



(10) **DE 10 2021 112 015 A1** 2022.11.10

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 112 015.2**

(22) Anmeldetag: **07.05.2021**

(43) Offenlegungstag: **10.11.2022**

(51) Int Cl.: **G01R 19/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Dipl.-Ing. H. Horstmann GmbH, 42579
Heiligenhaus, DE**

(72) Erfinder:

Burkhardt, Erwin, 59073 Hamm, DE

(74) Vertreter:

**KEENWAY Patentanwälte Neumann Heine Taruttis
Partnerschaftsgesellschaft mbB, 40212
Düsseldorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

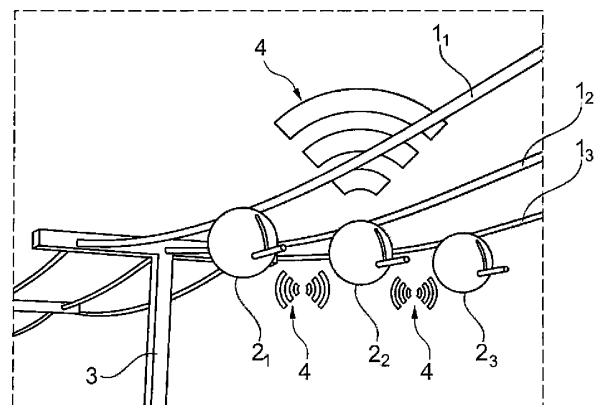
US	2011 / 0 074 436	A1
US	2012 / 0 046 799	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Autokalibrierungsverfahren für ein Spannungsmesssystem in Freileitungsanzeigern**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung sowie ein entsprechendes Verfahren zum Kalibrieren eines Spannungsmesssystems mit mehreren Freileitungsanzeigern.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine entsprechend eingerichtete Vorrichtung zum automatischen Kalibrieren von galvanisch erdenkoppelten Spannungsfeldsensoren für Freileitungsanzeiger.

[0002] Sensoren zur Ermittlung von Spannungen an Freileitungen für Spannungen von mehr als 400 V bis zu mehreren hundert kV sind aus dem Stand der Technik bekannt. Herkömmliche Sensoren für Hoch- und Höchstspannungen verwenden beispielsweise ohm'sche oder kapazitive Spannungsteiler oder induktive oder optische Wandler. Ohm'sche oder kapazitive Spannungsteiler weisen jedoch den Nachteil auf, dass diese galvanisch mit dem Bezugspotential, also typischerweise dem Erdpotential verbunden sein müssen. Induktive oder optische Wandler weisen den Nachteil auf, dass sie vergleichsweise komplex und damit teuer sind.

[0003] Weiterhin sind Spannungssensorkonzepte für Freileitungsanzeiger bekannt, die vor der ersten produktiven Nutzung kalibriert werden müssen. Für die Kalibrierung ist dafür jedoch die Geometrie der Freileitungsanordnung anzugeben, also die Höhe der Leiterseile über dem Erdboden, die Abstände der Leiterseile zueinander sowie die Leiterradien und wie die Leiterseile zueinander angeordnet sind.

[0004] Daher besteht Bedarf an einem verbesserten Freileitungsanzeigersystem, welches weniger Aufwand für die Kalibrierung der Spannungsmessung benötigt. Im Folgenden wird ein solches anhand der schematischen Figuren beschrieben. Dabei zeigen

Fig. 1 Freileitungsanzeiger mit Messaufnehmer 2a an einem Freileitungsleiterseil;

Fig. 2 schematische Darstellung eines Freileitungsanzeigers;

Fig. 3 schematische Darstellung eines Messaufnehmers im E-Feld eines Freileitungsleiterseils;

Fig. 4 Freileitungssystem mit 3 Freileitungsanzeigern;

Fig. 5 weitere Geometrien von Leiterseilanordnungen;

Fig. 6 Verfahren zur Ermittlung der Korrelation in Form einer Korrelationsmatrix K.

[0005] Herkömmliche Freileitungsanzeiger umfassen typischerweise eine Einrichtung zur Überwachung des Stroms durch eine Freileitung, um Fehlerzustände wie beispielsweise einen Überstrom im Falle eines Kurz- oder Erdschlusses erkennen und signalisieren zu können. Ein sogenannter Freileitungsanzeiger ist dabei typischerweise eine Vorrichtung

zur Ermittlung des Stroms durch eine Freileitung, die in einem kleinen Gehäuse an ein Leiterseil eines Freileitungssystems angehängt wird. Moderne Freileitungsanzeiger können darüber hinaus zur Messung der Spannung eines Freileitungsseils eingerichtet sein und dementsprechend anzeigen, ob eine Freileitung spannungsführend oder spannungsfrei ist. Damit kann ein solcher Freileitungsanzeiger auch einen Erdschluss erkennen, insbesondere in kompensierten Netzen, in welchen ohne eine Information zur Leiterseilspannung die Erkennung von Erdschlüssen schwierig ist.

[0006] Der Zusammenhang zwischen der Feldstärke \vec{E} eines elektrischen Feldes beispielsweise um ein Leiterseil und dem skalaren Potentialfeld ist bekannt als

$$\vec{E} = -\text{grad}(\varphi) \quad (1).$$

[0007] Bei einer gegebenen Feldstärke im Bereich um ein einziges Leiterseil kann damit das Potential eines Messaufnehmers, der in einem Abstand zu dem Leiterseil angeordnet ist, ermittelt und über einen hochohmigen oder hochimpedanten Widerstand gemessen werden. Der Messaufnehmer kann dabei stabförmig oder als Platte oder ringförmig ausgebildet und außerhalb des Gehäuses des Freileitungsanzeigers angeordnet sein oder als entsprechend geformte Fläche auf einer Platine.

