(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
07. Dezember 2017 (07.12.2017)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/207029 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02H 1/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/062271

(22) Internationales Anmeldedatum:
31. Mai 2016 (31.05.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: **WENZLAFF, Karsten**; Fritz-Hoffmann-Str. 8b, 01097 Dresden (DE). **MEYER, Jörg**; Sachsdorfer Str. 13, 01157 Dresden (DE). **SCHEGNER, Peter**; Kyawstr. 34, 01259 Dresden (DE).

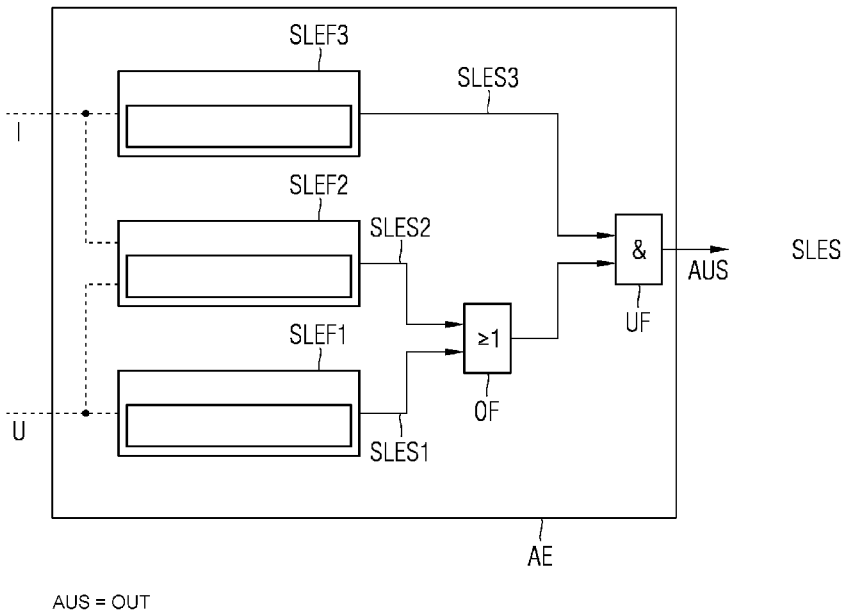
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,

(54) Title: FAULT-ARC IDENTIFICATION UNIT

(54) Bezeichnung: STÖRLICHTBOGENERKENNUNGSEINHEIT

FIG 4



AUS = OUT

(57) Abstract: The invention relates to a fault-arc identification unit for an electric circuit, having: at least one voltage sensor assigned to the circuit, for the periodic determination of electric voltage values of the electric circuit; and at least one current sensor assigned to the electric circuit, for the periodic determination of electric current variables of the circuit. Both sensors are connected to an evaluation unit which is designed such that: the electric voltage values are fed to a first fault-arc identification function which carries out a first fault-arc identification on the basis of the signal profile of the voltage, and emits a first fault-arc identification signal if the amount of a first threshold value is exceeded; the electric voltage values and current variables are fed to a second fault-arc identification function which carries out a second fault-arc identification on the basis of the voltage values and current variables, and emits a second fault-

WO 2017/207029 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

arc identification signal if the amount of a second threshold value is exceeded; the two fault-arc identification signals are fed to an inclusive disjunction function, such that if a first or a second fault-arc identification signal exists, a fault-arc identification signal with an inclusive disjunction is emitted as an output-side fault-arc identification signal.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Störlichtbogenerkennungseinheit für einen elektrischen Stromkreis, aufweisend mindestens einen dem Stromkreis zugeordneten Spannungssensor, zur periodischen Ermittlung von elektrischen Spannungswerten des elektrischen Stromkreises, mindestens einen dem Stromkreis zugeordneten Stromsensor, zur periodischen Ermittlung von elektrischen Stromgrößen des Stromkreises, die beide mit einer Auswerteeinheit verbunden sind, die derart ausgestaltet ist, dass die elektrischen Spannungswerte einer ersten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die an Hand des Signalverlaufs der Spannung eine erste Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines ersten Schwellwertes ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgibt, dass die elektrischen Spannungswerte und Stromgrößen einer zweiten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die an Hand der Spannungswerte und Stromgrößen eine zweite Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines zweiten Schwellwertes ein zweites Störlichtbogenerkennungssignal abgibt, dass die beiden Störlichtbogenerkennungssignale einer Oder-Funktion zugeführt werden, so dass bei Vorliegen eines ersten oder zweiten Störlichtbogenerkennungssignales ein oderverknüpftes Störlichtbogenerkennungssignal als ausgangsseitiges Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben wird.

Beschreibung

Störlichtbogenerkennungseinheit

Die Erfindung betrifft eine Störlichtbogenerkennungseinheit, einen Leistungsschalter, einen Kurzschließer und ein Verfahren zur Störlichtbogenerkennung.

In Niederspannungsstromkreisen bzw. Niederspannungsanlagen respektive Niederspannungsnetzen, d.h. Stromkreise für Spannungen bis 1000 Volt Wechselspannung oder 1500 Volt Gleichspannung, sind Kurzschlüsse meist mit auftretenden Störlichtbögen, wie parallele oder serielle Störlichtbögen, verbunden. Besonders in leistungsstarken Verteil- und Schaltanlagen können diese bei einer nicht ausreichend schnellen Abschaltung zu verheerenden Zerstörungen von Betriebsmitteln, Anlagenteilen oder kompletten Schaltanlagen führen. Um einen länger andauernden und großflächigen Ausfall der Energieversorgung zu vermeiden und Personenschäden zu reduzieren, ist es erforderlich derartige Störlichtbögen, insbesondere stromstarke bzw. parallele Störlichtbögen, in wenigen Millisekunden zu erkennen und zu löschen. Konventionelle Schutzsysteme von Energieversorgungsanlagen (z.B. Sicherungen und Leistungsschalter) können unter den geforderten zeitlichen Anforderungen keinen zuverlässigen Schutz bieten.

Mit Leistungsschalter sind hier insbesondere Schalter für Niederspannung gemeint. Leistungsschalter werden, insbesondere in Niederspannungsanlagen, üblicherweise für Ströme von 63 bis 6300 Ampere eingesetzt. Spezieller werden geschlossene Leistungsschalter, wie Moulded Case Circuit Breaker, für Ströme von 63 bis 1600 Ampere, insbesondere von 125 bis 630 oder 1200 Ampere eingesetzt. Offene Leistungsschalter bzw. Luftleistungsschalter, wie Air Circuit Breaker, werden insbesondere für Ströme von 630 bis 6300 Ampere, spezieller von 1200 bis 6300 Ampere eingesetzt.

Leistungsschalter im Sinne der Erfindung können insbesondere eine elektronischen Auslöseeinheit, auch als Electronic Trip Unit, kurz ETU, bezeichnet, aufweisen.

Leistungsschalter überwachen den durch sie hindurchfließenden Strom und unterbrechen den elektrischen Strom bzw. Energiefluss zu einer Energiesenke bzw. einem Verbraucher, was als Auslösung bezeichnet wird, wenn Stromgrenzwerte oder Strom-Zeitspannengrenzwerte, d.h. wenn ein Stromwert für eine gewisse Zeitspanne vorliegt, überschritten werden. Die Ermittlung von Auslösebedingungen und das Auslösen eines Leistungsschalters kann mittels einer elektronischen Auslöseeinheit erfolgen.

Kurzschließer sind spezielle Einrichtungen zum Kurzschließen von Leitungen bzw. Stromschienen, um definierte Kurzschlüsse zum Schutz von Stromkreisen bzw. Anlagen herzustellen.

Konventionelle Störlichtbogendetektionssysteme werten die durch den Lichtbogen erzeugte Lichtemission aus und detektieren hiermit den Störlichtbogen.

Dies hat den Nachteil, dass parallel zu den elektrischen Leitungen bzw. Stromschienen Lichtwellenleiter bzw. optische Detektionssysteme verlegt werden müssen, um eventuell auftretende Störlichtbögen zu erkennen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Möglichkeit zur Störlichtbogenerkennung anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch eine Störlichtbogenerkennungseinheit mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, einen Leistungsschalter gemäß Patentanspruch 15, einen Kurzschließer gemäß Patentanspruch 16 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentspruchs 17 gelöst.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass eine Störlichtbogenerkennungseinheit für einen elektrischen Stromkreis mindestens

einen dem Stromkreis zugeordneten Spannungssensor, zur periodischen Ermittlung von elektrischen Spannungswerten des elektrischen Stromkreises,
mindestens einen dem Stromkreis zugeordneten Stromsensor, zur periodischen Ermittlung von elektrischen Stromgrößen des Stromkreises aufweist. Beide sind mit einer Auswerteeinheit verbunden, die derart ausgestaltet ist,
dass die elektrischen Spannungswerte einer ersten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die an Hand des Signalverlaufs der Spannung eine erste Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines ersten Schwellwertes (SW1) ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgibt,
dass die elektrischen Spannungswerte und Stromgrößen einer zweiten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die an Hand der Spannungswerte und Stromgrößen eine zweite Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines zweiten Schwellwertes (SW2) ein zweites Störlichtbogenerkennungssignal abgibt,
dass die beiden Störlichtbogenerkennungssignale einer Oder-Funktion zugeführt werden, so dass bei Vorliegen eines ersten oder zweiten Störlichtbogenerkennungssignales ein oderverknüpftes Störlichtbogenerkennungssignal als ausgangsseitiges Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben wird.

