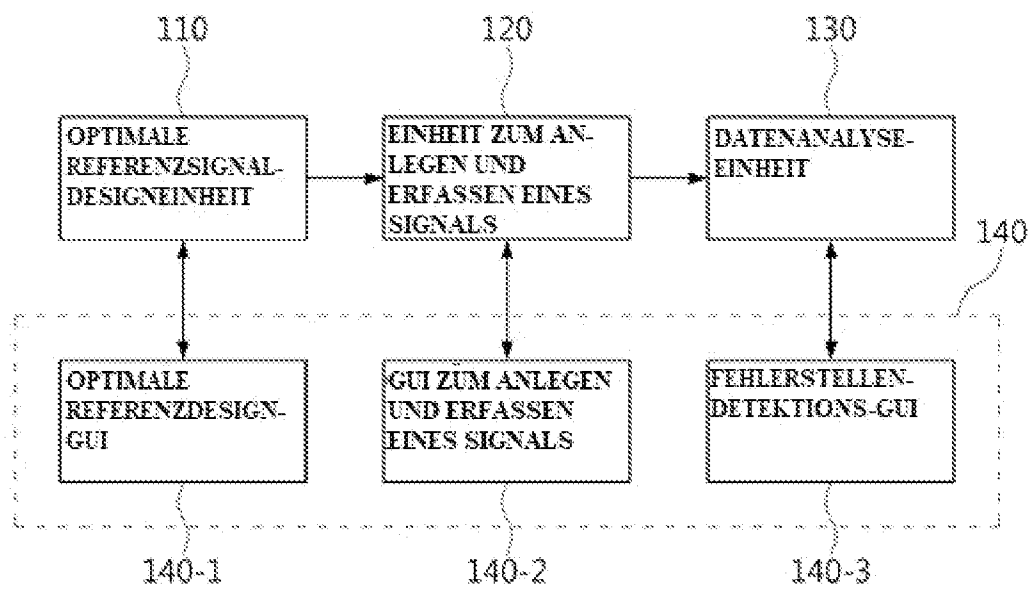


FIG. 1

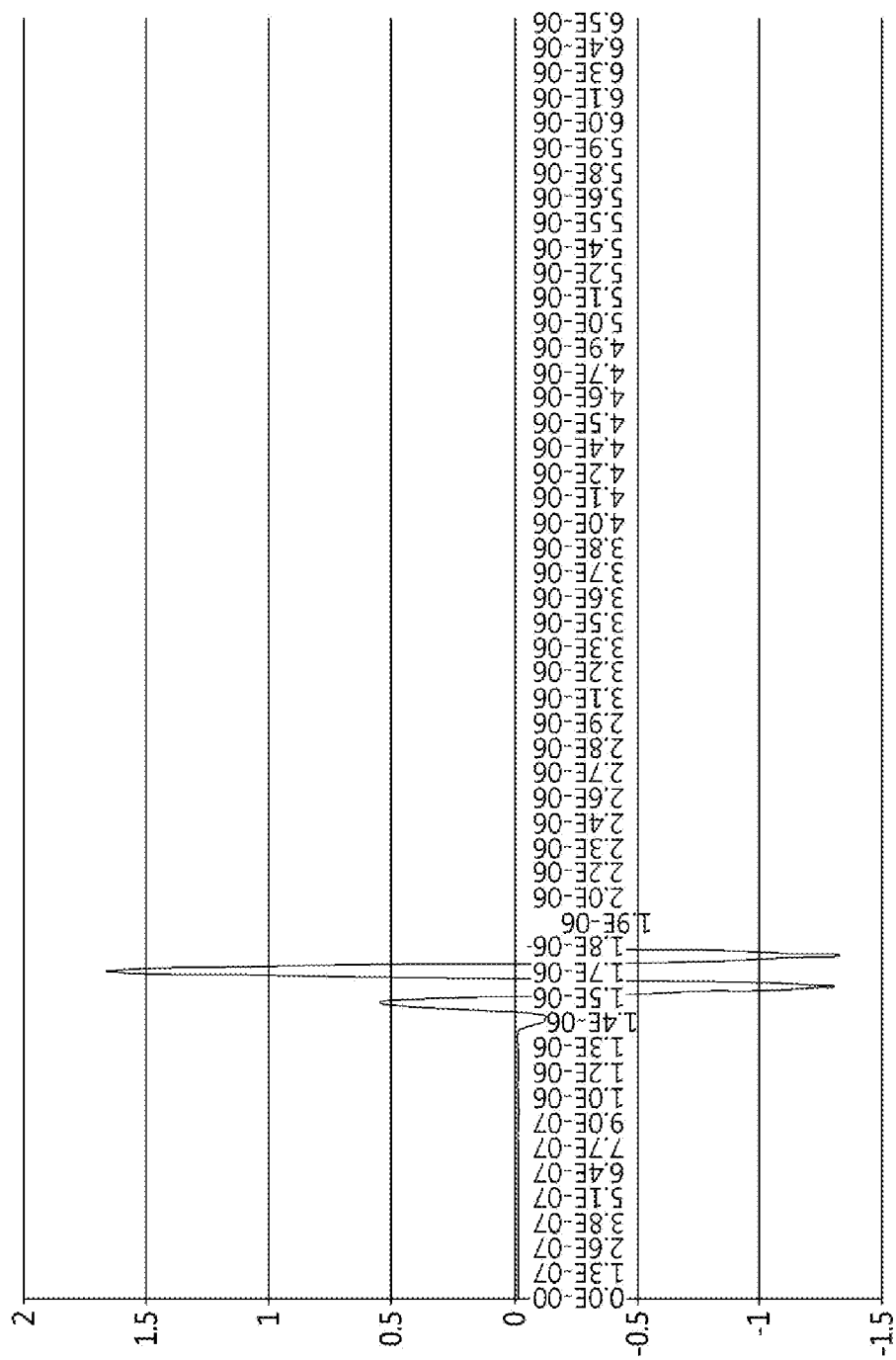


FIG. 2

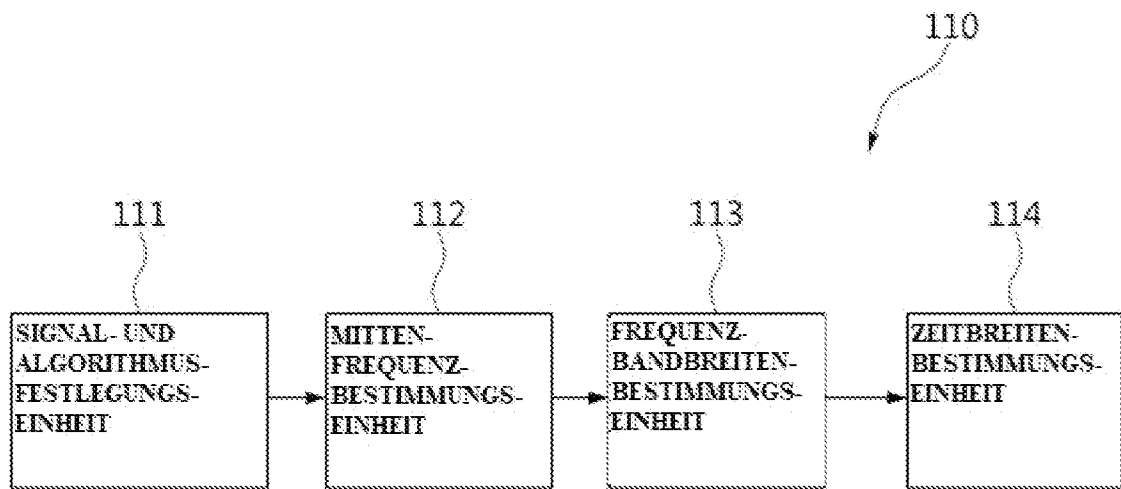