[0008] Die E-Felder von Freileitungen eines Energieversorgungsnetzes können aufgrund der niedrigen Frequenzen von 50 Hz - 60 Hz als quasistationär betrachtet werden. Das gesamte Feld einer Anordnung von mehreren Freileitern ergibt sich als Überlagerung der Felder der einzelnen Leiter. Mit Kenntnis der Hochspannungspotentiale der Leiter lassen sich somit die elektrischen Felder einer Leiteranordnung ermitteln. Umgekehrt lassen sich mit Kenntnis der elektrischen Felder die Potentiale der Leiter einer Leiteranordnung ermitteln. Ebenso kann das Potential eines floatenden Messaufnehmers ermittelt werden, der an einem Leiterseil einer Freileitungsanordnung angeordnet ist, wie unten näher erläutert.

[0009] Dementsprechend korreliert die Feldstärke beispielsweise einer Anordnung von drei (Hochspannungs) Leitern mit den Potentialen der Leiter gemäß der Gleichung

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \varphi_{L1} \\ \varphi_{L2} \\ \varphi_{L3} \end{bmatrix}}_{\varphi_{HS}} = [K] \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} U_{\text{Sensor1}} \\ U_{\text{Sensor2}} \\ U_{\text{Sensor3}} \end{bmatrix}}_{\vec{U}_{\text{Sensor}}} \quad (2)$$

wobei φ_{L1} bis φ_{L3} die Potentiale der Leiterseile L1 bis L3 sind, U_{Sensor1} bis U_{Sensor3} Sensorspannungen der Spannungssensoren Sensor1 bis Sensor3 sind, die

jeweils in vordefiniertem Abstand zu einem der Leiterseile L1-L3 angeordnet sind, und Keine Korrelationsmatrix ist.

[0010] Die Sensorspannungen $U_{\text{Sensor}1}$ bis $U_{\text{Sensor}3}$ werden dabei von Sensoren gemessen, die jeweils in unmittelbarer Nähe eines Freileitungsseils angeordnet sind. Dabei ist die Sensorspannung U_{Sensor} die Differenz des Potentials des in einem Abstand zu einem Leiterseil angeordneten Messaufnehmers zu dem Potential des (Hochspannungs)Leiters.

[0011] Fig. 1 zeigt schematisch einen Freileitungsanzeiger 2, der in unmittelbarer Nähe zu einem Leiterseil 1 angeordnet ist. Ein Freileitungsanzeiger 2 hängt dabei bevorzugt an einem Freileitungsseil 1. Die mehreren Freileitungsanzeiger zur Überwachung der mehreren Leiterseile eines mehrphasigen Systems hängen dementsprechend an einem jeweiligen Leiter.

[0012] Wie in Fig. 2 schematisch gezeigt, umfasst ein Freileitungsanzeiger einen Messaufnehmer 2a, wobei der Freileitungsanzeiger 2 so ausgestaltet ist, dass der Messaufnehmer 2a im Betrieb bevorzugt parallel zu der Freileitung 1 angeordnet ist. Der Messaufnehmer 2a des Freileitungsanzeigers 2 ist über einen hochohmigen oder hochimpedanten Messwiderstand 2b mit dem Leiterseil 1 verbunden und hat dementsprechend idealerweise ein floatendes Potential.

[0013] Ein Freileitungsanzeiger 2 umfasst neben einem Messaufnehmer 2a einen Sensor 2c zur Ermittlung einer Sensorspannung $U_{\text{Sensor}1}$ welche die Potentialdifferenz zwischen dem Potential des Messaufnehmers 2a und dem jeweiligen Leiterseil 1 ist. Diese Sensorspannung wird in einer Ausführungsform von einer Abtastvorrichtung über die hochohmige Verbindung, beispielsweise über einen Messwiderstand 2b, zwischen dem Messaufnehmer 2a und dem Leiterseil 2 ermittelt.

[0014] Fig. 3 zeigt die Anordnung eines solchen Messaufnehmers 2a im E-Feld eines Leiterseils 1. Darin bezeichnet φ_{Hs} das Potential des (Hochspannungs)Leiterseils, φ_{Sensor} das Potential des Messaufnehmers 2a und U_{Sensor} die ermittelte Spannung zwischen dem Messaufnehmer 2a und dem jeweiligen Leiterseil 1, mit dem der Messaufnehmer des Freileitungsanzeigers über die hochohmige Verbindung verbunden ist.

[0015] Bevorzugt ermittelt der Sensor 2c eines jeweiligen Freileitungsanzeigers 2 die Spannung U_{Sensor} als digitalen Wert, d.h. der Sensor tastet die Spannung ab und stellt einen entsprechenden Wert einer Sensorspannung zusammen mit dem Zeitpunkt der Abtastung für eine Übertragung und zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Der Freileitungsanzei-

ger 2 weist eine dazu notwendige und an sich bekannte Einrichtung 2c zur Abtastung, Digitalisierung und Verarbeitung auf.

[0016] Das Freileitungsanzeigersystem umfasst für jedes spannungsführende Leiterseil 1 einen oben beschriebenen Freileitungsanzeiger 2. Die Freileitungsanzeiger sind mittels eines Kommunikationsmoduls 2d kommunikativ mit einer zentralen Verarbeitungsstelle verbunden. Diese Verarbeitungsstelle erhält dabei die von den jeweiligen Freileitungsanzeigern ermittelten Sensorspannungen und ist dazu eingerichtet, die Sensorspannungen zu verarbeiten und ermittelte Ergebnisse an weitere Stellen, beispielsweise an eine Leitwarte eines Energieversorgungsnetzes, zu übertragen. Die zentrale Verarbeitungsstelle kann dabei in einem der Freileitungsanzeiger eingerichtet sein, sodass dieser eine Funktion als Master hat.

