

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50197/2020
(22) Anmeldetag: 10.03.2020
(43) Veröffentlicht am: 15.09.2021

(51) Int. Cl.: **G01R 27/16** (2006.01)
G01R 31/08 (2020.01)
G01R 31/52 (2020.01)
H02H 7/26 (2006.01)

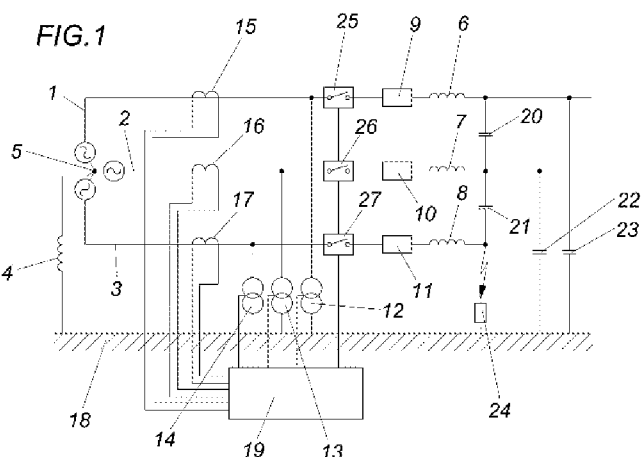
(56) Entgegenhaltungen:
CN 106501675 A
CN 102879710 A
CN 104198889 A

(71) Patentanmelder:
Sprecher Automation GmbH
4020 Linz (AT)

(74) Vertreter:
Hübscher & Partner Patentanwälte GmbH
4020 Linz (AT)

(54) **Erdschluss-Distanzmessung**

(57) Es wird ein Verfahren zur Messung der Erdschleifenimpedanz in zwei- oder mehrphasigen Nieder- oder Mittelspannungsnetzen mit nicht starr geerdetem Sternpunkt (5) beschrieben. Um ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art so auszugestalten, dass bei Ausbildung einer Erdschleife im Fall eines Erdschlusses einer Phase eines Stromnetzes mit nicht starr geerdetem Sternpunkt eine sehr rasche und einfach durchzuführende Messung der Erdschleifenimpedanz und damit eine zuverlässige Fehlerortbestimmung möglich ist, wird vorgeschlagen, dass beim Erdschluss einer fehlerbehafteten Phase (3) während der Aufladeschwingung die Strom- und Spannungswerte einer Phase (1, 2, 3) über wenigstens eine Periode der Netzfrequenz mit wenigstens der doppelten Frequenz der Aufladeschwingung abgetastet und dass aus den abgetasteten Spannungs- oder Stromwerten die von der Netzfrequenz abweichenden Signalfrequenzen mit höchster Amplitude als Eigenfrequenz des von der Messstelle aus messbaren Serienschwingkreises bestimmt werden, wonach aus den Eigenfrequenzanteilen der Strom- und Spannungswerte der fehlerbehafteten Phase (3) die Erdschleifenimpedanz ermittelt wird.



Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zur Messung der Erdschleifenimpedanz in zwei- oder mehrphasigen Nieder- oder Mittelspannungsnetzen mit nicht starr geerdetem Sternpunkt (5) beschrieben. Um ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art so auszugestalten, dass bei Ausbildung einer Erdschleife im Fall eines Erdschlusses einer Phase eines Stromnetzes mit nicht starr geerdetem Sternpunkt eine sehr rasche und einfach durchzuführende Messung der Erdschleifenimpedanz und damit eine zuverlässige Fehlerortbestimmung möglich ist, wird vorgeschlagen, dass beim Erdschluss einer fehlerbehafteten Phase (3) während der Aufladeschwingung die Strom- und Spannungswerte einer Phase (1, 2, 3) über wenigstens eine Periode der Netzfrequenz mit wenigstens der doppelten Frequenz der Aufladeschwingung abgetastet und dass aus den abgetasteten Spannungs- oder Stromwerten die von der Netzfrequenz abweichenden Signalfrequenzen mit höchster Amplitude als Eigenfrequenz des von der Messstelle aus messbaren Serienschwingkreises bestimmt werden, wonach aus den Eigenfrequenzanteilen der Strom- und Spannungswerte der fehlerbehafteten Phase (3) die Erdschleifenimpedanz ermittelt wird.