FIG. 3

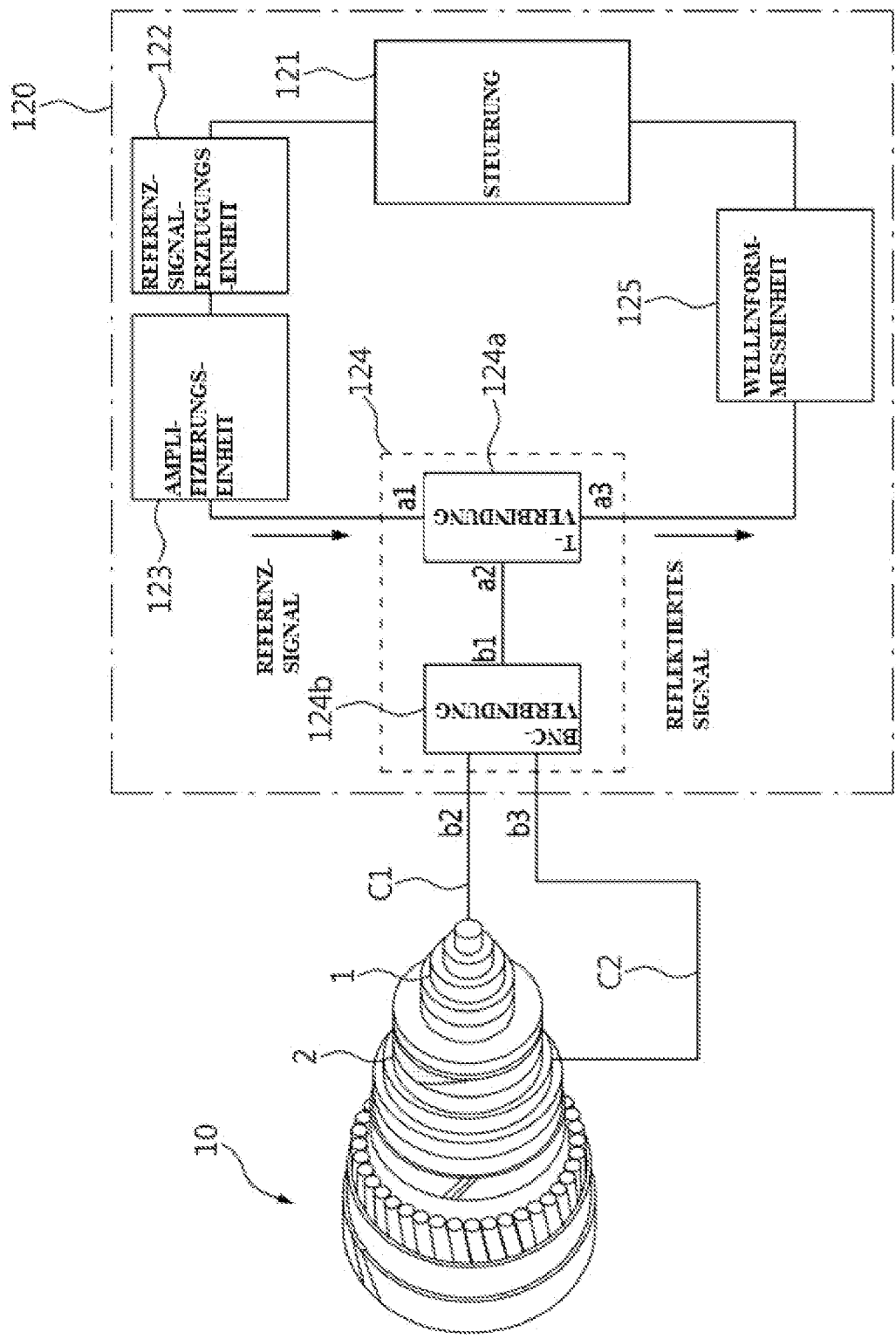
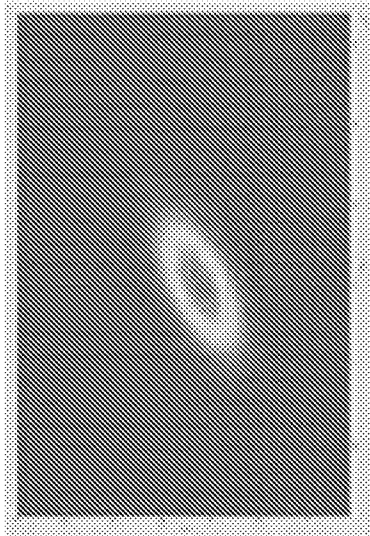
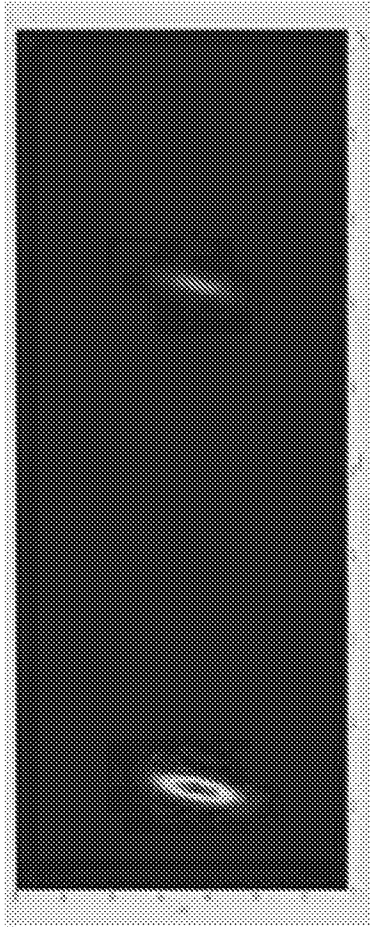