[0017] Fig. 4 zeigt eine Anordnung von drei Leiterseilen 1_1 , 1_2 und 1_3 an einem Strommast 3. An jedem der Leiterseile ist jeweils ein Freileitungsanzeiger 2 angeordnet, hier entsprechend der Leiterseile als 2_1 , 2_2 und 2_3 bezeichnet, wobei der Freileitungsanzeiger 2_2 hier als Master eingerichtet ist. Das Kommunikationsmodul 2d ist bevorzugt eine Einrichtung zur drahtlosen Kommunikation und verbindet einen jeweiligen Spannungsanzeiger mit dem Master, bevorzugt mittels eines drahtlosen Übertragungsverfahrens wie beispielsweise einer Bluetooth-Verbindung. In der Fig. 4 ist eine solche oder entsprechende Funkverbindung 4 zwischen den Freileitungsanzeigern 2 durch die Funkwellen schematisch dargestellt. Weiterhin ist bevorzugt ein Freileitungsanzeiger zur Kommunikation mit einer weiteren Stelle eingerichtet und konfiguriert, beispielsweise über ein Mobilfunknetz mit einer Leitstelle in dem Energieversorgungsnetz, die nicht in den Figuren eingezeichnet ist.

[0018] Das hier exemplarisch beschriebene System umfasst drei spannungsführende Leiter 1_1 , 1_2 und 1_3 . An jedem spannungsführenden Leiter ist ein jeweiliger Freileitungsanzeiger mit einem Spannungssensor angebracht. Die Freileitungsanzeiger sind kommunikativ miteinander verbunden, so dass sie Daten senden und empfangen können und insbesondere abgetastete Sensorspannungen und dazugehörige Abtastzeitpunkte übertragen können. Dabei dient einer der Freileitungsanzeiger, hier der an der mittleren Freileitung angeordnete Freileitungsanzeiger, als sogenannter Master hinsichtlich der Kommunikation und der Auswertung der ermittelten Sensorspannungen. Die beiden anderen Spannungsanzeiger sind dementsprechend als Slave eingerichtet, sodass diese die ermittelten Sensorspannungen an den als Master konfigurierten Freileitungsanzeiger liefern.

[0019] Die Freileitungsanzeiger sind jeweils so eingerichtet und konfiguriert, dass sie synchron, d.h. zum gleichen Zeitpunkt, die jeweilige Sensorspannung ermitteln. Die beiden als Slave eingerichteten Freileitungsanzeiger teilen ihre jeweilige zu einem Zeitpunkt ermittelten Messspannungswerte U_{Sensor} sowie den Abtastzeitpunkt dem als Master eingerichteten Freileitungsanzeiger mit.

[0020] Während des normalen Betriebs kann der Master die Potentiale der Leiterseile des Systems basierend auf der Korrelationsmatrix K und den gemessenen Sensorspannungen ermitteln, siehe oben Gleichung (2). Dazu ist jedoch zunächst die Korrelation zwischen den Sensorspannungen und den Leiterseilpotentialen in Form einer Korrelationsmatrix K zu ermitteln.

[0021] Nach Umformung der Gleichung (2) erhält man für die Korrelationsmatrix K

$$[K] = \bar{\varphi}_{HS} \cdot \bar{U}_{\text{Sensor}}^T \cdot (\bar{U}_{\text{Sensor}} \cdot \bar{U}_{\text{Sensor}}^T)^{-1} \quad (3)$$

[0022] Die Korrelationsmatrix $[K]$ kann somit basierend auf den ermittelten Sensorspannungen U_{Sensor} , also $U_{\text{Sensor}1}$, $U_{\text{Sensor}2}$ und $U_{\text{Sensor}3}$, und den Potentialen $\bar{\varphi}_{HS}$ der Leiterseile ermittelt werden. Damit kann bei der Inbetriebnahme eines solchen Systems mit mehreren Freileitungsanzeigern die Korrelationsmatrix ermittelt werden, sobald die Sensorspannungen \bar{U}_{Sensor} und die Potentiale $\bar{\varphi}_{HS}$ der Leiterseile zu einem Zeitpunkt vorliegen.

[0023] Der Master der Spannungsanzeiger ist weiterhin dazu vorgesehen und eingerichtet, die Korrelationsmatrix $[K]$ aus übermittelten Sensorspannungen U_{Sensor} und den Leiterseilpotentialen $\bar{\varphi}_{HS}$ zu errechnen. Der Master weist dazu einen digitalen Signalprozessor sowie Speicher auf und ist dazu eingerichtet und konfiguriert, um aus den Daten die Korrelationsmatrix zu $[K]$ ermitteln.

[0024] Fig. 5 zeigt Anordnungen a-e von jeweils drei typischen Mittelspannungsfreileitungen 1_1 , 1_2 und 1_3 , die jeweils mittels Isolatoren 5 an einem Mast angeordnet sind. Der Mast befindet sich auf der Erde, sodass die Montagehöhe der Freileitungen dem Abstand zum Erdpotential entspricht.

[0025] In der Anordnung a sind alle drei Freileitungen 1_1 , 1_2 und 1_3 in einer gemeinsamen horizontalen Ebene nebeneinander angeordnet, wobei der Abstand der beiden äußeren Freileiter 1_1 und 1_3 zu dem mittleren Freileiter 1_2 gleich ist. Die Felder der Freileiter 1_1 und 1_3 bewirken eine Erhöhung der Spannungsamplitude in dem mittleren Freileiter 1_2 . Aufgrund der Symmetrie der Leiteranordnung und unter der Annahme gleicher Leiterseilspannungsamplituden bewirken die Felder der Leiterseile 1_1 und 1_3

keine Phasenverschiebung am Ort des Leiterseils 1_2 und ebenso am Ort des Messaufnehmers eines am Leiterseil 1_2 angeordneten Freileitungsanzeigers (nicht eingezeichnet in der Figur). Die von dem Freileitungsanzeiger, der an dem mittleren Freileitungsseil 1_2 angeordnet ist, ermittelte Sensorspannung $U_{\text{Sensor}2}$ ermittelte Spannung ist daher in Phase mit der Spannung des mittleren Leiterseils 1_2 . Für die Sensorspannungen der beiden äußeren Leiter 1_1 und 1_3 wurde jedoch bei typischen Leiterabständen eine Phasenverschiebung um 5° bis 6° ermittelt.