(Fig. 1)

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Messung der Erdschleifenimpedanz in zwei- oder mehrphasigen Nieder- oder Mittelspannungsnetzen mit nicht starr geerdetem Sternpunkt.

Aus dem Stand der Technik sind unterschiedliche Methoden bekannt, anhand des Quotienten aus der gemessenen Impedanz einer Leitung und der spezifischen Impedanz der Leitung pro Längeneinheit die Leitungslänge ausgehend von der Messstelle abzuschätzen. Diese Art der Entfernungsmessung eignet sich auch bei einem Kurzschluss zwischen zwei Leitern eines mehrphasigen Stromnetzes, da über die Messung von Strom und Spannung zwischen den Leitern die Impedanz einfach berechnet werden kann und der Fehlerstrom verglichen zum Strom nach der Fehlstelle hoch ist. Um eine möglichst exakte Fehlerortbestimmung zu ermöglichen, wird bei solchen Fehlerfällen vor der Impedanzmessung das Abklingen transienter Zustände abgewartet und/oder störende netzfrequenzfremde Signalanteile ausgefiltert.

Bei mehrphasigen Stromnetzen besteht im Falle eines Erdschlusses aber die Schwierigkeit, dass der Fehlerstrom je nach Art der Sternpunktbehandlung und der Art des Erdschlusses signifikant kleiner als die Stromstärken nach der Erdschluss-Fehlerstelle in Richtung Last sind und die Impedanz zwischen Leiter und Erde an der Erdschluss-Fehlerstelle unbekannt ist. Bisher wurde daher davon ausgegangen, dass eine Fehlerortung in diesem Fehlerfall nicht, oder nur unter bestimmten Randbedingungen mit sehr aufwändigen Verfahren, wie beispielsweise auf Basis von sich entlang der Leiter ausbreitenden Wanderwellen zuverlässig möglich ist.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art so auszugestalten, dass bei Ausbildung einer Erdschleife im Fall eines Erdschlusses einer Phase eines Stromnetzes mit nicht starr geerdetem Sternpunkt eine sehr rasche und einfach durchzuführende Messung der Erdschleifenimpedanz und damit eine zuverlässige Fehlerortbestimmung möglich ist.

Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, dass beim Erdschluss einer fehlerbehafteten Phase während der Aufladeschwingung die Strom- und Spannungswerte einer Phase über wenigstens eine Periode der Netzfrequenz mit wenigstens der doppelten Frequenz der Aufladeschwingung abgetastet und dass aus den abgetasteten Spannungs- oder Stromwerten die von der Netzfrequenz abweichenden Signalfrequenzen mit höchster Amplitude als Eigenfrequenz des von der Messstelle aus messbaren Serienschwingkreises bestimmt werden, wonach aus den Eigenfrequenzanteilen der Strom- und Spannungswerte der fehlerbehafteten Phase die Erdschleifenimpedanz ermittelt wird.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass bei einem Erdschluss einer Phase eines Stromnetzes mit nicht starr geerdetem Sternpunkt der Aufladestrom zwischen den fehlerbehafteten und den fehlerunbehafteten Phasen im Vergleich zum Erdschlussstrom sehr hoch ist und dass sich aufgrund des Erdschlusses ein Serienschwingkreis mit einer von der Netzfrequenz abweichenden Eigenfrequenz ausbildet, der den Aufladevorgang der fehlerunbehafteten Phasen maßgeblich beeinflusst. Der hohe Erdschlussstrom kommt dadurch zustande, dass durch den Erdschluss das Potential des Sternpunktes, des zwei- oder mehrphasigen Mittelspannungsnetzes und somit auch alle Leiter der fehlerunbehafteten Phasen angehoben wird, wodurch die Leiter-Erdkapazitäten des gesamten Netzes dieser fehlerunbehafteten Phasen aufgeladen werden. Da diese Serienimpedanzen relativ klein sind werden die Leiter-Erdkapazitäten mit einem sehr großen Strom aufgeladen. Die zugehörige Aufladeschwingung weist einen über der Netzfrequenz liegenden Frequenzanteil auf, der der Eigenfrequenz des Serienschwingkreises entspricht. Diese Eigenfrequenz ist gegenüber den anderen Frequenzanteilen