Mit betragsmäßiger Überschreitung ist sowohl eine reine betragsmäßige Überschreitung eines Schwellwertes gemeint, als auch eine Überschreitung hinsichtlich eines positiven Schwellwertes oder/und eines negativen Schwellwertes, wobei jeweils der Betrag des Schwellwertes überschritten wird. Der Betrag des positiven Schwellwertes und des negativen Schwellwertes können identisch sein, allerdings auch voneinander abweichen.

Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine umfassende Erkennung von Störlichtbögen ermöglicht wird, da mittels zweier Funktionen das Vorliegen solcher geprüft wird. Somit können

verschiedenartige Störlichtbögen erfasst werden und ein umfassender Anlagenschutz realisiert werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Stromkreis ein Niederspannungsstromkreis, insbesondere ein Wechselstromkreis.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass hier die Erfindung besonders wirkungsvoll eingesetzt werden kann.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet ist,
dass die elektrischen Stromgrößen einer dritten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die fortlaufend die Stromgröße oder deren Äquivalent mit einem dritten Schwellwert (SW3) vergleicht und bei dessen Überschreitung ein drittes Störlichtbogenerkennungssignal abgibt,
dass das oderverknüpfte Störlichtbogenerkennungssignal und das dritte Störlichtbogenerkennungssignal einer Und-Funktion zugeführt werden, so dass das ausgangsseitige Störlichtbogenerkennungssignal nur bei Vorliegen des dritten und des oderverknüpften Störlichtbogenerkennungssignales von der Störlichtbogenerkennungseinheit abgegeben wird.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass ein weiteres Kriterium für das Vorliegen von Störlichtbogen vorliegt und so die fehlerhafte Abgabe eines Störlichtbogenerkennungssignals vermieden wird. Störlichtbögen treten häufig erst bei höheren Strömen auf. Dies wird erfindungsgemäß bei der Auswertung berücksichtigt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die elektrischen Spannungswerte oder/und Stromgrößen mit einem festen Zeitabstand (dt) ermittelt.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine besonders genaue Ermittlung von Störlichtbögen ermöglicht wird, da Werte mit regelmäßigem Abstand vorliegen und so die Störlichtbogenkri-

terien besonders gut ermittelt werden können.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird fortlaufend aus zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Spannungswerten eine Spannungsdifferenz ermittelt wird. Die Spannungsdifferenz wird durch die zeitliche Differenz (dt) der Spannungswerte dividiert. Der somit ermittelte Differenzenquotient (Dqun) wird, als Maß für die Änderung der Spannung nach der Zeit, an Stelle mit dem ersten mit einem vierten Schwellwert (SW4) betragsmäßig verglichen. Bei dessen Überschreitung wird ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine einfache erste Ermittlungsmöglichkeit für Störlichtbögen zur Verfügung steht.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird fortlaufend eine erste Hälfte einer ersten Anzahl Spanungswerte zu einer ersten Teilsumme (TS1) und die zweite Hälfte an Spannungswerten zu einer zweiten Teilsumme (TS2) aufsummiert wird. Eine Differenz (DU) beider Teilsummen wird ermittelt. Die Differenz wird betragsmäßig mit einem ersten Schwellwert (SW1) verglichen. Bei dessen Überschreitung wird ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine einfache, aber genauere Ermittlung von Störlichtbögen ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Störlichtbogenerkennungseinheit derart ausgestaltet, dass die Spannungswerte mit einem Vielfachen der Frequenz des Niederspannungsstromkreises ermittelt werden oder mit einer Abtastfrequenz im Bereich von 2-100 kHz, insbesondere im Bereich 10 bis 40 oder 60 kHz, spezifischer bei 40-50 kHz.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine optimale Anzahl an Spannungswerten für die erfindungsgemäße Auswertung vorliegt. Bei einer Netzfrequenz des Niederspannungsstromkreises von 50 oder 60 Hz liegen so ca. 1000 Spannungswerte pro Grundwelle der Netzfrequenz vor. Bei dieser Anzahl hat sich eine gute Erkennung von Störlichtbögen mit der Erfindung gezeigt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei der Teilsummen ermittelt werden, ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass die erste Anzahl durch ein Zeitfenster bestimmt ist. D.h. die Anzahl an aufzusummierenden Stromwerten wird durch ein zu verwendendes Zeitfenster bestimmt. Aus dem Zeitfenster, dass beispielsweise im Bereich von 0,1 bis 5 ms oder 10 ms liegen kann, insbesondere bei 1 ms liegen kann, ergibt sich ferner durch die verwendete Abtastfrequenz die erste Anzahl an Spannungswerten.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass die Auswertung ausschnittsweise erfolgt und so eine besonders genaue Erkennung von Störlichtbögen ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei der Teilsummen ermittelt werden, ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass für jeden ermittelten Spannungswert (u(k)) eine Differenzermittlung durchgeführt wird. D.h. die erfindungsgemäße Differenzermittlung wird fortlaufend für jeden neuen Spannungswert durchgeführt.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine besonders zeitnahe und schnelle Ermittlung von Störlichtbögen ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei der Teilsummen ermittelt werden, ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass die Differenz (DU) mit einem Faktor multipliziert wird, dessen Größe von der ersten Anzahl abhängig ist. Insbesondere ist der Faktor ein Produkt aus einer Konstanten und dem Kehrwert der ersten Anzahl.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine normierte Differenz (DU) zur Verfügung steht, die mit einem normierten ersten Schwellwert verglichen wird. Somit wird eine Auswertung mit objektivem Vergleich ermöglicht.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei der Teilsummen ermittelt werden, ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass fortlaufend eine zweite Anzahl Differenzen (DU) zu einer Differenzensumme (DS) aufsummiert wird, an Stelle der Differenz (DU) die Differenzsumme (DS) mit dem

ersten Schwellwert (SW1) verglichen wird und bei dessen betragsmäßiger Überschreitung ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine noch genauere Ermittlung von Störlichtbögen ermöglicht wird, da sich die Differenzen, die bei Störlichtbögen auftreten, summieren. Damit steht ein genauerer bzw. größerer Wert für den Schwellwertvergleich zur Verfügung.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei der fortlaufend ein erstes Wertepaar eines Spannungswertes und einer Stromgröße zu einem ersten Zeitpunkt und
ein zweites Wertepaar eines Spannungswertes und einer Stromgröße zu einem zweiten Zeitpunkt vorliegen, wird aus den zwei Wertepaaren eine Lichtbogenspannung (Ulb) berechnet, die mit einem zweiten Schwellwert (SW2) verglichen wird. Bei dessen betragsmäßiger Überschreitung wird ein zweites Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine einfache und sichere Möglichkeit zur Störlichtbogenerkennung gegeben ist.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei aus Wertepaaren eine Lichtbogenspannung berechnet wird, liegt ein drittes Wertepaar eines Spannungswertes (u3) und einer Stromgröße zu einem dritten Zeitpunkt vor.
Aus den drei Wertepaaren wird eine Lichtbogenspannung (Ulb) berechnet, die mit dem zweiten Schwellwert (SW2) verglichen wird. Bei dessen betragsmäßiger Überschreitung wird ein Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass einen genauere und noch sichere Möglichkeit zur Störlichtbogenerkennung gegeben ist.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die elektrische Stromgröße entweder ein elektrischer Stromwert (i_m) oder ein Wert für die Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit (i'_m). Dies hat den besonderen Vorteil, dass nur eine Stromgröße, entweder Stromwert oder Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit, respektive die Ableitung