FIG. 4

**ZEIT-FREQUENZBEREICH-
ENERGIEVERTEILUNG**



**(a)
REFERENZ-
SIGNAL**



**(b)
REFLEKTIERTES
SIGNAL**

FIG. 5

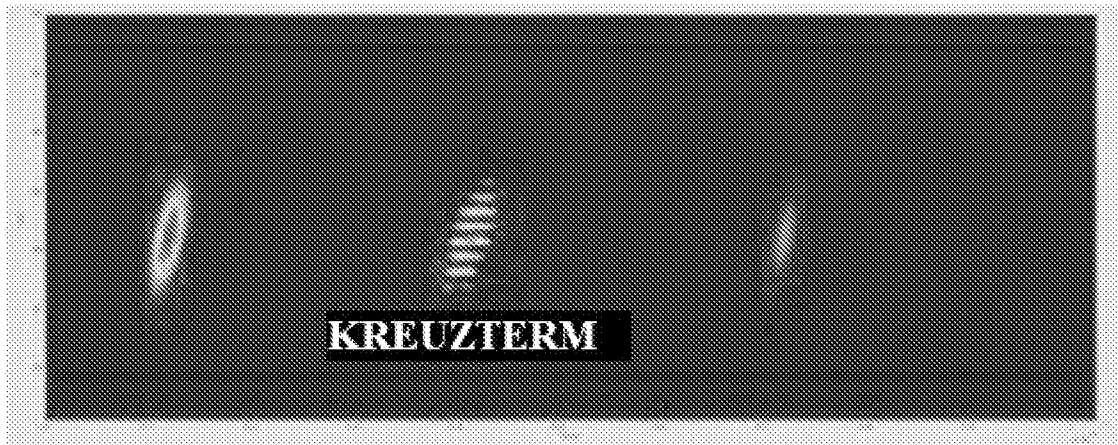
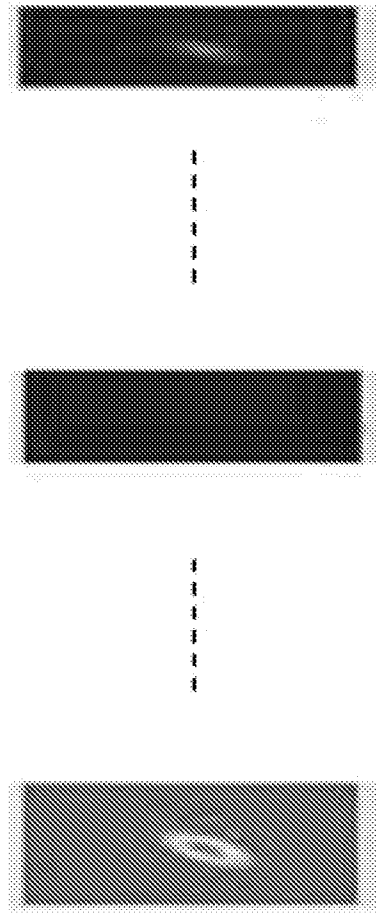
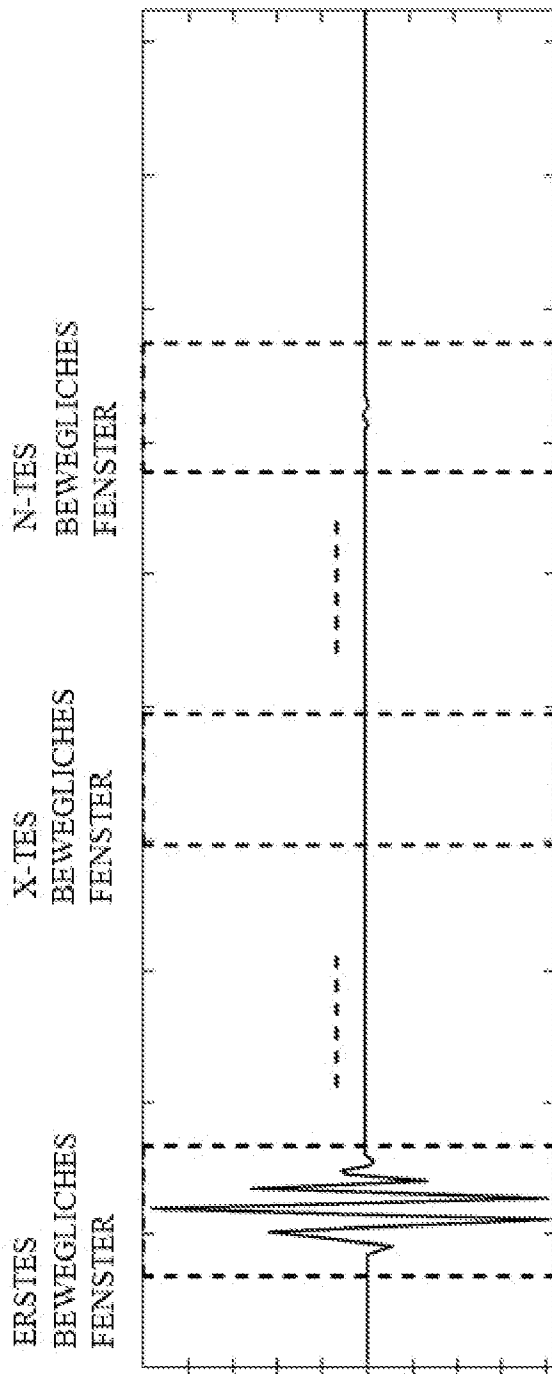