während des Einschwingvorganges des Serienschwingkreises, der auch als Aufladeschwingung bezeichnet wird, dominant und kann durch Abtastung der Spannungs- oder Stromwerte einer der Phasen bestimmt werden, indem eine für den Fachmann bekannte Frequenzmessung oder Transformation vom Zeit- in den Frequenzbereich durchgeführt wird. Beispielsweise kann eine Fourier-Transformation oder eine Hilbert-Transformation zum Einsatz kommen. Messungen an realen Mittelspannungsnetzen haben gezeigt, dass die Eigenfrequenz im Wesentlichen von der Netzausdehnung und der Kurzschlussimpedanz des Einspeisetransformators abhängt und typischerweise im Bereich von 75 – 6000 Hz liegen kann. Es empfiehlt sich daher, die Strom- und Spannungswerte mit einer Frequenz von 6 – 12 kHz abzutasten. Aufgrund der raschen Abklingzeit der Aufladeschwingung von wenigen Perioden der Netzfrequenz muss die Abtastung der Spannungs- oder Stromwerte unmittelbar nach dem Erdschlusseintritt erfolgen. Aufgrund der kurzen benötigten Messzeit von lediglich einer oder weniger Perioden der Netzfrequenz eignet sich das erfindungsgemäße Verfahren auch für die Impedanzbestimmung der Erdschleife im Fall von rasch wiederzündenden Erdschlüssen. Um den Signalanteil des Laststromes der fehlerunbehafteten Phasen dabei ausfiltern zu können, ist es notwendig, die Strom- und Spannungswerte einer Phase über wenigstens eine Periode der Netzfrequenz abzutasten, wobei es keine Rolle spielt, ob die Abtastung auf der fehlerbehafteten oder einer fehlerunbehafteten Phase erfolgt. Eine Abtastung an der fehlerbehafteten Phase hat aber den Vorteil, dass das an der fehlerbehafteten Phase, über die ja das gesamte Netz aufgeladen wird, die höchsten Spannungs- und Stromwerte auftreten, sodass eine zuverlässige Messung erfolgen kann. Die Eigenfrequenz des sich ausbildenden Serienschwingkreises kann dann als von der Netzfrequenz abweichende Frequenz mit der höchsten Amplitude im Frequenzspektrum ermittelt werden. Ist die Eigenfrequenz bekannt, können die Eigenfrequenzanteile der Strom- und Spannungswerte der fehlerbehafteten Phase, beispielsweise mit Hilfe einer Fourier-Transformation bestimmt und daraus die Impedanz des Serienschwingkreises als Erdschleifenimpedanz ermittelt werden. Durch die Messung der Erdschleifenimpedanz über die Eigenfrequenzanteile der Strom- und Spannungswerte der Erdschleife kann das erfindungsgemäße Verfahren somit bei

nicht starr geerdetem, also insbesondere bei hochohmig, induktiv oder nicht geerdetem Sternpunkt angewandt werden. In all diesen Fällen sind die Ströme über die Erdschluss-Fehlerstelle bedeutend kleiner als die Lastströme nach der Erdschluss-Fehlerstelle. Besonders gute Messergebnisse können bei Erdschlussübergangswiderständen von bis zu 500 Ohm erreicht werden.

Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, wird vorgeschlagen, dass die abgetasteten Spannungs- oder Stromwerte in eine Reihe gedämpfter Schwingungsanteile aufgelöst werden, von denen der von der Netzfrequenz abweichende Schwingungsanteil mit höchster Amplitude als Eigenfrequenzanteil herangezogen wird. Da die Amplitude der Aufladeschwingung rasch abklingt, liefert beispielsweise eine Fouriertransformation zur Bestimmung der Frequenzanteile ungenaue Ergebnisse, da diese Transformation für gleichbleibende Amplituden ohne Dämpfung definiert ist. Darüber hinaus kommen zur Erdschlusskompensation induktiv geerdete Sternpunkte zum Einsatz, wodurch sich beim Zünden des Erdschlusses ein zusätzlicher gedämpfter Parallelschwingkreis mit den Leiterkapazitäten der fehlerunbehafteten Phasen ausbildet. Dabei wird die Induktivität der Sternpunkterdung so an die Leiterkapazitäten angepasst, dass im eingeschwungenen Zustand möglichst kein netzfrequenter Strom über die Erdschluss-Fehlerstelle fließt. Damit kann sich aber im Falle eines Zündens des Erdschlusses im Spannungsmaximum der Leiter-Erde Spannung ein bedeutender Gleichstromanteil in den für die Impedanzbestimmung herangezogenen Strom- und Spannungswerten ergeben, der die Abbildung im Frequenzbereich verfälscht. Obwohl grundsätzlich auch in diesem Fall eine Fourier-Transformation zur Bestimmung der Frequenzanteile herangezogen werden kann, wenn man entsprechende Fehler in der Impedanzbestimmung in Kauf nimmt, ergeben sich deutlich exaktere Messbedingungen, wenn die abgetasteten Spannungs- und Stromwerte in eine Reihe gedämpfter Schwingungsanteile, beispielsweise durch Parameterschätzung oder anhand der Prony – Methoden aufgelöst werden, sodass die abklingenden Gleichstromanteile berücksichtigt werden können.

Um aus der Erdschleifenimpedanz die Entfernung der Erdschluss-Fehlerstelle zur Messstelle zu bestimmen, wird vorgeschlagen, dass aus dem Blindanteil der Erdschleifenimpedanz bei Eigenfrequenz des Serienschwingkreises der Blindanteil der Erdschleifenimpedanz bei Netzfrequenz ermittelt wird, woraus die Erdschlusssentfernung anhand bekannter leitungslängenabhängiger Leitungsimpedanzen bestimmt wird. Nachdem die Impedanz eines etwaigen Lichtbogens an der Erdschluss-Fehlerstelle genauso unbekannt wie der Erdschlussübergangswiderstand ist und diese in erster Näherung durch ohmsche Widerstände nachgebildet werden, werden diese für die Entfernungsabschätzung durch die Reduktion auf den induktiven Blindanteil der Erdschleifenimpedanz unterdrückt. Da die ermittelten Blindanteile der Erdschleifenimpedanz proportional zur Eigenfrequenz sind, können diese Blindanteile der Erdschleifenimpedanz durch eine Lineartransformation für die Netzfrequenz ermittelt werden. Neben der Netzfrequenz hängt die Impedanz zusätzlich von den Materialeigenschaften, der geometrischen Anordnung und der Länge des Leiters ab. Sind also die Materialeigenschaften bekannt, kann die Länge bis zur Erdschluss-Fehlerstelle aus der lineartransformierten Erdschleifenimpedanz für die Netzfrequenz aus der spezifischen Impedanz pro Leiterlängeneinheit rückermittelt werden, womit eine hinreichend genaue Fehlerortbestimmung auch im Fall von Erdschlüssen in zwei und mehrphasigen Nieder- oder Mittelspannungsnetzen mit nicht starr geerdetem Sternpunkt ermöglicht wird.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt. Es zeigen

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild eines induktiv geerdeten Drehstromnetzwerks mit Erdschluss-Distanzrelais und

Fig. 2 den zeitlichen Spannungs- bzw. Stromverlauf der fehlerbehafteten Phase vor und während des Erdschlusses.