des Stromes nach der Zeit, ermittelt werden braucht. Beispielsweise kann vorteilhaft zur Ermittlung der Stromgröße eine Rogowskispule verwendet werden, womit die Änderung des Stromes nach der Zeit erfasst wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird im Falle der Ermittlung des elektrischen Stromwertes (i_m) daraus ein Wert für die Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit (i'_m), respektive die erste Ableitung des Stromwertes nach der Zeit, ermittelt oder im Falle der Ermittlung des Wertes für die Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit (i'_m) daraus der elektrische Stromwert (i_m) ermittelt. Ein Wertepaar weist damit vorteilhafterweise einen Spannungswert (u_m), einen Stromwert (i_m) und einen Wert für die Änderung des Stromes nach der Zeit (i'_m) auf, womit sich die Lichtbogenspannung (Ulb) berechnen lässt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei aus Wertepaaren eine Lichtbogenspannung berechnet wird, ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass die Berechnung der Lichtbogenspannung (Ulb) mit Hilfe einer Differentialgleichung oder deren Lösung durchgeführt wird.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine umfassende Berechnungsmöglichkeit unter Berücksichtigung vieler Parameter eines realen Stromkreises zur Verfügung steht.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei aus Wertepaaren eine Lichtbogenspannung berechnet wird, liegt der erste Zeitpunkt zeitlich vor dem zweiten Zeitpunkt. Alternativ liegt der zweite Zeitpunkt zeitlich vor dem dritten Zeitpunkt. Alternativ liegt der erste Zeitpunkt zeitlich vor dem zweiten Zeitpunkt liegt und dieser zeitlich vor dem dritten Zeitpunkt.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine besonders genaue Ermittlung einer Störlichtbogenspannung ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst ein Wertesatz mehrere Wertepaare und aus mindestens zwei Wer-

tesätzen wird eine Lichtbogenspannung berechnet. Diese wird mit dem zweiten Schwellwert (SW2) verglichen wird und bei dessen betragsmäßiger Überschreitung wird das zweite Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die Sensoren extern angeordnet sein und müssen nicht im Gehäuse der Störlichtbogenerkennungseinheit angeordnet sein. Die periodische bzw. fortlaufende Ermittlung von Wertepaaren eines Spannungswertes und einer Stromgröße, insbesondere zu einem Zeitpunkt, kann beispielsweise durch eine Abtastung der entsprechenden Werte erfolgen.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine flexible Ermittlung von Störlichtbögen gegeben ist.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Berechnung der Lichtbogenspannung aus drei Wertesätzen.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine besonders genaue Ermittlung der Lichtbogenspannung ermöglicht wird, um so sicherer Störlichtbögen zu erkennen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass die Berechnung der Lichtbogenspannung (U_{lb}) mit Hilfe einer Integralgleichung oder deren Lösung durchgeführt wird.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine umfassende Berechnungsmöglichkeit unter Berücksichtigung vieler Parameter eines realen Stromkreises zur Verfügung steht.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteinheit derart ausgestaltet, dass ein Wertepaar nur einem Wertesatz zugeordnet ist.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine besonders genaue Berechnung ermöglicht wird, da Redundanzen der ermittelten Wertepaare in verschiedenen Wertesätzen ausgeschlossen werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteinheit derart ausgestaltet, dass jeder Wertesatz eine feste Anzahl Wertepaare aufweist.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine einfache Möglichkeit zur zyklischen Berechnung der Lichtbogenspannung gegeben ist, da in jedem Durchgang die gleiche Anzahl Wertepaare ausgewertet werden kann.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteinheit derart ausgestaltet, dass fortwährend die Wertepaare einem Wertesatz zugeordnet werden, bis die feste Anzahl Wertepaare erreicht ist, und die nachfolgenden Wertepaare dem nächsten Wertesatz zugeordnet werden.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass sowohl eine genauere als auch zyklische Ermittlung der Lichtbogenspannung ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass für die Berechnung der Lichtbogenspannung (U_{lb}) aus einem Wertesatz mindestens einer der folgenden Terme gebildet wird:
a) ein Zeit-Spannungssummen-Produkt (us), gebildet aus dem Zeitabstand (dt) und der Summe der Spannungswerte (um), wobei die Summe der Spannungswerte durch den halben ersten Spannungswert, den halben letzten Spannungswert und der Summe der übrigen Spannungswerte des Wertesatzes gebildet wird;
b) ein Zeit-Stromsummen-Produkt (is), gebildet aus dem Zeitabstand (dt) und der Summe der Stromwerte, wobei die Summe des Stromwerte durch den halben ersten Stromwert, den halben letzten Stromwert und der Summe des übrigen Stromwerte des Wertesatzes gebildet wird;
c) ein Zeit-Stromänderungswert-Produkt (i’s), gebildet aus dem Zeitabstand (dt) und der Summe der Werte für die Änderung des Stromes nach der Zeit, wobei die Summe der Werte für die Änderung des Stromes nach der Zeit durch den halben ersten Wert, den halben letzten Wert und der Summe der übrigen Werte des Wertesatzes gebildet wird;
d) ein Zeit-Vorzeichenwert-Produkt (ss), gebildet aus dem

Zeitabstand (dt) und der Summe der Vorzeichenwerte der Stromwerte, wobei ein Vorzeichenwert den Wert plus Eins bei positiven Stromwert, minus Eins bei negativen Stromwert und Null bei einem Stromwert von Null annimmt, wobei die Summe der Vorzeichenwerte aus dem halben Vorzeichenwert des ersten Stromwertes, dem halben Vorzeichenwert des letzten Stromwertes und der Summe der Vorzeichenwerte der übrigen Stromwerte gebildet wird.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass mit mindestens einem dieser Terme eine Ermittlung der Störlichtbogenspannung ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteinheit derart ausgestaltet, dass ein Vorzeichenwert des Stromwertes den Wert Null annimmt, wenn der Betrag des Spannungswertes dieses Wertepaares einen zweiten Schwellwert unterschreitet. D.h. das Ergebnis der Vorzeichenfunktion bzw. Signumfunktion wird immer Null gesetzt, wenn der Betrag des zeitgleichen Spannungswerts kleiner-gleich dem zweiten Schwellwert ist. Als typischer Schwellwert kann hierfür z.B. ein Anoden-Kathodenspannungsfall von etwa 20 V angenommen werden, da davon ausgegangen werden kann, dass unter diesem zweiten Schwellwert kein Lichtbogen entstehen kann.
Durch Einführung dieser Nebenbedingung für die Berechnung der Signumfunktion werden bei der Lichtbogenzündung Instabilitäten in der Berechnung der Lichtbogenspannung wesentlich minimiert. Dies hat den besonderen Vorteil, dass insbesondere bei und nach der Lichtbogenzündung genauere Berechnungsergebnisse vorliegen und somit eine bessere Störlichtbogenerkennung ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass für die Berechnung der Lichtbogenspannung (U_{lb}) für zwei aufeinanderfolgende Wertesätze jeweils die folgenden Terme gebildet werden:
ein erstes (us1) und ein zweites (us2) Zeit-Spannungssummen-Produkt,
ein erstes (is1) und ein zweites (is2) Zeit-Stromsummen-

Produkt,
ein erstes (i's1) und ein zweites (i's2) Zeit-Stromänderungswert-Produkt,
ein erstes (ss1) und ein zweites (ss2) Zeit-Vorzeichenwert-Produkt berechnet wird.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine einfache, insbesondere integrierende, Ermittlung der Störlichtbogenspannung ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass für die Berechnung der Lichtbogenspannung (U_{lb}) für drei aufeinanderfolgende Wertesätze jeweils die folgenden Terme gebildet werden:
ein erstes (us1), ein zweites (us2) und ein drittes (us3) Zeit-Spannungssummen-Produkt,
ein erstes (is1), ein zweites (is2), und ein drittes (is3) Zeit-Stromsummen-Produkt,
ein erstes (i's1), ein zweites (i's2)und ein drittes (i's3) Zeit-Stromänderungswert-Produkt,
ein erstes (ss1), ein zweites (ss2) und ein drittes (ss3) Zeit-Vorzeichenwert-Produkt berechnet wird.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine einfache und genauere, insbesondere integrierende, Ermittlung der Störlichtbogenspannung ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass für die Berechnung der Lichtbogenspannung (U_{lb}) mindestens einer der folgenden Terme gebildet wird:
ein erstes Produkt (P1), gebildet aus dem dritten Zeit-Spannungssummen-Produkt (us3) und dem zweiten Zeit-Stromsummen-Produkt (is2),
ein zweites Produkt (P2), gebildet aus dem zweiten Zeit-Spannungssummen-Produkt (us2) und dem dritten Zeit-Stromsummen-Produkt (is3),
ein drittes Produkt (P3), gebildet aus dem zweiten Zeit-Stromänderungswert-Produkt (i's2) und dem ersten Zeit-Stromsummen-Produkt (is1),