[0026] Obwohl in der Leiterseilanordnung b ebenso alle drei Leiter in einer gemeinsamen horizontalen Ebene angeordnet sind, hebt sich die Wirkung der Felder der beiden äußeren Leiter 1_1 und 1_3 am Ort des Leiterseils 1_2 oder am Ort des Messaufnehmers eines an diesem Leiterseil angeordneten Freileitungsanzeigers nicht auf, da der Abstand des mittleren Leiters 1_2 zu den beiden äußeren Leitern 1_1 und 1_3 nicht gleich ist. Dementsprechend ist eine Sensorspannung, die ein an dem mittleren Leiterseil 1_2 hängender Freileitungsanzeiger ermittelt, phasenverschoben gegenüber der Spannung des mittleren Leiterseils 1_2 .

[0027] Die in c schematisch dargestellte Anordnung zeigt schematisch eine Anordnung von drei Freileitern im Dreieck, wobei die Leiter in jeweils unterschiedlicher Höhe über der Erde angeordnet sind, und wobei zwei Leiterseile vertikal übereinander angeordnet sind. Auch bei dieser Anordnung heben sich die elektrischen Felder der Leiter 1_1 und 1_3 am Orte des Leiters 1_2 oder am Orte eines Freileitungsanzeigers, der an dem Leiter angebracht ist, nicht auf. Eine ermittelte Sensorspannung eines am Leiter 1_2 angebrachten Freileitungsanzeigers ist beispielsweise um $1,46^\circ$ phasenverschoben zu der Spannung des Leiters 1_2 .

[0028] Anordnung d zeigt eine Anordnung von drei auf einer gedachten vertikalen Achse übereinander angeordneten Leitern 1_1 bis 1_3 . Obwohl die beiden äußeren Leiter 1_1 und 1_3 in demselben Abstand zu dem mittleren Leiter 1_2 angeordnet sind, gleichen sich die Felder der beiden äußeren Leiter nicht am Orte des mittleren Leiterseils und auch nicht am Orte eines am mittleren Leiterseil angebrachten Freileitungsanzeigers aus, weil die drei Leiter mit unterschiedlichen Abständen zur Erde angeordnet sind. Die von einem am mittleren Leiterseil 1_2 angeordneten Freileitungsanzeiger ermittelte Sensorspannung ist damit phasenverschoben zur Spannung des mittleren Leiterseils.

[0029] Ebenso ist auch für die in e gezeigte Anordnung von Leitern im Dreieck eine jede von einem entsprechenden Freileitungsanzeiger ermittelte Sensorspannung phasenverschoben gegenüber der jeweiligen Leiterseilspannung.

[0030] Für die verschiedenen Anordnungen a bis e wurde die Phasendifferenz zwischen dem Potential des mittleren Leiters und der Sensorspannung eines daran angebrachten Freileitungsanzeigers $\Delta\varphi_{L2/sensor2}$ anhand einer Simulation errechnet und tatsächlich gemessen.

[0031] Die ermittelten Abweichungen für die Phasendifferenz $\Delta\varphi_{L2/Sensor2}$ zwischen der Spannung des mittleren Leiterseils 1_2 und der Sensorspannung eines an diesem Seil angeordneten Freileitungsanzeigers können mit guter Näherung mit folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\Delta\varphi_{L2/Sensor2} = \frac{1}{3} \cdot (\varphi_{21} + \varphi_{23}) \quad (4)$$

wobei φ_{21} und φ_{23} die um jeweils 120° bereinigten Phasendifferenzen zwischen den Sensorspannungen der beiden äußeren Leiter $1_1, 1_3$ zu dem mittleren Leiter 1_2 sind.

[0032] Dabei hat sich gezeigt, dass mit Ausnahme der in Anordnung d dargestellten vertikalen Anordnung, in der die Phasendifferenzen nach Anwenden der Formel (4) ca. 1° betragen, alle anderen Leiterseilanordnungen deutlich geringere Abweichungen aufweisen.

[0033] Die Phasendifferenzen φ_{21} und φ_{23} können dabei in bekannter Weise aus den Sensorspannungen ermittelt werden, sodass auch die Phasendifferenz $\Delta\varphi_{L2/Sensor2}$ in einfacher Weise berechnet werden kann. Mit diesem Zusammenhang zwischen den ermittelten Sensorspannungen und der Leiterseilspannung des mittleren Leiters kann die Korrelation zwischen den Sensorspannungen und Leiterseilspannungen bestimmt werden.

[0034] Fig. 6 zeigt schematisch ein solches Verfahren zur Ermittlung der Korrelationsmatrix [K].

[0035] Die Ermittlung der Korrelationsmatrix [K] kann in einer beliebigen dafür eingerichteten Vorrichtung durchgeführt werden, welche für die Speicherung der Werte und Ergebnisse einen geeigneten Speicher sowie einen digitalen Signalprozessor aufweist. In einer bevorzugten Ausführungsform weist ein erfindungsgemäßer Freileitungsanzeiger, vorzugsweise der Master 2_2 eine entsprechende Einrichtung für die Speicherung der digitalen Daten und die Durchführung der Ermittlung der Korrelationsmatrix [K] auf.

[0036] Zu Beginn des Verfahrens wird der zentralen Auswertestelle, also dem Master der Freileitungsanzeiger 2_2 , die Information bereitgestellt, welcher Freileitungsanzeiger an dem mittleren Leiter angeordnet ist. In einer Ausführungsform kann diese Information durch einen Bediener in das System eingegeben werden.