Ein induktiv geerdetes Drehstromnetz mit Erdschluss-Distanzrelais zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst drei Phasen 1, 2, 3, die über eine Induktivität 4 am Sternpunkt eines Einspeisetransformators 5 geerdet

sind. Die Impedanz jeder Phase 1, 2, 3 lässt sich durch einen induktiven Anteil 6, 7, 8 und einen ohmschen Anteil 9, 10, 11 darstellen. Spannungswandler 12, 13, 14 und Stromwandler 15, 16, 17 erlauben die Bestimmung der Spannung zwischen den einzelnen Phasen 1, 2, 3 und der Erde 18 bzw. die Bestimmung des Stromes in den einzelnen Phasen 1, 2, 3 und können mit einer vorgegebenen Abtastrate, die wenigstens dem Doppelten der Eigenfrequenz eines sich im Erdschlussfall ausbildenden Serienschwingkreises abgetastet und über ein Erdschluss-Distanzrelais 19 als Strom- und Spannungswerte ausgelesen werden. Die Phasen 1, 2, 3 bilden untereinander Leiterkapazitäten 20, 21 und zur Erde Erdkapazitäten 22, 23 aus. Im gezeigten Beispiel findet über die Phase 3 ein Erdschluss statt, wodurch sich ein in erster Näherung ohmscher Erdschlussübergangswiderstand 24 zur Erde 18 ausbildet. Durch den Erdschluss kommt es zu einer Aufladeschwingung, da der Sternpunkt des Einspeisetransformators 5 des mehrphasigen Stromnetzes angehoben wird. Während dieser Aufladeschwingung werden die Strom- und Spannungswerte einer Phase 1, 2, 3, vorzugsweise der fehlerbehafteten Phase 3 vom Erdschluss-Distanzrelais 19 aufgezeichnet und nach wenigstens einer Periode der Netzfrequenz ausgewertet. Zu diesem Zweck werden über eine der oben beschriebenen Transformationen, beispielsweise mit Hilfe der Prony – Methoden, aus den aufgezeichneten Strom- oder Spannungswerten die von der Netzfrequenz abweichenden Signalfrequenzen mit höchster Amplitude als Eigenfrequenz des sich von der Messstelle aus ausbildenden Serienschwingkreises bestimmt. Danach wird aus den Eigenfrequenzanteilen der Strom- und Spannungswerte der fehlerbehafteten Phase 3 die Impedanz der fehlerbehafteten Phase 3 von der Messstelle bis zur Erdschluss-Fehlerstelle als Erdschleifenimpedanz ermittelt. Die Erdschleifenimpedanz kann danach direkt am Erdschluss-Distanzrelais 19 oder über eine nicht näher dargestellte Steuerwarte mit vorgegebenen Impedanzwerten verglichen und in Abhängigkeit der Abweichung von diesen vorgegebenen Werten signalisiert oder wahlweise einer oder alle Leistungsschalter 25, 26, 27 abgeschaltet werden. Im Fall von gelöschten Netzen bzw. bei einem 50 Hz-Stromanteil von weniger als 30 A über die Fehlerstelle genügt es allerdings, den Erdschluss lediglich anzuzeigen, und mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens eine rasche Fehlerortung zu ermöglichen. Darüber

hinaus können zur Entfernungsbestimmung von der Messstelle zur Erdschluss-Fehlerstelle entlang der fehlerbehafteten Phase 3 aus der Erdschleifenimpedanz die Blindanteile ermittelt und mit bekannten Blindanteilen je Leitungssegment der Phase 3 nach bekannten Verfahren die Entfernung zur Erdschluss-Fehlerstelle ermittelt werden.