ein viertes Produkt (P4), gebildet aus dem ersten Zeit-Stromänderungswert-Produkt (i‘s1) und dem zweiten Zeit-Stromsummen-Produkt (is2),
ein fünftes Produkt (P5), gebildet aus dem zweiten Zeit-Spannungssummen-Produkt (us2) und dem ersten Zeit-Stromsummen-Produkt (is1),
ein sechstes Produkt (P6), gebildet aus dem ersten Zeit-Spannungssummen-Produkt (us1) und dem zweiten Zeit-Stromsummen-Produkt (is2),
ein siebtes Produkt (P7), gebildet aus dem dritten Zeit-Stromänderungswert-Produkt (i’s3) und dem zweiten Zeit-Stromsummen-Produkt (is2),
ein achtes Produkt (P8), gebildet aus dem zweiten Zeit-Stromänderungswert-Produkt (i’s2) und dem dritten Zeit-Stromsummen-Produkt (is3),
ein neuntes Produkt (P9), gebildet aus dem ersten Zeit-Vorzeichenwert-Produkt (ss1) und dem zweiten Zeit-Stromsummen-Produkt (is2),
ein zehntes Produkt (P10), gebildet aus dem zweiten Zeit-Vorzeichenwert-Produkt (ss2) und dem ersten Zeit-Stromsummen-Produkt (is1),
ein elftes Produkt (P11), gebildet aus dem zweiten Zeit-Vorzeichenwert-Produkt (ss2) und dem dritten Zeit-Stromsummen-Produkt (is3),
ein zwölftes Produkt (P12), gebildet aus dem dritten Zeit-Vorzeichenwert-Produkt (ss3) und dem zweiten Zeit-Stromsummen-Produkt (is2),
eine erste Differenz (D1), dessen Minuend das erste Produkt (P1) und dessen Subtrahend das zweite Produkt (P2) ist,
eine zweite Differenz (D2), dessen Minuend das dritte Produkt (P3) und dessen Subtrahend das vierte Produkt (P4) ist,
eine dritte Differenz (D3), dessen Minuend das fünfte Produkt (P5) und dessen Subtrahend das sechste Produkt (P6) ist,
eine vierte Differenz (D4), dessen Minuend das siebte Produkt (P7) und dessen Subtrahend das achte Produkt (P8) ist
eine fünfte Differenz (D5), dessen Minuend das neunte Produkt (P9) und dessen Subtrahend das zehnte Produkt (P10) ist,

eine sechste Differenz (D6), dessen Minuend das elfte Produkt (P11) und dessen Subtrahend das zwölfte Produkt (P12) ist,
ein dreizehntes Produkt (P13), gebildet aus der ersten Differenz (D1) und der zweiten Differenz (D2),
ein vierzehntes Produkt (P14), gebildet aus der dritten Differenz (D3) und der vierten Differenz (D4),
ein fünfzehntes Produkt (P15), gebildet aus der fünften Differenz (D5) und der vierten Differenz (D4),
ein sechzehntes Produkt (P16), gebildet aus der sechsten Differenz (D6) und der zweiten Differenz (D2),
eine siebte Differenz (D7), dessen Minuend das dreizehnte Produkt (P13) und dessen Subtrahend das vierzehnte Produkt (P14) ist,
eine achte Differenz (D8), dessen Minuend das fünfzehnte Produkt (P15) und dessen Subtrahend das sechzehnte Produkt (P16) ist.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass mit mindestens einem dieser Terme eine Ermittlung, insbesondere auf einem integrierenden Ansatz beruhende, der Störlichtbogenspannung ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass die Lichtbogenspannung (Ulb) ein Quotient ist, dessen Dividend Terme der siebten Differenz (D7) aufweist und dessen Divisor Terme der achten Differenz (D8) aufweist.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine sehr genaue Ermittlung einer Störlichtbogenspannung ermöglicht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteeinheit derart ausgestaltet, dass die Lichtbogenspannung (Ulb) auf den Wert Null gesetzt wird, wenn die Summe des ersten (ss1), zweiten (ss2) und dritten (ss3) Zeit-Vorzeichenwert-Produkts gleich Null ist.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass unzulässige Berechnungsergebnisse bei der Berechnung der Lichtbogenspannung vermieden werden. Diese können Auftreten, wenn die drei Zeit-Vorzeichenwert-Produkte (ss1, ss2, ss3) jeweils Null sind. In

diesem Fall wird die Lichtbogenspannung auf den Wert Null gesetzt.

Erfindungsgemäß ist ferner ein Leistungsschalter für einen elektrischen Stromkreis, insbesondere Niederspannungsstromkreis, vorgesehen. Dieser weist eine erfindungsgemäße Störlichtbogenerkennungseinheit auf. Diese ist mit dem Leistungsschalter verbunden, wobei diese derart ausgestaltet sind, dass bei Abgabe eines Störlichtbogenerkennungssignals der Leistungsschalter auslöst, d.h. den elektrischen Stromkreis unterbricht. Somit kann eine Löschung des Störlichtbogens erreicht werden. Weist der Leistungsschalter eine elektronische Auslöseeinheit auf, kann eine sehr schnelle Auslösung des Leistungsschalters bei vorliegen eines Störlichtbogenerkennungssignals erreicht werden.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass ein Leistungsschalter um eine weitere, vorteilhafte Funktionalität zum Schutz elektrischer Anlagen erweitert wird. Die Erkennung und Abschaltung von Störlichtbögen erfolgt dabei vorteilhaft in einem Gerät. Gegebenenfalls lassen sich vorhandene Baugruppen, wie Spannungs- oder/und Stromsensoren, Netzteil, Mikroprozessoren für die Auswerteeinheit, etc. mitverwenden und so Synergien erzielen.

Erfindungsgemäß ist ferner ein Kurzschließer, aufweisend eine Störlichtbogenerkennungseinheit die mit dem Kurzschließer verbunden ist, vorgesehen. Diese sind derart ausgestaltet, dass bei Abgabe eines Störlichtbogenerkennungssignals der Kurzschließer den elektrischen Stromkreis kurzschließt, um ein Löschen des Störlichtbogens zu bewirken.
Dies hat den besonderen Vorteil, dass eine einfache, schnelle und wirksame Möglichkeit zum Löschen von Störlichtbögen zur Verfügung steht.

Erfindungsgemäß ist des Weiteren ein Verfahren zur Störlichtbogenerkennung für einen elektrischen Stromkreis vorgesehen, bei dem periodisch elektrische Spannungswerte und Stromgrößen des elektrischen Stromkreises ermittelt werden,

die elektrischen Spannungswerte einer ersten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die an Hand des Signalverlaufs der Spannung eine erste Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines ersten Schwellwertes (SW1) ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgibt. Die elektrischen Spannungswerte und Stromgrößen werden ferner einer zweiten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt, die an Hand der Spannungswerte und Stromgrößen eine zweite Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines zweiten Schwellwertes (SW2) ein zweites Störlichtbogenerkennungssignal abgibt. Die beiden Störlichtbogenerkennungssignale werden einer Oder-Funktion zugeführt, so dass bei Vorliegen eines ersten oder zweiten Störlichtbogenerkennungssignales ein oderverknüpftes Störlichtbogenerkennungssignal als ausgangsseitiges Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben wird.
Dies hat den besonderen Vorteil eines einfachen Verfahrens zur Störlichtbogenerkennung.

Alle Ausgestaltungen und Merkmale der Erfindung bewirken eine Verbesserung der Erkennung von Störlichtbögen bzw. deren Löschung.

Die beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

Hierbei zeigt:

Figur 1 ein Diagramm des zeitlichen Spannungs- und Stromverlaufes nach Lichtbogenzündung

Figur 2 ein Ersatzschaltbild eines elektrischen Stromkreises

Figur 3 ein erste Ablaufdiagramm zur Störlichtbogenerkennung

Figur 4 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Lösung

Figur 5 eine erste Darstellung zur Erläuterung des Einsatzes der Erfindung

Figur 6 eine zweite Darstellung zur Erläuterung des Einsatzes der Erfindung

Figur 7 eine dritte Darstellung zur Erläuterung des Einsatzes der Erfindung

In einem Stromkreis bzw. Netz, in dem ein Störlichtbogen brennt, kann ein Strom- und Spannungsverlauf gemessen werden, der einen signifikanten Verlauf aufweist. Ein typischer Spannungs- und Stromverlauf für einen Störlichtbogen ist in Figur 1 dargestellt. Diese zeigt eine Darstellung eines Diagramms, in dem der zeitliche Verlauf der elektrischen Spannung U und des elektrischen Stromes I nach Zündung eines Lichtbogens bzw. Störlichtbogens, insbesondere parallelen Störlichtbogen, in einem elektrischen Stromkreis, insbesondere Niederspannungsstromkreis, dargestellt ist.