FIG. 6



WIGNER-VILLE-VERTEILUNGSANALYSE FÜR
JEDES BEWEGLICHE FENSTER

FIG. 7

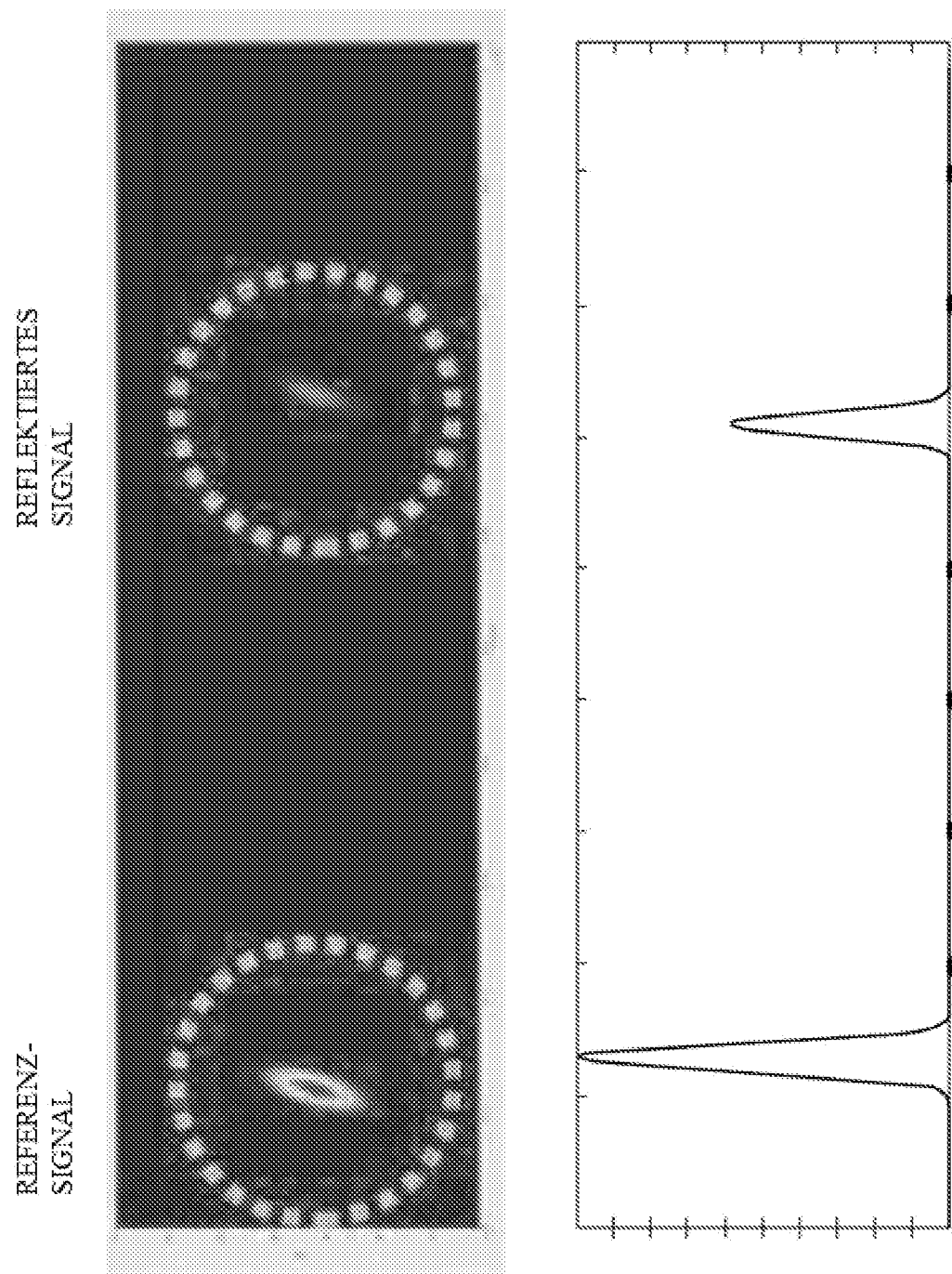