Fig. 2 zeigt schematisch den über die Zeit aufgetragenen Spannungsverlauf 28 zwischen fehlerbehafteter Phase 3 und Erde 18 in Volt und den ebenfalls über die Zeit aufgetragenen Stromverlauf 29 der fehlerbehafteten Phase 3 in Ampere. Die Linie 30 markiert in Fig. 2 den Zeitpunkt des Erdschlussbeginns, der zu einer Abnahme der Spannung und kurzfristigen Zunahme des Stromes in der fehlerbehafteten Phase 3 zufolge der beschriebenen Aufladeschwingung führt. Die ab diesem Zeitpunkt ersichtliche Änderung der Wellenform kommt durch die Überlagerung der Netzfrequenz mit den Eigenfrequenzen des beschriebenen Serienschwingkreises zustande. Die Spannung und der Strom der im Vergleich zur Netzfrequenz höherfrequenten abklingenden Aufladeschwingung können ab dem Zeitpunkt des Erdschlussbeginns zur Berechnung der Erdschleifenimpedanz bei der Eigenfrequenz des sich ausbildenden Serienschwingkreises und im Weiteren bei Netzfrequenz verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Erdschleifenimpedanz in zwei- oder mehrphasigen Nieder- oder Mittelspannungsnetzen mit nicht starr geerdetem Sternpunkt (5), dadurch gekennzeichnet, dass beim Erdschluss einer fehlerbehafteten Phase (3) während der Aufladeschwingung die Strom- und Spannungswerte einer Phase (1, 2, 3) über wenigstens eine Periode der Netzfrequenz mit wenigstens der doppelten Frequenz der Aufladeschwingung abgetastet und dass aus den abgetasteten Spannungs- oder Stromwerten die von der Netzfrequenz abweichenden Signalfrequenzen mit höchster Amplitude als Eigenfrequenz des von der Messstelle aus messbaren Serienschwingkreises bestimmt werden, wonach aus den Eigenfrequenzanteilen der Strom- und Spannungswerte der fehlerbehafteten Phase (3) die Erdschleifenimpedanz ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die abgetasteten Spannungs- oder Stromwerte in eine Reihe gedämpfter Schwingungsanteile aufgelöst werden, von denen der von der Netzfrequenz abweichende Schwingungsanteil mit höchster Amplitude als Eigenfrequenzanteil herangezogen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Blindanteil der Erdschleifenimpedanz bei Eigenfrequenz des Schwingkreises der Blindanteil der Erdschleifenimpedanz bei Netzfrequenz ermittelt wird, woraus die Erdschlussentfernung anhand bekannter Leitungslängenabhängiger Leitungsimpedanzen bestimmt wird.