Auf der horizontalen X-Achse ist die Zeit t in Millisekunden (ms) dargestellt. Auf der vertikalen Y-Achse ist auf der linken Skalierung die Größe der elektrischen Spannung U in Volt (V) abgebildet. Auf der rechten Skalierung ist die Größe des elektrischen Stromes I in Ampere (A) abgebildet.

Nach Lichtbogenzündung verläuft der Strom I annähernd sinusförmig. Die Spannung U verläuft stark verzerrt, etwa „zackenförmig", mit schnellen Spannungsänderungen. Grob interpretiert ist der Spannungsverlauf in erster Näherung rechteckförmig, an Stelle eines üblicherweise sinusförmigen Verlaufs. Abstrahiert betrachtet, lässt sich im Spannungsverlauf eine Rechteckform erkennen, die auf dem Plateau einen hoch stochastischen Anteil aufzeigt. Die Rechteckform ist dadurch gekennzeichnet, dass es bei der Lichtbogenzündung und in den nachfolgenden Spannungsnulldurchgängen der Wechselspannung zu

signifikant erhöhten Spannungsänderungen kommt, die folgend als Spannungssprung bezeichnet werden, da der Anstieg der Spannungsänderung im Vergleich zu einem sinusförmigen Spannungsverlauf wesentlich größer ist.

Im Gegensatz zum Spannungsverlauf weist der Stromverlauf von einem Störlichtbogen einen nahezu sinusförmigen Verlauf auf. Zum Zeitpunkt der Lichtbogenzündung kommt es jedoch zu einer Reduzierung des Stromanstiegs, die sich mit der physikalischen, strombegrenzenden Wirkung von Lichtbögen begründen lässt. Zusätzlich tritt eine signifikante Anstiegsänderung im Stromverlauf in jedem weiteren Stromnulldurchgang nach einer Lichtbogenzündung auf.

Erfindungsgemäß sollen derartige Spannungsänderungen bzw. Spannungssprünge zur Störlichtbogenerkennung verwendet werden. Ferner soll die Lichtbogenspannung berechnet werden. Die Erkennung soll dabei erfindungsgemäß durch mindestens diese zwei unterschiedlichen Ermittlungsmethoden durchgeführt werden.

Hierzu werden periodisch, mit beispielsweise einer festen Abtastzeit bzw. Abtastfrequenz fa Spannungswerte und Stromgrößen eines elektrischen Stromkreises ermittelt, erfasst, abgetastet bzw. gemessen. Dabei sollte die Abtastfrequenz bzw. Meßfrequenz ein Vielfaches der Frequenz der gemessenen Wechselgrößen betragen. Beispielsweise könnte bei üblichen Stromnetzen, mit beispielsweise 50Hz bzw. 60Hz Netzfrequenz, die Meßfrequenz im Kilohertz-Bereich liegen, beispielsweise zwischen 1 und 200 kHz, spezifischer im Bereich 10 bis 40 oder 60 kHz, insbesondere bei 40-50 kHz.

Fortlaufend bzw. periodisch werden diese elektrische Spannungswerte und elektrische Stromwerte ermittelt, beispielsweise mit je einem Sensor. Dabei kann beispielsweise der elektrische Strom direkt gemessen werden. Alternativ kann auch die Änderung des Stromes nach der Zeit gemessen werden.

Im Falle der Messung des elektrischen Stromes i_m kann daraus die Änderung des Stromes nach der Zeit i'_m ermittelt werden, beispielsweise durch Differentiation des Stromwertes i_m.
Im Falle der Messung der Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit i'_m kann daraus der elektrische Strom i_m ermittelt werden, beispielsweise durch Integration der Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit i'_m. Die Messung der Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit i'_m kann beispielsweise mit einer Rogowskispule erfolgen. Im Falle sinusförmiger Ströme im Stromkreis ist die Integration besonders einfach zu realisieren, da das Intergral vom Sinus ein Cosinus und vom Cosinus ein Sinus ist.
Ebenso kann der Stromwert i_m und die Änderung des Stromes nach der Zeit i'_m auch parallel, z.B. mit 2 Sensoren, gemessen werden. Damit erübrigt sich eine Umrechnung.

Mit einem zeitlichen Abstand, beispielsweise einem festen zeitlichen Abstand dt (Abtastfrequenz), werden immer wieder Spannungswerte u_m und Stromwerte i_m bzw. Spannungswerte u_m und Werte für die Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit i'_m ermittelt.
Dabei werden beispielsweise ein Spannungswert und eine Stromgröße jeweils zu einem, insbesondere gleichen, Zeitpunkt ermittelt.

Für die erste Störlichtbogenfunktion kann beispielsweise mit zwei fortlaufend ermittelten Spannungswerten (um, um-1) eine Differenzberechnung durchgeführt werden, wobei ein Differenzenquotient (Dqun) für jeden Abtastwert der Spannung (um) berechnet wird. Dazu wird die Spannungsdifferenz des aktuellen Spannungsabtastwertes (um) zum vorhergehenden Spannungsabtastwert (um-1) gebildet. Diese Spannungsdifferenz (dun) wird durch die zeitliche Differenz (dt), d.h. dt = tn - tn-1, der Spannungsabtastwerte (um, um-1) dividiert, um so den Differenzenquotienten (Dqun) gemäß Formel 1 zu erhalten.

$$\mathrm{Dqun} = \frac{u_m - u_{m-1}}{t_n - t_{n-1}} = \frac{\mathrm{dun}}{\mathrm{dt}}$$

Dieser Differenzenquotient (Dqun) wird als Maß für die Änderung der Spannung nach der Zeit an Stelle des ersten Schwellwertes mit einem vierten Schwellwert (SW4) verglichen. Bei Erfüllung der Schwellwertbedingung erfolgt ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal.
Alternativ kann auch vom vorhergehenden Spannungsabtastwert (um-1) der aktuelle Spannungsabtast (um) abgezogen werden (dun = (um-1) - (um)). Dadurch ändert sich lediglich das Vorzeichen des Differenzenquotienten. Bei einem Vergleich, beim dem nicht der Betrag mit dem Schwellwert verglichen werden, sondern die Absolutwerte, ist dementsprechend auch das Vorzeichen des Schwellwertes zu beachten und anzupassen.

Beispielsweise wurden die Spannungswerte 30 Volt (um-1) und 50 Volt (um) mit dem zeitlichen Abstand von 20 µs, was einer Abtastfrequenz von 50 KHz entspricht, gemessen.

$$\text{Dqun} = \frac{50\ \text{Volt} - 30\ \text{Volt}}{20\ \mu\text{s}} = 1\ \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$$

Der erste Schwellwert könnte beispielsweise bei 0,5 V/µs liegen.
Der ermittelte Differenzenquotient 1 V/µs liegt über den 0,5 V/µs. Somit wird ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.

Eine entsprechende Auswertung ist in Figur 3 dargestellt. Gemäß Figur 3 erfolgt in einem ersten Schritt (1) die fortlaufende Berechnung des Differenzenquotienten Spannung (Dqun). Dieser wird in einem zweiten Schritt (2) mit dem vierten Schwellwert (SW4) verglichen. Erfolgt eine betragsmäßige Überschreitung des vierten Schwellwertes (SW4) erfolgt in einem dritten Schritt (3) die Abgabe eines ersten Störlichtbogenerkennungssignals. Ist der vierte Schwellwert (SW4) nicht überschritten, kann in einem vierten Schritt (4) die Meldung, dass kein Störlichtbogen bzw. kein brennender Störlichtbogen vorhanden ist, erfolgen.
Die Berechnung kann fortlaufend durchgeführt werden.

Alternativ kann die erste Störlichtbogenfunktion auch mittels einer Teilsummenberechnung durchgeführt werden. Erfindungsgemäß soll der Spannungssprung bei der Lichtbogenzündung und in jedem darauf folgenden Spannungsnulldurchgang erkannt werden um einen Störlichtbogen zu detektieren. Ein wesentlicher Vorteil bei der Extraktion dieser Signaleigenschaft im Spannungsverlauf ist das periodische Auftreten. Somit kann eine zusätzliche Detektionssicherheit erreicht werden, wenn gewollt oder ungewollt das erste Auftreten der Signaleigenschaft bei der Lichtbogenzündung nicht zu einer Detektion des Störlichtbogens führt.
Für die Extraktion dieser Signaleigenschaft soll erfindungsgemäß eine Summation mit Differenzberechnung verwendet werden, die als W-RU und in einer Ausgestaltung als W-RUs Verfahren bezeichnet werden soll.