[0037] Das Verfahren beginnt mit dem Ermitteln der Sensorspannungen $U_{Sensor1}$ bis $U_{Sensor3}$, siehe Schritt 6.1. Dabei erfasst der Sensor $2c$ eines erfindungsgemäßen Freileitungsanzeigers die Spannung U_{Sensor} über mindestens eine volle Periode, sodass die abgetasteten Werte der Sensorspannungen $U_{Sensor1}$ bis $U_{Sensor3}$ jeweils auch einen Nulldurchgang erfassen. Die ermittelten Werte U_{Sensor} werden dabei zusammen mit dem Zeitpunkt der Ermittlung, also mit dem Zeitpunkt der Abtastung erfasst, wobei die Uhrzeiten der Sensoren $2c$ der Freileitungsanzeiger zeitlich synchronisiert sind. Das Ermitteln der Werte für U_{Sensor} findet vorzugsweise mit einer Takt rate von mindestens 1 kHz statt.

[0038] Anschließend übertragen die Freileitungsanzeiger $2_1, 2_2$ und 2_3 die ermittelten Sensorspannungen, d.h. die Abtastwerte sowie die dazugehörigen Zeitpunkte der Abtastung an die zentrale Auswertestelle, siehe Verfahrensschritt 6.2. Sofern die zentrale Auswertestelle einer der Freileitungsanzeiger des Systems und damit der Master ist, übertragen die Satelliten ihre jeweils abgetasteten Sensorspannungswerte und die Abtastzeitpunkte an den Master.

[0039] Die zentrale Auswertestelle ermittelt dann, siehe Schritt 6.3, die Phasendifferenz der Sensorspannung $U_{Sensor2}$ des mittleren Leiters zu der Spannung bzw. dem Potential des mittleren Leiters 2_2 für den Zeitpunkt des Nulldurchgangs der Sensorspannung. Für die a und e gezeigten Leiteranordnungen ist dabei bekannt, dass die Phasendifferenz Null ist, d.h. die gemessene Sensorspannung des mittleren Leiters ist in Phase mit der Seilspannung des mittleren Leiters. Für die Anordnungen b und c kann die Phasendifferenz zwischen Sensorspannung und Leiterseilspannung mittels der oben angegebenen Gleichung (4) ermittelt werden.

[0040] Die Nennspannung der Leiterseile wird in einem weiteren Schritt, siehe Verfahrensschritt 6.4, anhand der Höhe der Sensorspannung des mittleren Leiters abgeschätzt werden. Da die Sensorspannung eines Freileitungsanzeigers wie oben gezeigt im Wesentlichen von der Feldstärke des E-Feldes um den Leiter abhängt, und das E-Feld am Ort des Messaufnehmers von der Spannung des Leiterseils und dem Abstand des Messaufnehmers vom Leiterseil abhängt, kann aufgrund der ermittelten maximalen Sensorspannung und des bekannten Abstands des Messaufnehmers vom Leiterseil die Nennspannung des Leiters abgeschätzt werden. In einer Ausführungsform wird daher die Höhe der Nennspannung basierend auf der Sensorspannung, einer Tabelle und festgelegten Grenzwerten ermittelt. Überschreitet beispielsweise eine Sensorspannung einen vordefinierten Grenzwert, so wird die Nennspannung des Leiterseils anhand einer Tabelle ermittelt, da die Nennspannungen typischerweise diskrete Werte annehmen.

[0041] Damit ist der Phasenverlauf der Leiterseilspannung des mittleren Leiterseils 1_2 mit Bezug auf die Sensorspannung des mittleren Leiters bekannt, ebenso die Amplitude der Nennspannung des Leiterseils.

[0042] Für die weiteren Schritte des Verfahrens wird angenommen, dass die Phasen der beiden anderen Leiterspannungen ideal um 120° phasenverschoben zur Spannung des mittleren Leiters sind und die Amplitude derjenigen der Spannung des mittleren Leiterseils entspricht.

[0043] Damit sind dem Master die Sensorspannungen $U_{\text{Sensor}1}$ bis $U_{\text{Sensor}3}$ sowie alle drei Leiterseilspannungen zum Zeitpunkt $t=To$, also zum Zeitpunkt des Nulldurchgangs der Sensorspannung $U_{\text{Sensor}2}$ bekannt, sodass die Korrelation zwischen den Leiterseilspannungen und den Sensorspannungen in Form einer Korrelationsmatrix [K] anhand der Gleichung (3) ermittelt werden kann.

[0044] Das System der mehreren Freileitungsanzeiger 2_1 , 2_2 und 2_3 ist damit für den Zeitpunkt der Ermittlung der Sensorspannungen kalibriert, d.h. die Korrelation zwischen den Sensorspannungen und den Leiterseilspannungen ist bestimmt.

[0045] Damit können ab dem Zeitpunkt der Kalibrierung des Freileitungssystems die Spannungen und Phasen der Freileiter basierend auf der ermittelten Korrelation zwischen den Sensorspannungen und den Leiterseilpotentialen, also der Korrelationsmatrix [K] ermittelt werden, sodass das Freileitungssystem überwacht werden kann.