FIG. 8

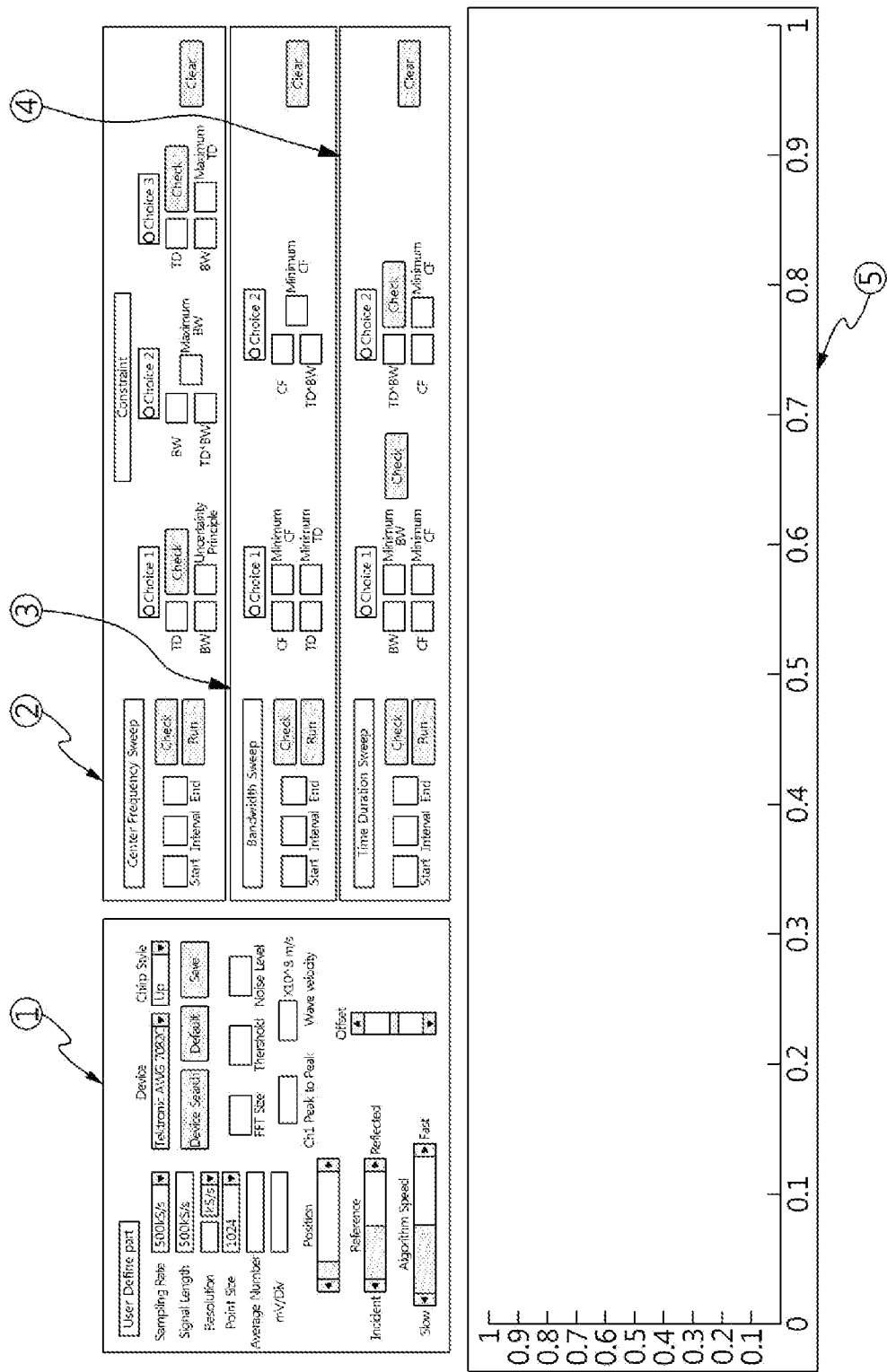


FIG. 9

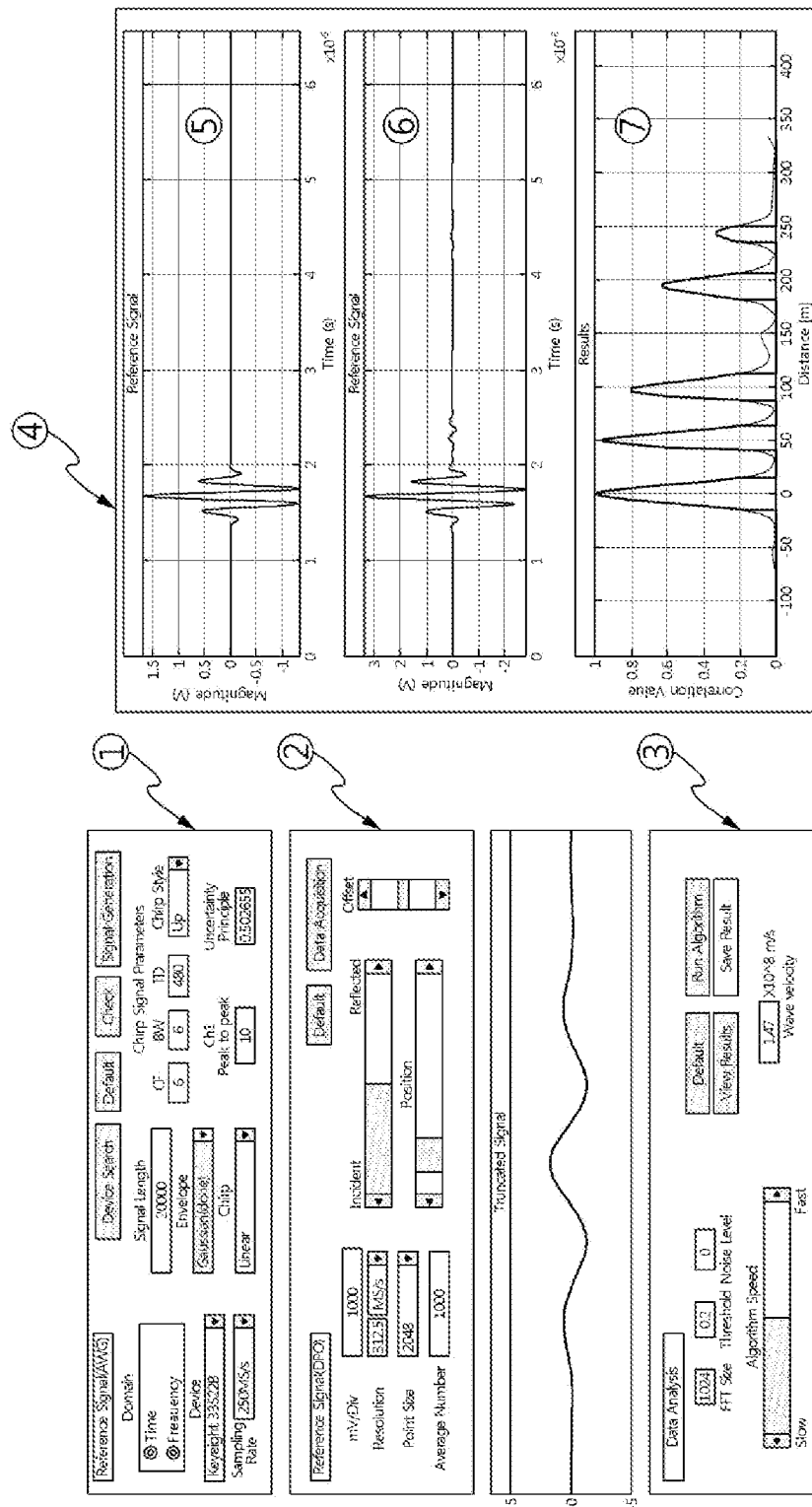