Die Auswertung erfolgt dahingehend, dass eine Differenz bzw. ein Spannungssprung DU eingeführt wird. Dieser wird wie folgt ermittelt, wobei die Spannungswerte um bzw. u_m im Folgenden auch in Abhängigkeit vom Zeitpunkt als u(k) bzw. u(n) gekennzeichnet sind:

$$DU(n) = \sum_{k=n-(j-1)}^{k=n-\frac{j}{2}} u(k) - \sum_{k=n-(\frac{j}{2}-1)}^{k=n} u(k) \qquad (1)$$

wobei:

u(k)	Spannungswert zum (zurückliegenden) Zeitpunkt k
u(n)	Spannungswert zum aktuellen Zeitpunkt n
DU(n)	Differenz zum aktuellen Zeitpunkt n
j	erste Anzahl, d.h. Anzahl an Zeitpunkten bzw. Abtastwerten die für die Berechnung der Differenz verwendet werden

Mit der obigen Formel wird für einen aktuell gemessenen Spannungswert u(n) die Differenz DU(n) ermittelt. Als Basis für die Berechnung dient die erste Anzahl j, die beispielsweise eine feste Zahl sein kann. Beispielsweise wird eine feste

Zahl j an Abtastwerten für jede Berechnung verwendet. Beispielsweise kann j im Bereich 10 bis 100 liegen, insbesondere im Bereich 40-50.

Für den Fall j=40 soll die Berechnung dargestellt werden. Verwendet wird hierzu der aktuell gemessene Spannungswert u(n) und die davorliegenden respektive zurückliegenden bzw. vergangenen 39 Spannungswerte
u(n-1) bis u(n-(40-1)), d.h.
u(n-1) bis u(n-40+1), d.h.
u(n-1) bis u(39).
In Summe (j=)40 Spannungswerte.

Für die erste Teilsumme (TS1) werden die Spannungswerte u(k) für
k = n-(j-1) = n-(40-1) = n-39
bis
k = n-j/2 = n-40/2 = n-20
aufsummiert, also vom zurückliegenden (älteren) 39sten Spannungswert bis zum zurückliegenden (jüngeren) 20sten Spannungswert, in Summe 20 Werte.

Als zweite Teilsumme (TS2) werden die Spannungswerte u(k) für
k = n-(j/2-1) = n-(40/2-1) = n-19
bis
k = n
aufsummiert, also vom zurückliegenden 19ten Spannungswert bis zum aktuellen Spannungswert u(n), in Summe ebenfalls 20 Spannungswerte.

Die Differenz DU beider Teilsummen wird mit einem, von der Anzahl j abhängigen, ersten Schwellwert SW1 betragsmäßig verglichen. Bei dessen Überschreitung wird ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.

Hierbei werden jeweils die Hälften der ersten Anzahl j aufsummiert. Mit Hälfte im Sinne der Erfindung ist auch ein um einen Wert abweichender halber Wert gemeint. D.h. Es könnten

gemäß einer ersten Variante in der ersten Teilsumme 19 Werte und in der zweiten Teilsumme 21 Werte aufsummiert werden. wobei j den Wert 40 hat.

In einer zweiten Variante ist bei einer ungeraden ersten Anzahl j eine unsymmetrische Aufteilung gemeint. D.h. es können in einer ersten Teilsumme beispielsweise 19 Werte aufsummiert und in der zweiten Teilsumme 20 Werte aufsummiert werden, wobei j in diesen Fall den Wert 39 hätte.

Als Teilsummen können auch Mittelwerte verwendet werden, die aus den jeweiligen Spannungswerten ermittelt werden, beispielsweise durch Teilsummen. D.h. es könnte auch ein Mittelwert aus einer stark abweichenden Anzahl an Spannungswerten, beispielsweise pro Teilsumme, gebildet werden.

Alternativ können beide Teilsummen bzw. die Differenz mit einem Faktor, der beispielsweise den Kehrwert der ersten Anzahl j enthält, multipliziert werden, also beispielsweise mit 1/j oder 2/j.

$$\mathrm{DU(n)} = \frac{2}{j}\left[\sum_{k=n-j+1}^{k=n-\frac{j}{2}} u(k) \; - \sum_{k=n-\frac{j}{2}+1}^{k=n} u(k)\right] \qquad (2)$$

Dadurch ist ein betragsmäßiger Vergleich mit einem von der Anzahl der verwendeten Abtastwerte, d.h. von der ersten Anzahl unabhängigen ersten Schwellwert SW1 möglich, da die Differenz normiert auf die im Stromkreis verwendete Spannung, d.h. dem äquivalent stattfinden Spannungssprung entspricht. Der Wert der Differenz ist somit nicht mehr von der Anzahl der Summierungen abhängig, allerdings von der verwendeten Spannung.

Man kann gemäß der ersten oder zweiten Variante die Hälfte in eine erste Teilsummenanzahl g und h aufteilen, wobei j=g+h und g≠h.

$$\mathrm{DU(n)} = \frac{1}{g}\sum_{k=n-(g+h)+1}^{k=n-h} u(k) \; - \frac{1}{h}\sum_{k=n-h+1}^{k=n} u(k) \qquad (3)$$

Die erste Anzahl j respektive Anzahl verwendeter Abtastwerte j bestimmt über die verwendete Abtastfrequenz den verwendeten Zeitrahmen.
Umgekehrt kann bei vorgegebener Abtastfrequenz und zu überprüfenden Zeitfenster die zu verwendende erste Anzahl ermittelt werden.
Die drei Größen Zeitfenster ta, Abtastfrequenz fa und Anzahl Abtastwerte (=erste Anzahl) j sind jeweilig in einander überführbar, $j = ta \cdot fa$.

Bei Netzfrequenz des Niederspannungsstromkreises von 50-60Hz hat sich eine Abtastfrequenz von 1 bis 200 kHz, insbesondere 1 bis 60 kHz, spezifischer 40 - 50 kHz, und ein Zeitfenster bzw. eine Dilatationszeit von 0,1 ms bis 5 ms oder 10 ms, insbesondere bei etwa 1 ms, für eine sichere Detektion von Störlichtbögen ergeben. Somit ergibt sich für die erste Anzahl j der benötigten Abtastwerte bzw. Abtastpunkte j = 40 - 50.
Mit Dilatationszeit ist die Ausdehnung des Zeitfensters gemeint, über den man die Teilsummen bzw. den äquivalenten Spannungssprung berechnet.

Die beiden Teilsummen TS1 und TS2 können auch vertauscht sein. D.h. die erste Teilsumme wird von der zweiten Teilsumme abgezogen. Dadurch ändert sich lediglich das Vorzeichen.
Beispielsweise kann in analoger Weise bei Wechselstromnetzen nach einem Flankenwechsel, d.h. wenn von einer steigenden Flanke auf eine fallende Flanke der üblicherweise sinusförmigen Wechselspannungen gewechselt wird, ebenfalls ein Vorzeichenwechsel auftreten.
Eine steigende Flanke tritt bei sinusförmigen Spannungen üblicherweise im Bereich 0° bis 90° und 270° bis 360° auf, eine fallende Flanke üblicherweise im Bereich 90° bis 270°.

Bei betragsmäßiger Überschreitung der Differenz DU wird ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.

Für die Abgabe eine zweiten Störlichtbogensignales kann eine Auswertung analog zum vorher geschriebenen gemäß Figur 3 erfolgen. In einem ersten Schritt 1 erfolgt die fortlaufende erfindungsgemäße Berechnung der Differenz DU.
In einem zweiten Schritt 2 wird diese betragsmäßig mit dem ersten Schwellwert SW1 verglichen.
Erfolgt eine Überschreitung des ersten Schwellwertes SW1, wird in einem dritten Schritt 3 ein erstes Störlichtbogenerkennungssignals abgegeben.
Ist der erste Schwellwert SW1 nicht überschritten kann in einem vierten Schritt 4 die Meldung, dass kein Störlichtbogen vorhanden ist, erfolgen.

Beispielsweise kann der erste Schwellwert SW1 im Falle einer normierten Berechnung im Bereich 8 Volt bis 300 Volt liegen, insbesondere 10 bis 30 oder 100 Volt, spezifischer im Bereich 15 bis 20 oder 25 Volt.
Wobei darauf verwiesen sei, dass die berechnete Differenz DU bzw. äquivalente Spannungssprung unter dem realen, im Spannungsverlauf erkennbaren, Spannungssprung liegt.