Bezugszeichenliste

- | | |
|---|---|
| 1 | Freileitungsleiterseil |
| 2 | Freileitungsanzeiger mit Messaufnehmer 2a, Messwiderstand 2b, Einrichtung 2c zur Abtastung, Digitalisierung und Verarbeitung von Spannungswerten und Kommunikationsmodul 2d |
| 3 | Strommast |
| 4 | Kommunikationsverbindung |
| 5 | Isolator |
| 6 | Verfahren zur Ermittlung der Korrelation |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Korrelation zwischen Potentialen der Leiterseile (1) eines mehrphasigen Freileitungssystems und jeweiligen Sensorspannungen, wobei eine Sensorspannung die Potentialdifferenz zwischen dem Potential eines Leiterseils (1) und dem Potential eines in vordefiniertem Abstand zu dem jeweiligen Leiterseil (1) ange-

ordneten Messaufnehmers ist, umfassend die Verfahrensschritte

- Messen der Sensorspannung für jedes Leiterseil (1) des Freileitungssystems, und
- Übertragen der gemessenen Sensorspannung eines jeden Leiterseils (1) an eine zentrale Auswertestelle, und
- Ermitteln der Phasendifferenz zwischen der Leiterseilspannung und der Sensorspannung des mittleren Leiters, und
- Ermitteln der Korrelation zwischen den Potentialen der Leiterseile (1) und den Sensorspannungen basierend auf den gemessenen Sensorspannungen und den Leiterseilpotentialen und Phasenverschiebungen zwischen den Sensorspannungen und den Leiterpotentialen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für eine Anordnung von drei spannungsführenden und in einer gemeinsamen horizontalen Ebene angeordneten Leiterseilen, von denen die beiden äußeren Leiterseile zum mittleren Leiterseil gleichmäßig beabstandet sind, eine Phasenverschiebung zwischen der Sensorspannung und dem Potential des mittleren Leiters ein Wert von 0° angenommen ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für eine Anordnung von drei spannungsführenden, gleichmäßig beabstandeten Leiterseilen, von denen zwei in einer gemeinsamen horizontalen Ebene angeordnet sind, eine Phasenverschiebung zwischen der Sensorspannung und dem Potential des mittleren Leiters ein Wert von 0° angenommen ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 mit dem weiteren Verfahrensschritt:

Ermitteln einer Phasendifferenz $\Delta\varphi_{L2/\text{Sensor}2}$ zwischen der Sensorspannung und der Leiterseilspannung des mittleren Leiters 2_2 gemäß der Gleichung

$$\Delta\varphi_{L2/\text{Sensor}2} = \frac{1}{3} \cdot (\varphi_{21} + \varphi_{23}),$$

wobei φ_{21} und φ_{23} die um 120° bereinigten Phasendifferenzen zwischen den Sensorspannungen der beiden äußeren Leiter 1_1 , 1_3 zu dem mittleren Leiter 1_2 sind, wenn mindestens zwei Leiterseile mit horizontalem Abstand zueinander angeordnet sind.

5. Verfahren nach Anspruch 1 mit dem weiteren Verfahrensschritt:

Ermitteln einer Phasendifferenz $\Delta\varphi_{L2/\text{sensor}2}$ zwischen der Sensorspannung und der Leiterseilspannung des mittleren Leiters (2_2) basierend auf der Differenz der Phasen der Sensorspannung des Sensors am mittleren Leiterseil (1_2) zu den Sensorspannungen der beiden äußeren Leiterseile (1_1 , 1_3),

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Sensorspannung mit einer Abtastrate von mindestens 1 kHz abgetastet wird,

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Bereitstellen von Sensorspannungen eines Freileitungsleiterseils ein drahtloses Übertragen der Sensorspannungen und zugehöriger Abtastzeitpunkte umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Ermitteln der Korrelation in einem Freileitungsanzeiger (2) ausgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der ermittelte Abtastwert einer Sensorspannung von einem ersten Freileitungsanzeiger an einen weiteren Freileitungsanzeiger kommuniziert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der ermittelte Abtastwert einer Sensorspannung zusammen mit dem Zeitpunkt der Abtastung kommuniziert wird.

11. Freileitungsanzeigersystem zum Ermitteln einer Korrelation eines Freileitungsleiterseils (1) einer Freileitung mit 3 spannungsführenden Leitern, wobei das System umfasst:

für jedes der spannungsführenden Freileitungsleiterseile (1_1 , 1_2 , 1_3) einen jeweiligen Messaufnehmer, der in einem vordefinierten Abstand zu dem jeweiligen Freileitungsleiterseil angeordnet und über einen hochohmigen Messwiderstand (2b) mit dem Freileitungsleiterseilverbunden ist, und

für jedes der spannungsführenden Freileitungsleiterseile (1_1 , 1_2 , 1_3) eine Messeinrichtung (2c), welche die über den hochohmigen Messwiderstand (2b) abfallende Spannung ermittelt, und

eine Einrichtung zur Ermittlung der Korrelation zwischen der Spannung eines jeweiligen Freileitungsleiterseils (1_1 , 1_2 , 1_3) gemäß einem Verfahren nach Anspruch 1 und basierend auf den über die hochohmigen Messwiderstand (2b) abfallenden Spannungen und der Korrelation der Spannungen Freileitungsleiterseile (1_1 , 1_2 , 1_3) und der Spannungen über den jeweiligen Messwiderstand (2b).

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei ein Freileitungsanzeiger (2) einen parallel zum jeweiligen Freileitungsleiterseil (1) angeordneten Messaufnehmer (2a) aus elektrisch leitendem Material umfasst.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei der Messaufnehmer (2a) ringförmig oder stabförmig oder als planare Platte ausgebildet ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