FIG. 10

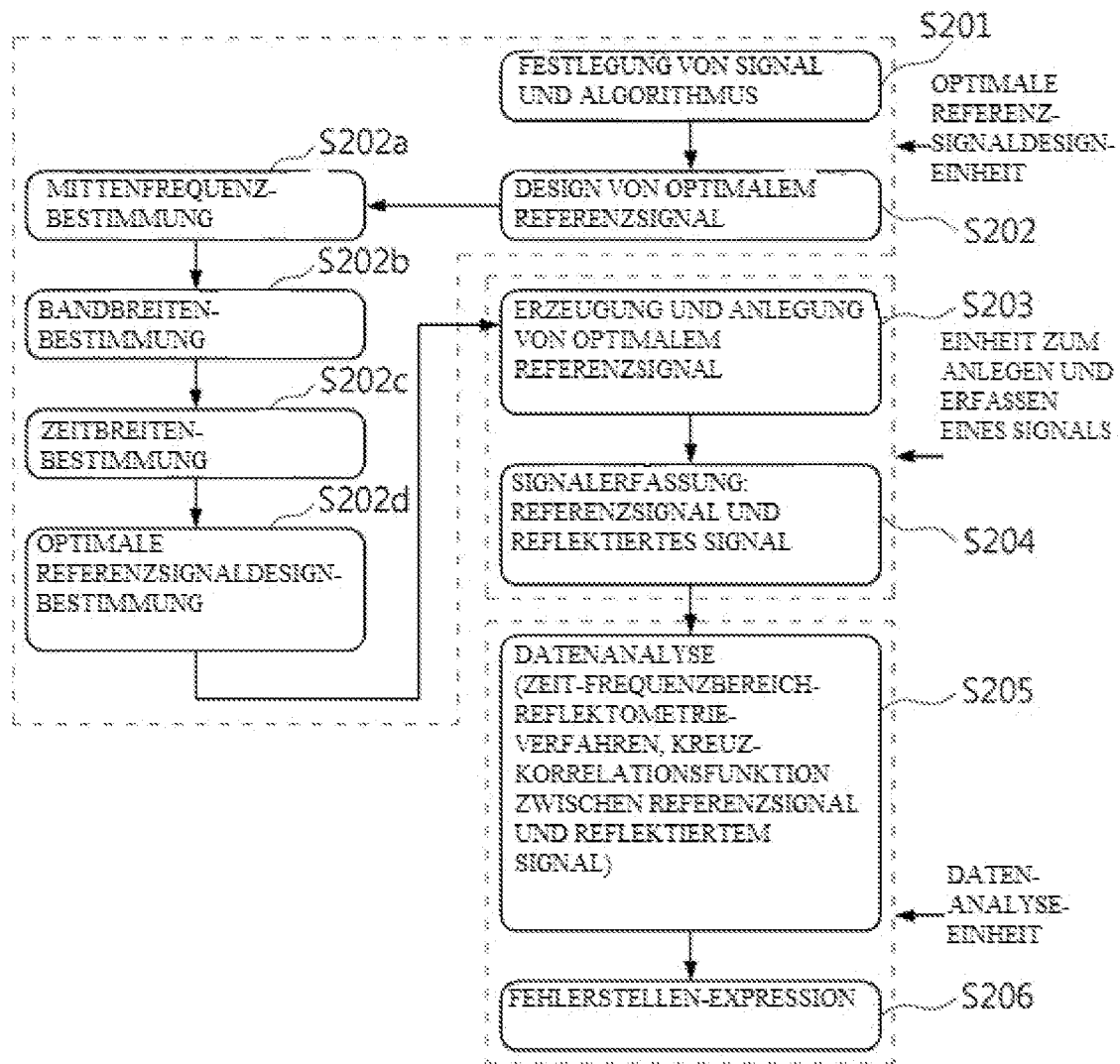


FIG. 11



FIG. 12

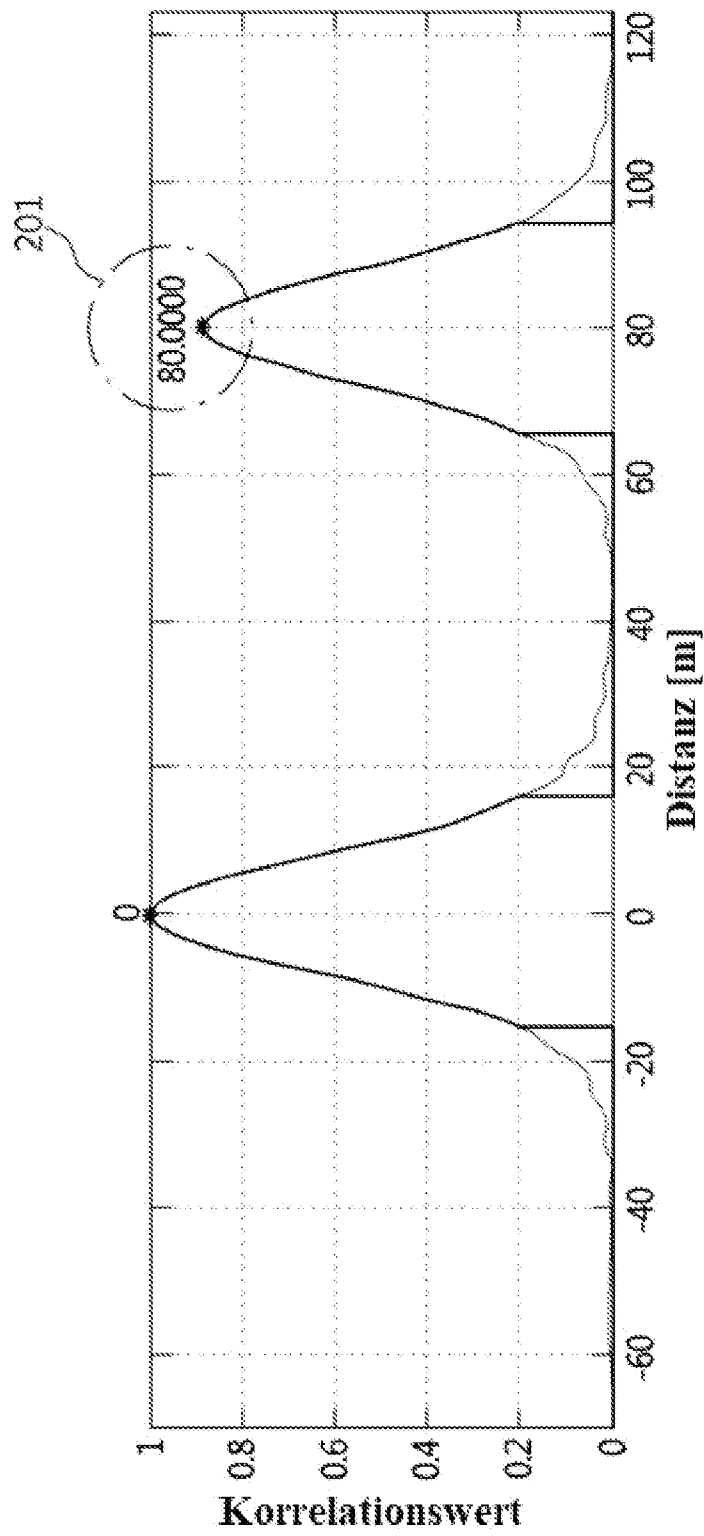