Eine weitere Verbesserung lässt sich durch eine weitere Aufsummierung der Differenzen DU zu einer Differenzsumme DS erreichen. Dies wird im Folgenden auch als W-RUs Verfahren bezeichnet. Bei Störlichtbögen, die keinen großen Spannungssprung erzeugen, kann so eine schnellere Detektion erreicht werden.

Bei dem W-RUs-Verfahren werden einzelne Differenzen bzw. Spannungssprünge, die besonders bei der Lichtbogenzündung in Folge von mehreren kleinen, nacheinander zündenden Lichtbögen auftreten, addiert.

Die ermittelten Differenzen DU werden mit einer zweiten Anzahl z, die im Bereich der ersten Anzahl j liegen aber auch größer oder kleiner sein kann, zu einer Differenzensumme DS aufsummiert. Beispielsweise kann die zweite Anzahl z den ein- bis vier- bis sechsfachen Wert von j aufweisen.

$$DS(n) = \sum_{k=n-z}^{k=n} DU(k) \qquad (4)$$

z zweite Anzahl, d.h. Anzahl an Differenzen DU, die für die Berechnung der Differenzensumme verwendet werden

DS(n) Differenzensumme, bezogen auf den aktuellen Wert n

Die zweite Anzahl z kann hierbei wieder über die Abtastfrequenz fa und das für die Summation zu betrachtende Zeitfenster ts bestimmt werden, z = ts · fa.

Es hat sich gezeigt, dass bei Verwendung der Summation das erste Zeitfenster bzw. die erste Dilatationszeit ta zur Berechnung des einzelnen Spannungssprungs kleiner gewählt werden kann bzw. sollte. Die Zeit ta könnte hierbei etwa 0,05 bis 1 ms betragen, insbesondere bei 0,2 ms liegen.

Ferner hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn die für die Summation verwendeten Differenzen nicht ein zweites Mal, für die darauffolgende Summation verwendet werden.

Für eine einfache, programmmäßige Umsetzung des Algorithmus, kann beispielsweise für jeden Spannungswert u(n) bzw. Abtastpunkt ein relativer, äquivalenter Spannungssprung bzw. Abtastdifferenz DA(n) pro Spannungswert u(n) bezogen auf die erste Anzahl j bzw. Größe des Dilatationsparameters wie folgt berechnet werden:

$$DA(n) = \frac{DU(n)}{j} \qquad (5)$$

D.h. die Differenz DU wird durch die erste Anzahl j geteilt, um die Abtastdifferenz für einen Spannungswert u(n) zu erhalten. Die berechnete Abtastdifferenz DA(n) beschreibt den relativen, äquivalenten Spannungssprung pro Spannungswert u(n) bzw. Abtastwert.

Beispielsweise wird ein erster Spannungswert u(1) von 36 Volt, ein nachfolgender zweiter Spannungswert u(2) von 40 Volt, ein nachfolgender dritter Spannungswert u(3) von 50 Volt, ein nachfolgender vierter Spannungswert u(4) von 60 Volt, ein nachfolgender fünfter Spannungswert u(5) von 70 Volt, ein nachfolgender sechster Spannungswert u(6) von 72 Volt, ein nachfolgender siebter Spannungswert u(7) von 74 Volt gemessen.

Beispielsweise hat die erste Anzahl j einen Wert von 4.

Gemäß Formel 2 beträgt die erste Teilsumme 76 Volt, die zweite Teilsumme 110 Volt. Die reine Differenz der Teilsummen beträgt 34 Volt, multipliziert mit 2/j, d.h. 2/4, beträgt die Differenz DU(4) 17 Volt. D.h. die Differenz entspricht einem gemittelten Spannungssprung über die 4 Spannungswerte von 17 Volt.
Bezogen auf die ersten vier Spannungswerte u(1), …, u(4) bzw. Abtastwerte beträgt die Abtastdifferenz DA(4): 17 Volt durch 4 gleich 4,25 Volt (d.h. der relative Spannungssprung pro Spannungswert).

Bezogen auf die nächsten vier Spannungswerte u(2),…, u(5) beträgt die Differenz der Teilsummen 130 Volt - 90 Volt = 40 Volt. Die Differenz DU(5) dann wieder 20 Volt. Die Abtastdifferenz DA(5) 5 Volt (d.h. der relative Spannungssprung pro Spannungswert).

Bezogen auf die nächsten vier Spannungswerte u(3),…, u(6) beträgt die Differenz der Teilsummen 142 Volt - 110 Volt = 32 Volt, die Differenz DU(6) dann 16 Volt, die Abtastdifferenz DA(6) 4 Volt (d.h. der relative Spannungssprung pro Spannungswert).

Bezogen auf die nächsten vier Spannungswerte u(4),…, u(7) beträgt die Differenz der Teilsummen 146 Volt - 130 Volt = 16 Volt, die Differenz DU(7) dann 8 Volt, die Abtastdifferenz

DA(7) 2 Volt (d.h. der relative Spannungssprung pro Spannungswert).

In einer Ausgestaltung der Erfindung soll nun für jede (fortlaufend) berechnete Abtastdifferenz DA(n) der jeweils maximale Wert aufsummiert werden.
Dazu wird die Abtastdifferenz DA(n) jeweils den j Spannungswerten, die für die Berechnung der Differenz und Abtastdifferenz verwendet wurden, zugeordnet, siehe die nachfolgende Tabelle.

n	U(n)	DA(1)	DA(2)	DA(3)	DA(4)	DA(5)	DA(6)	DA(7)	DAmax(n)
1	36 V	4,5 V (0 V)	9,5 V (0 V)	6,75V (0 V)	4,25V				4,25 V
2	40 V		9,5 V (0 V)	6,75V (0 V)	4,25V	5 V			5 V
3	50 V			6,75V (0 V)	4,25V	5 V	4 V		5 V
4	60 V				4,25V	5 V	4 V	2 V [0 V]	5 V
5	70 V					5 V	4 V	2 V [0 V]	5 V
6	72 V						4 V	2 V [0 V]	4 V
7	74 V							2 V [0 V]	2 V [0 V]

Falls noch nicht die erste Anzahl j Spannungswerte u(n), u(k) für eine Berechnung vorliegen, können die Differenzen bzw. Abtastdifferenzen auf Null gesetzt werden, siehe die in Klammern angegeben Werte von 0 Volt in den Spalten DA(1), DA2, DA(3).

Aus den j zugeordneten Abtastdifferenzen pro Spannungswert U(n) wird jeweils die maximale Abtastdifferenz DAmax(n) ermittelt. Dabei liegen natürlich für die gerade zurückliegenden Abtastdifferenzen DA(n) nur weniger als j Abtastdifferenzen DA vor, wobei dann die aktuelle bzw. maximale Abtastdifferenz DA der vorliegenden Abtastdifferenzen verwendet wird.

Die maximalen Abtastdifferenzen DAmax pro Spannungswert U(n) werden zu einer Summe der maximalen Abtastdifferenzen SMA

aufsummiert, und zwar jeweils eine zweite Anzahl z an maximalen Abtastdifferenzen SMA.

$$SMA(n) = \sum_{k=n-z}^{k=n} DAmax\,(k) \qquad (6)$$

Hat die zweite Anzahl z beispielsweise einen Wert von z=6, ergibt sich ein Summe der maximalen Abtastdifferenzen für die ersten 6 maximalen Abtastdifferenzen von SMA(6) = 28,25 Volt.

Die Summe der maximalen Abtastdifferenzen SMA bzw. dessen Betrag wird mit dem ersten Schwellwert SW1 verglichen und bei dessen betragsmäßiger Überschreitung ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal SLES abgegeben.
Dies hat den Vorteil, dass mehrere in Folge auftretende Spannungssprünge aufsummiert werden und deren Summe für die Auswertung des Vorliegens eines Störlichtbogens verwendet werden.

In einer Ausgestaltung der Erfindung kann ein weiterer Schwellwertvergleich dahingehend vorgesehen sein, dass für die Berechnung der Abtastdifferenz DA(n) der Wert von DU(n) auf Null gesetzt wird, wenn dessen Betrag einen fünften Schwellwert SW5 unterschreitet.
Für ein Niederspannungsnetz kann dieser fünfte Schwellwert SW5 im Bereich im Bereich 8 Volt bis 50 Volt liegen, insbesondere 10 bis 30, spezifischer im Bereich 10 bis 20 oder 25 Volt liegen.
Er kann auch identisch mit dem Betrag des ersten Schwellwertes sein bzw. in dessen Größenordnung liegen.
Dies hat den Vorteil, dass der typische - üblicherweise sinusförmige - Spannungsverlauf nicht bzw. weniger berücksichtigt wird.
Beispielsweise könnte gemäß Beispiel die siebte Differenz DU(7), die den Wert 8 Volt aufweist, betragsmäßig unter dem fünften Schwellwert SW5 liegen, der beispielsweise einen Betrag von 10 Volt aufweist. Damit würde die siebte Abtastdifferenz DA(7) den Wert 0 Volt aufweisen. Dies insbesondere in

Spalte DA(7) durch Werte von 0 Volt in eckigen Klammern dargestellt.