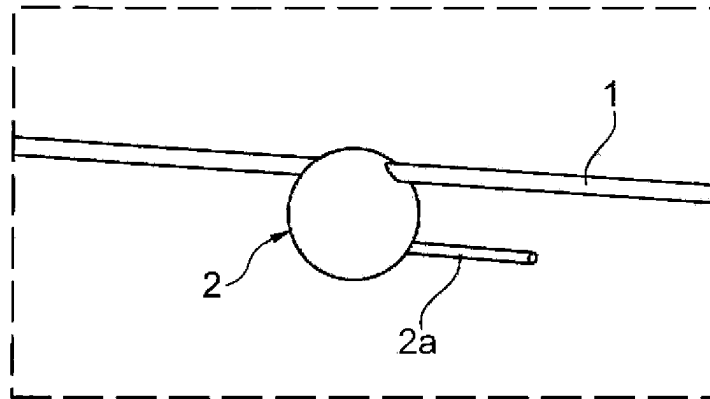


Fig. 1

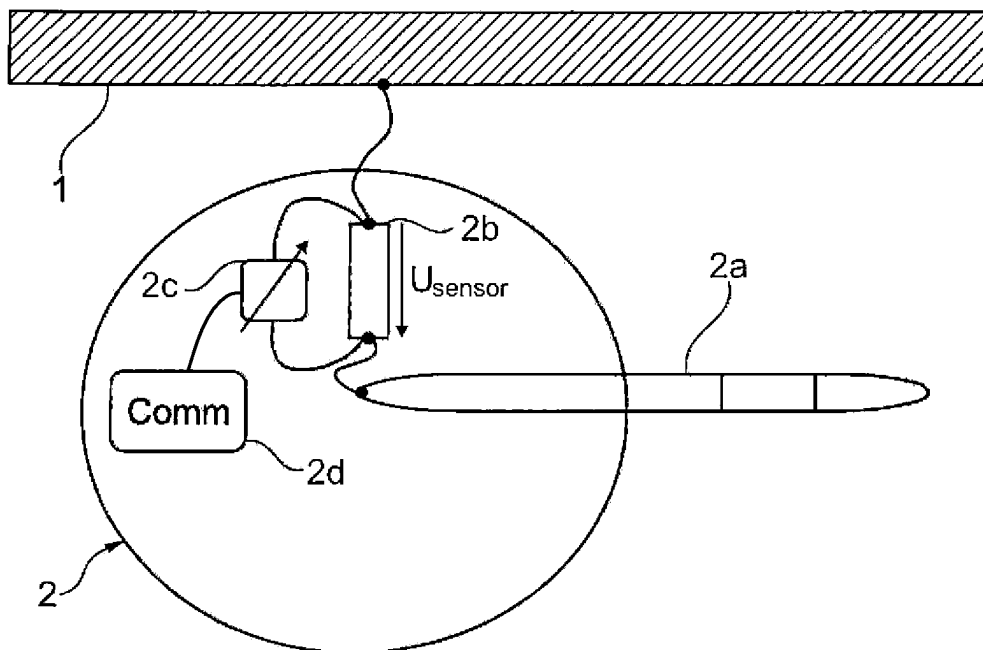
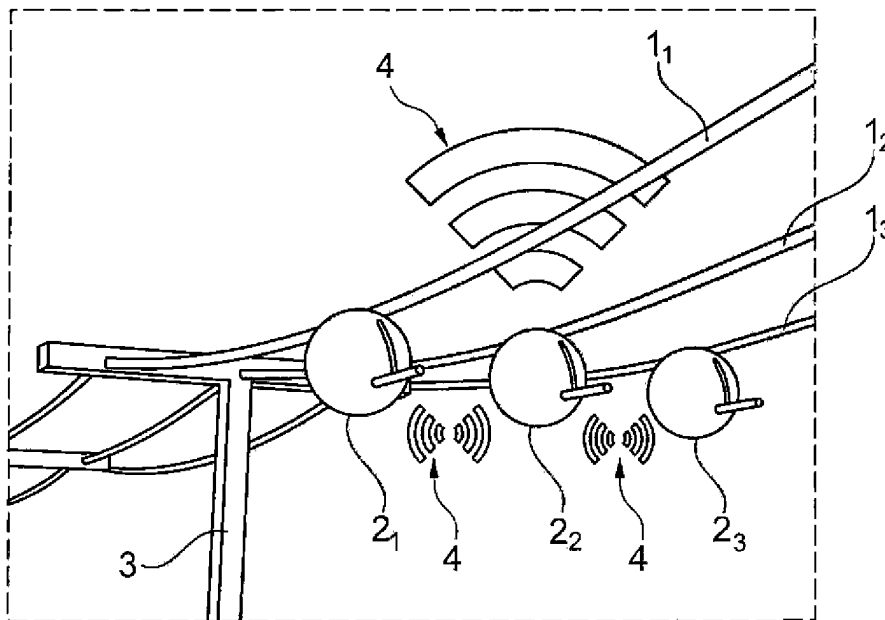
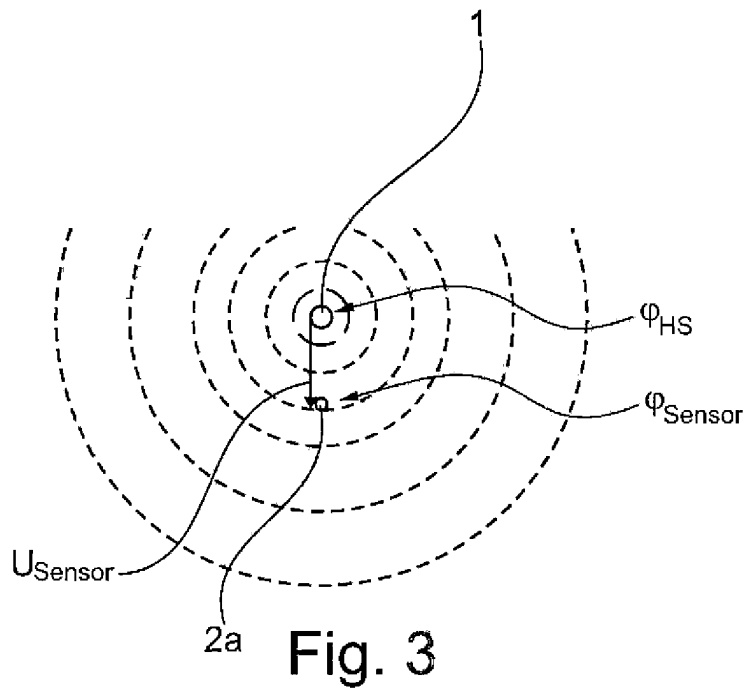