FIG.1

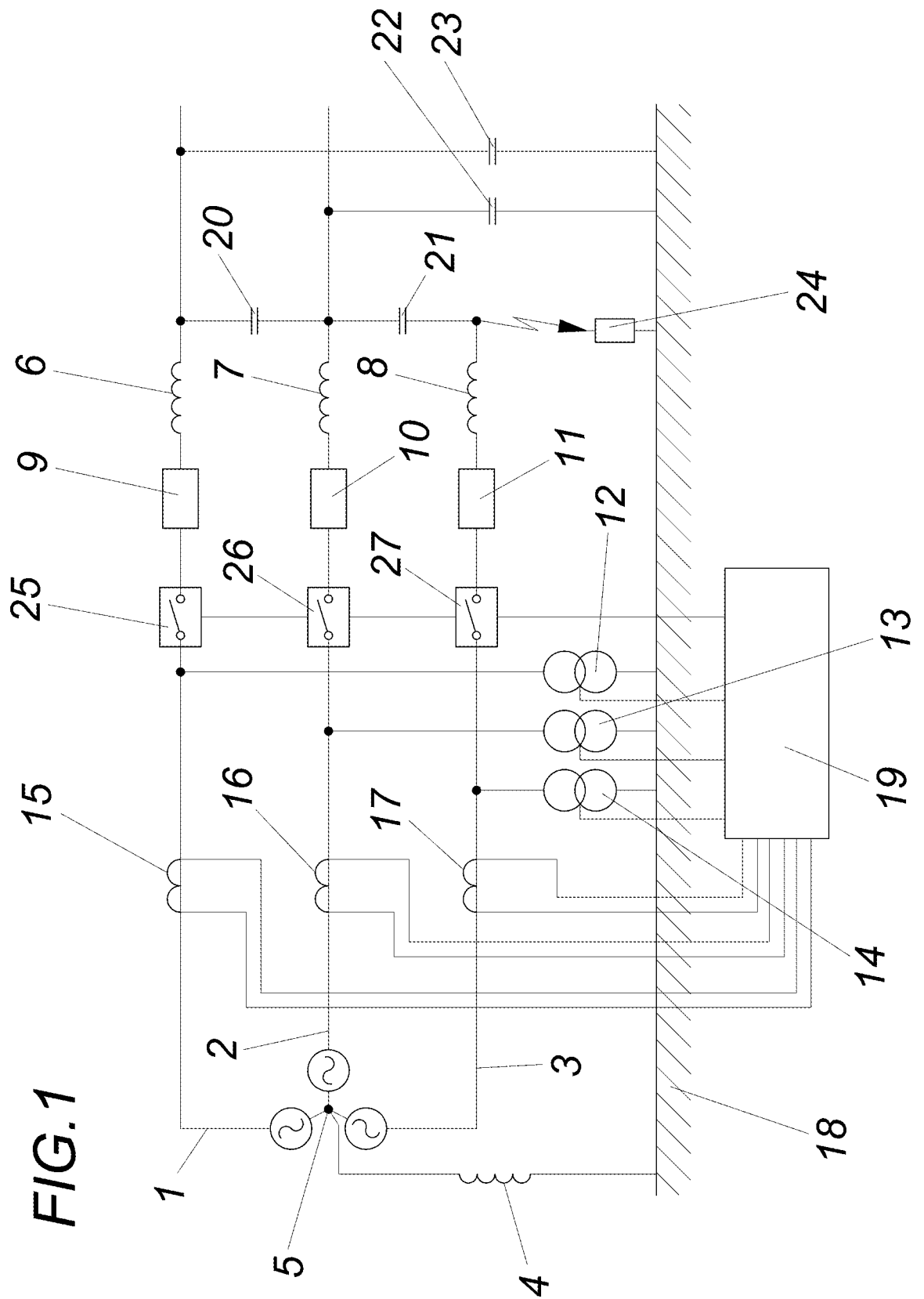
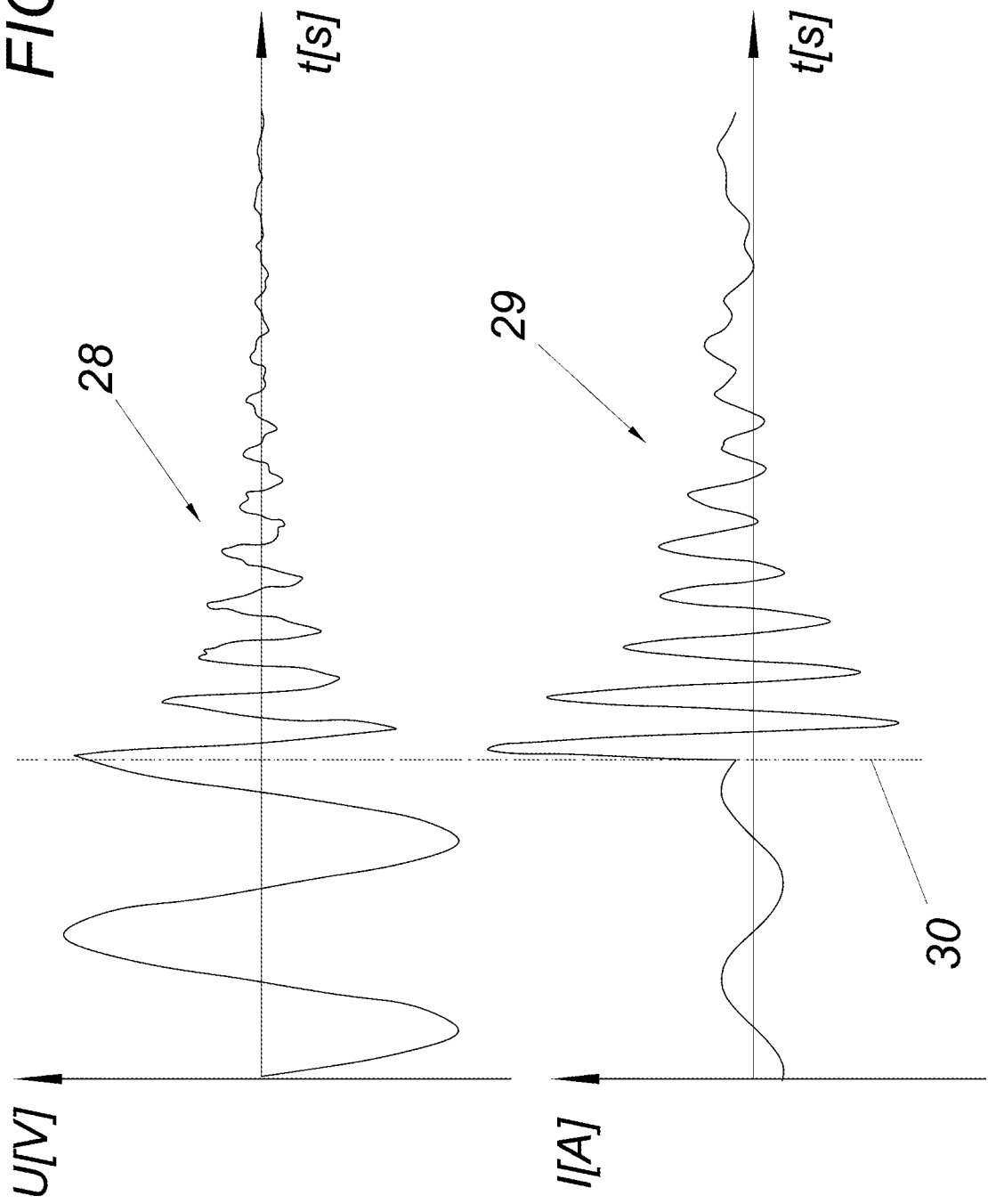


FIG.2



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

G01R 27/16 (2006.01); G01R 31/08 (2020.01); G01R 31/52 (2020.01); H02H 7/26 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

G01R 27/16 (2013.01); G01R 31/085 (2017.01); G01R 31/52 (2020.01); H02H 7/26 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

G01R, H02H

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPIAP

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 10.03.2020 eingereichten Ansprüchen 1-3 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	CN 106501675 A (UNIV TSINGHUA, ELECTRIC POWER RES INST STATE GRID JIBEI ELECTRIC POWER CO LTD, STATE GRID CORP CHINA) 15. März 2017 (15.03.2017) Zusammenfassung; Figur 1	1-3
A	CN 102879710 A (JILIN JIANTONG ELECTRICAL TECHNOLOGY CO LTD, JILIN POWER SUPPLY COMPANY JILIN ELECTRIC POWER COMPANY LTD, STATE GRID CORP CHINA) 16. Januar 2013 (16.01.2013) Zusammenfassung; Figuren 1, 2	1-3
A	CN 104198889 A (UNIV TSINGHUA) 10. Dezember 2014 (10.12.2014) Zusammenfassung; Figur 1	1-3

Datum der Beendigung der Recherche:

26.02.2021

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

KOVACS György

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.