FIG. 13

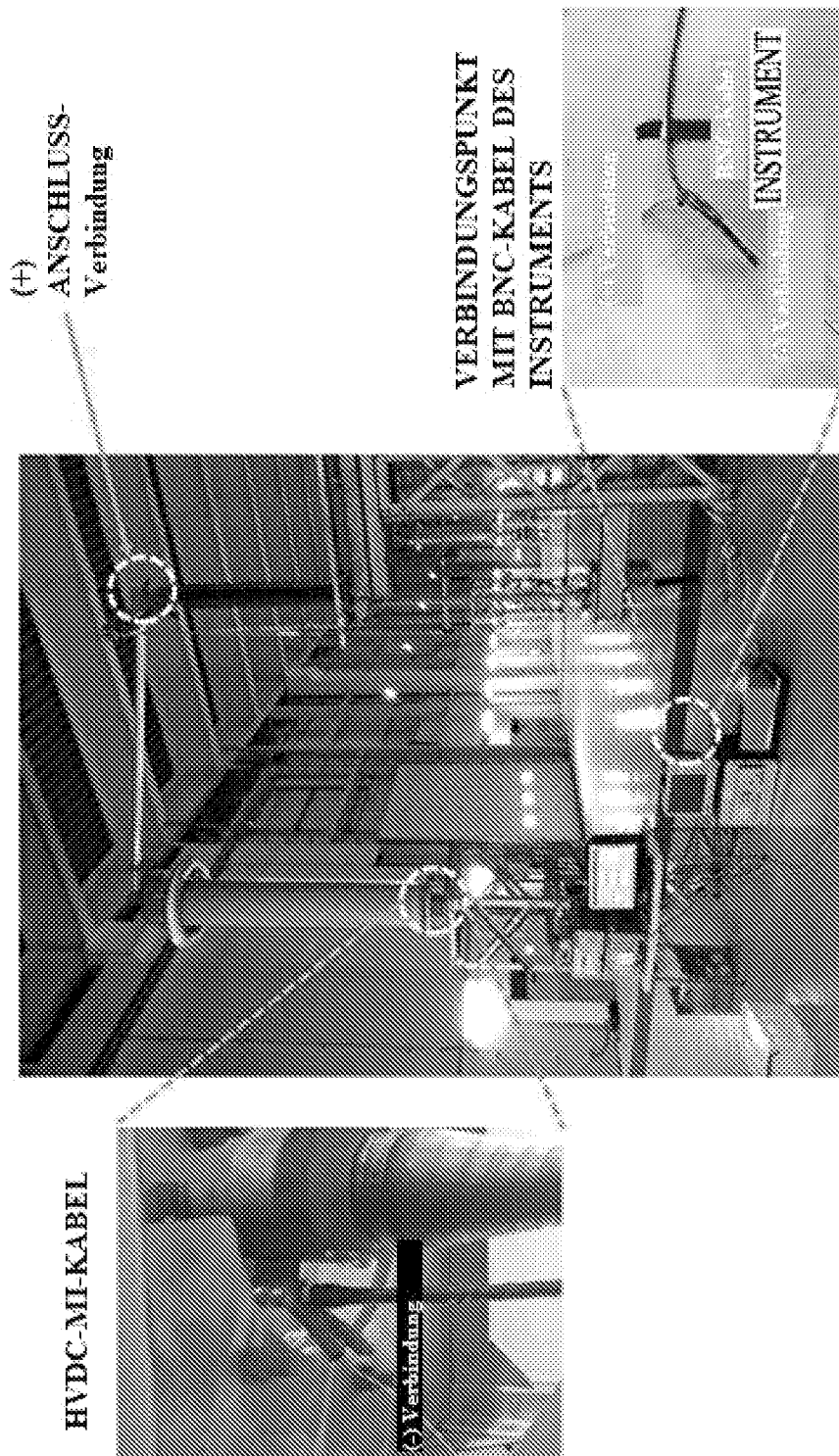


FIG. 14

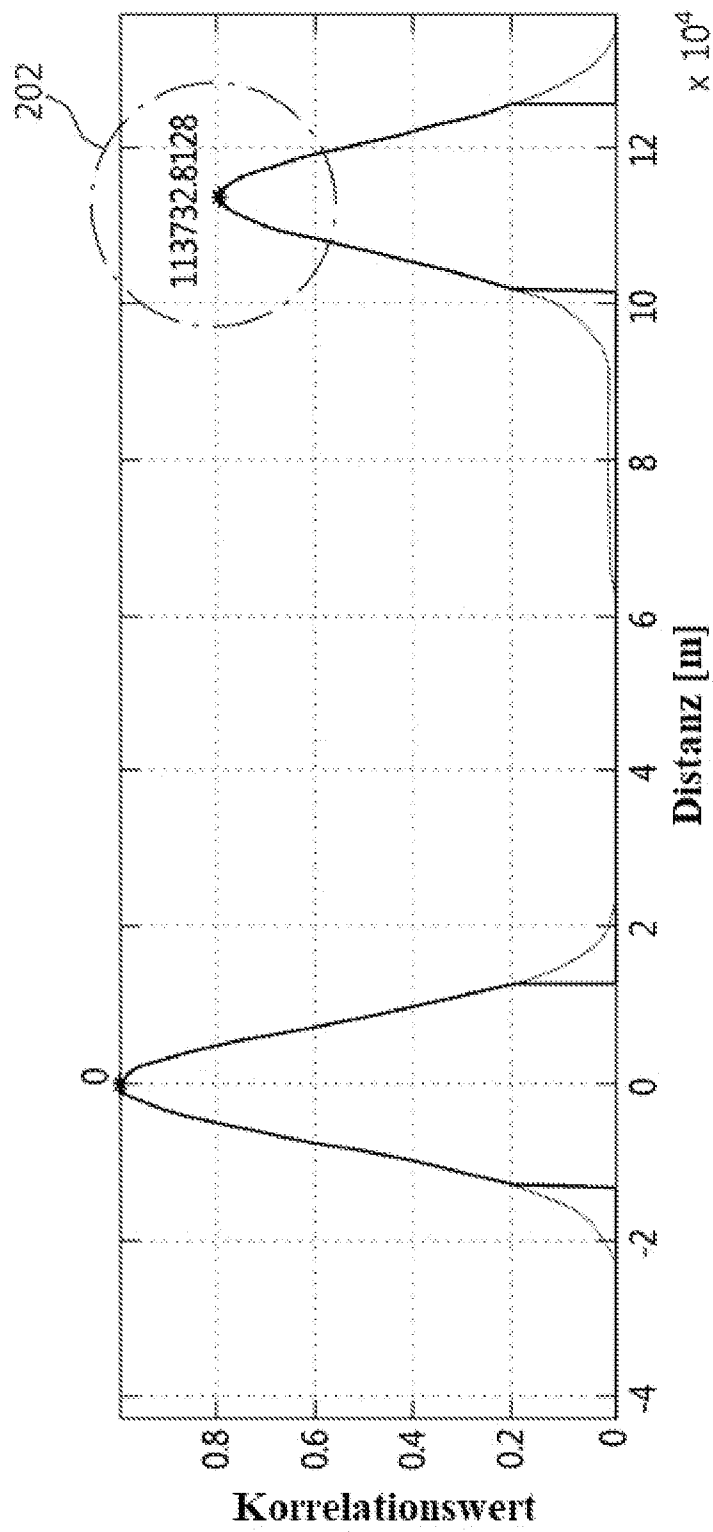