Fig. 2



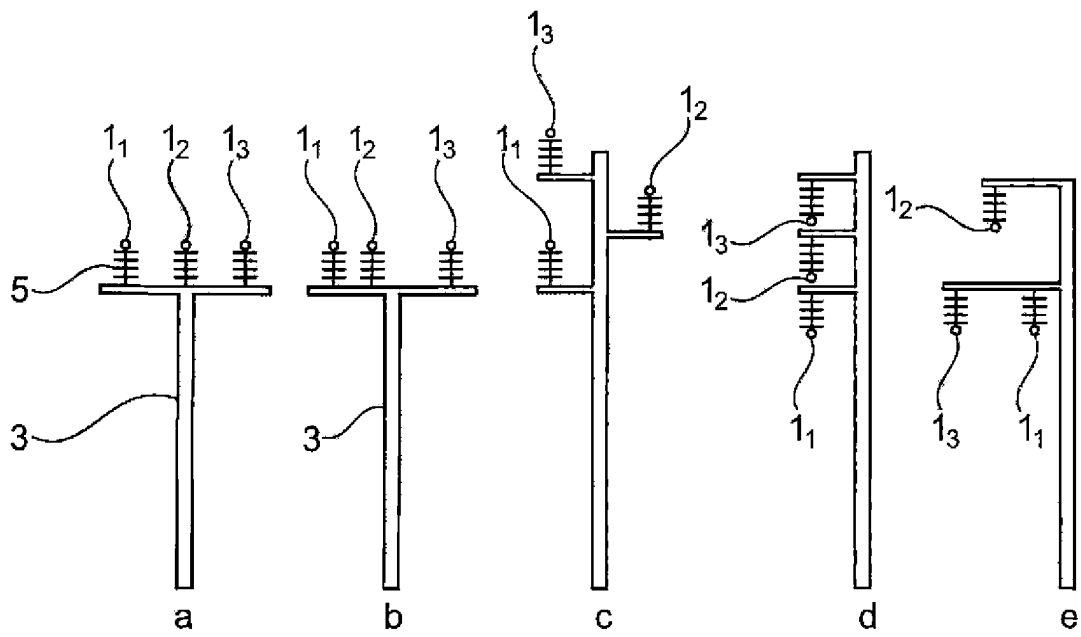


Fig. 5

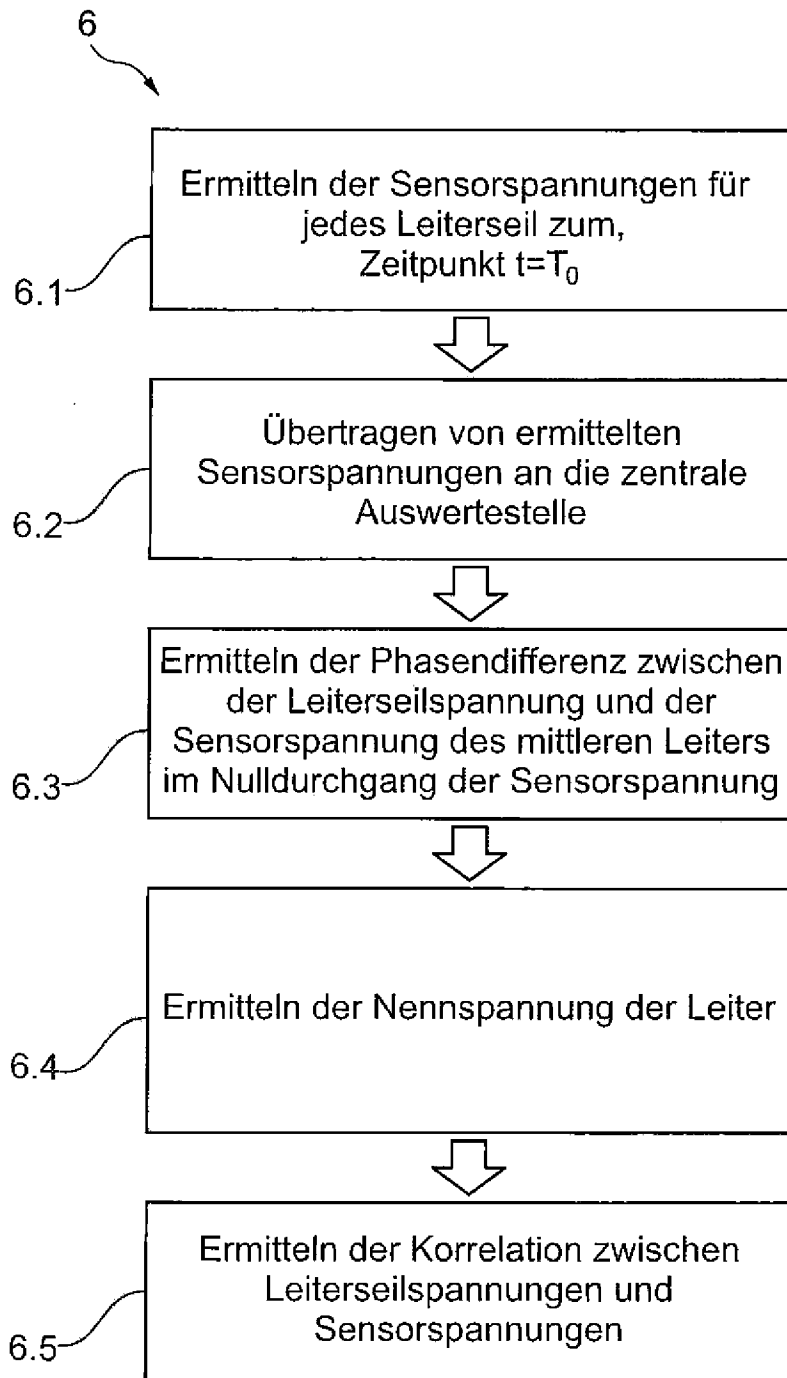


Fig. 6