FIG. 15

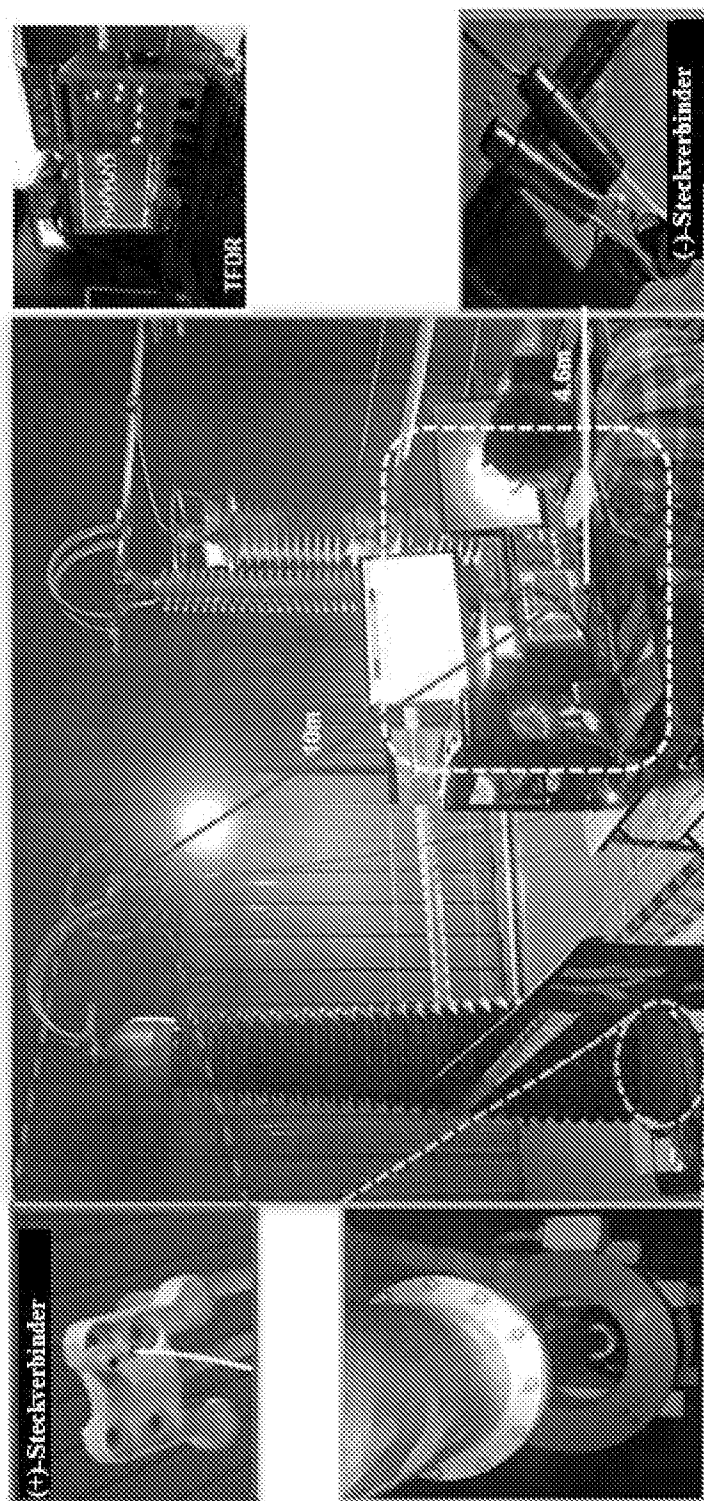


FIG. 16

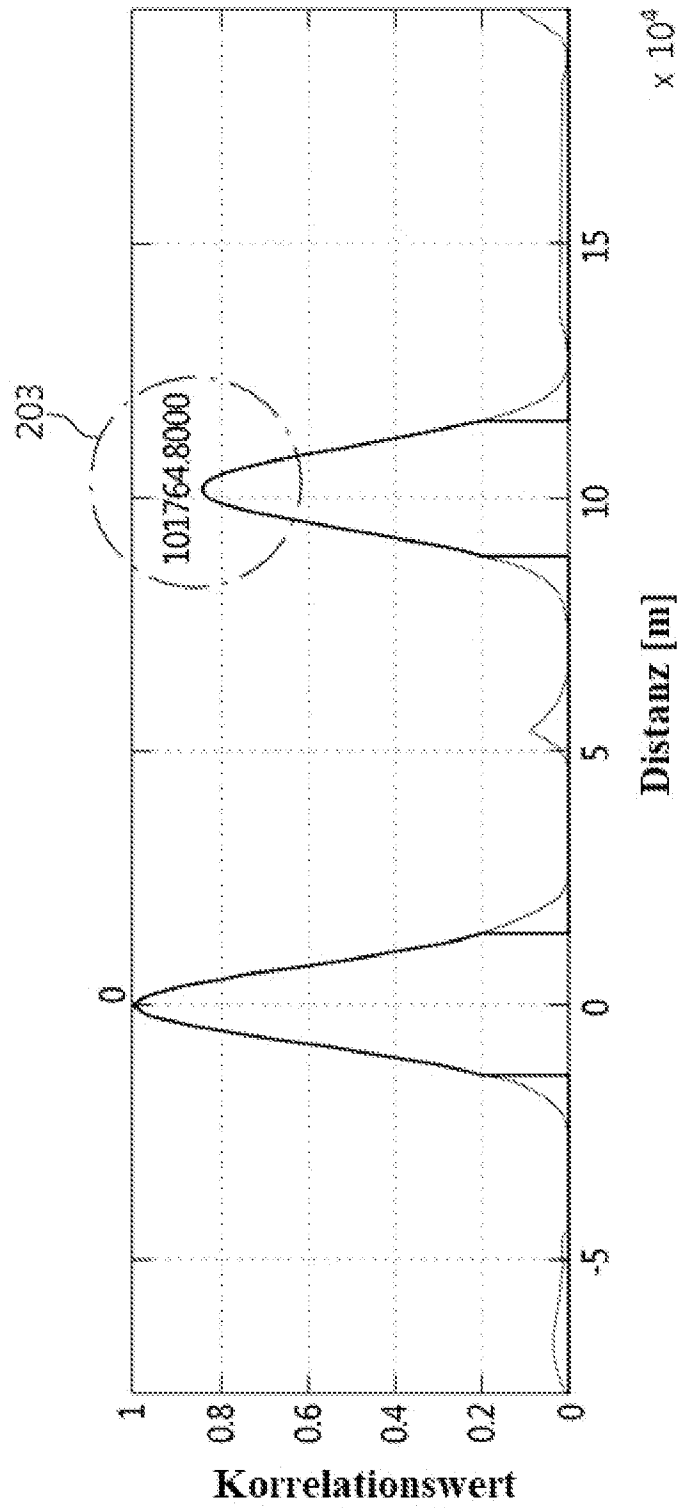


FIG. 17