Figur 2 zeigt ein Ersatzschaltbild eines elektrischen Stromkreises, aufweisend ein elektrische Energiequelle 100, die eine elektrische Netz-Spannung $u_n(t)$ zur Verfügung stellt, ein daran angeschlossenen Netzzugang bzw. ein Einspeise-Kabel 200, dargestellt durch elektrische Ersatzschaltelemente, wie einen Einspeise-Kabel-Widerstand R_{ek} und eine Einspeise-Kabel-Induktivität bzw. Spule L_{ek}, dem ein elektrischer Verbraucher, Betriebsmittel bzw. Energiesenke 300 folgt, wiederum dargestellt durch elektrische Ersatzschaltelemente, wie einen Verbraucher-Widerstand R_{BM} und eine Verbraucher-Induktivität bzw. Spule L_{BM}. Zwischen Einspeise-Kabel 200 und Verbraucher 300 kann eine elektrische Spannung u_m (t) und eine elektrische Stromgröße, wie der elektrische Stromwert i_m (t) oder/und die Änderung des Stromes nach der Zeit i'_m (t), respektive die erste Ableitung des Stromes nach der Zeit, gemessen werden.
Diese Größen, insbesondere die elektrische Spannung bzw. elektrischen Spannungswerte, werden an den Meßpunkten 600 erfasst, um in der Störlichtbogenerkennungseinheit weiter verarbeitet zu werden.

Der hinsichtlich Störlichtbogen überwachte Bereich ist durch eine gestrichelte Linie 500 dargestellt.

Im elektrischen Stromkreis kann ein Störlichtbogen auftreten, der durch einen Lichtbogen 400 mit einer Lichtbogenspannung $U_{lb}(t)$ dargestellt ist. Erfindungsgemäß wird für die zweite Störlichtbogenerkennungsfunktion fortlaufend eine Lichtbogenspannung U_{lb} in der Störlichtbogenerkennungseinheit mit Hilfe der gemessenen/abgetasteten Spannung u_m (t) und der gemessenen/abgetasteten Stromgröße (Strom oder/und Stromänderung) berechnet.

Erfindungsgemäß wird für die Berechnung die Spannung, der Strom und die Änderung des Stromes nach der Zeit verwendet.

Hierzu wird ein solches Wertepaar mindestens einem Wertesatz zugeordnet. In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Wertepaar genau einem Wertesatz zugeordnet. Wesentlich ist, dass ein Wertesatz mindestens ein Wertepaar enthält, das nicht im vorhergehenden oder nachfolgenden Wertesatz enthalten ist.
Erfindungsgemäß wird aus mindestens zwei Wertesätzen eine Lichtbogenspannung berechnet.

In einer bevorzugten Ausgestaltung wird eine feste Anzahl Wertepaare, die beispielsweise zeitlich nacheinander, beispielsweise mit festem zeitlichem Abstand, ermittelt werden, einem Wertesatz zugeordnet. Beispielsweise enthält ein Wertesatz 10 Wertepaare. Die ersten 10 Wertepaare werden dem ersten Wertesatz zugeordnet. Die zweiten 10 Wertepaare werden dem zweiten Wertesatz zugeordnet, die dritten 10 Wertepaare dem dritten Wertesatz usw.
Jeweils mindestens 2 Wertesätze werden für die Ermittlung einer Lichtbogenspannung bzw. eines Störlichtbogens verwendet. Die Berechnung erfolgt fortlaufend, d.h. beispielsweise erste Berechnung mit den Wertesätzen 1 und 2 bzw. 1 bis 3, zweite erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertesätzen 2 und 3 bzw. 2 bis 4, usw. (erste Angabe für Berechnung mit 2 Wertesätzen, zweite Angabe für Berechnung mit 3 Wertesätzen).

1.Beispiel:
Beispielsweise werden Wertepaare von 1 bis x ($x \geq 32;\ x \in \mathbb{N}$) abgetastet und ein Wertesatz besteht aus 10 Wertepaaren. Jeweils 3 Wertesätze werden für die Ermittlung einer Lichtbogenspannung bzw. eines Störlichtbogens verwendet.
Die Wertepaare 1 - 10 werden dem Wertesatz 1 zugeordnet.
Die Wertepaare 11 - 20 werden dem Wertesatz 2 zugeordnet.
Die Wertepaare 21 - 30 werden dem Wertesatz 3 zugeordnet.
Die Berechnung erfolgt fortlaufend, d.h. beispielsweise erste erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertepaaren 1 bis 30, zweite erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertepaaren 2 bis 31, dritte erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertepaaren 3

bis 32, usw. Somit steht zu jedem Abtastpunkt ein Berechnungsergebnis für die anschließende Auswertung zur Verfügung.

2.Beispiel:

Für die Berechnung können sich auch Wertesätze überlagern. D.h. zwei Wertesätze können ein oder mehrere gleiche Wertepaare verwenden. Wobei hier der Grundsatz gilt, dass in jedem Wertesatz mindestens ein weiteres Wertepaar vorhanden sein muss, dass in den anderen Wertessätzen nicht verwendet wird. Beispielsweise es werden Wertepaare von 1 bis x ($x \geq 14$; $x \in \mathbb{N}$) abgetastet und ein Wertesatz besteht aus 10 Wertepaaren. Jeweils 3 Wertesätze werden für die Ermittlung einer Lichtbogenspannung bzw. eines Störlichtbogens verwendet.
Die Wertepaare 1 – 10 werden dem Wertesatz 1 zugeordnet.
Die Wertepaare 2 – 11 werden dem Wertesatz 2 zugeordnet.
Die Wertepaare 3 – 12 werden dem Wertesatz 3 zugeordnet.
Die Berechnung erfolgt fortlaufend, d.h. beispielsweise erste erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertepaaren 1 bis 12, zweite erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertepaaren 2 bis 13, dritte erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertepaaren 3 bis 14, usw. Somit steht zu jedem Abtastpunkt ein Berechnungsergebnis für die anschließende Auswertung zur Verfügung.

3.Beispiel:

Für die Berechnung können die Wertesätze auch eine unterschiedliche Größe besitzen. Beispielsweise werden Wertepaare von 1 bis x ($x \geq 17$; $x \in \mathbb{N}$) abgetastet. Jeweils 3 Wertesätze werden für die Ermittlung einer Lichtbogenspannung bzw. eines Störlichtbogens verwendet, wobei der 1. Wertesatz aus 6 Wertepaaren besteht, der 2. Wertesatz aus 15 Wertepaaren besteht und der 3. Wertesatz aus 9 Wertepaaren besteht.
Die Wertepaare 1 – 6 werden dem Wertesatz 1 zugeordnet.
Die Wertepaare 1 – 15 werden dem Wertesatz 2 zugeordnet.
Die Wertepaare 6 – 15 werden dem Wertesatz 3 zugeordnet.
Die Berechnung erfolgt fortlaufend, d.h. beispielsweise erste erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertepaaren 1 bis 15; darin sind die drei Wertesätze enthalten. Die zweite erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertepaaren 2 bis 16 und drit-

te erfindungsgemäße Berechnung mit den Wertepaaren 3 bis 17, usw. Somit steht zu jedem Abtastpunkt ein Berechnungsergebnis für die anschließende Auswertung zur Verfügung.

Im Weiteren können beispielweise die Wertepaare auch nacheinander angeordnet sein und einen Abstand von einer bestimmten Anzahl von Wertepaaren zueinander haben.

Die Berechnung erfolgt dadurch, dass fortlaufend gewisse Terme (mathematische Ausdrücke bzw. Gleichungen) berechnet werden.

Die Berechnung dieser Terme basiert auf einer Lösung der Leitungsgleichung 1.Ordnung:

$$u_m(t) = R_{BM} \cdot i_m(t) + L_{BM} \frac{di_m(t)}{dt} \qquad (1)$$

Unter der Annahme, dass im Niederspannungsnetz ein Störlichtbogen vorhanden ist, so wäre das elektrische Verhalten vergleichbar mit dem einer Gegenspannungsquelle im Netz.
Daraus ergibt sich die folgende, erweiterte Ansatzdifferenzialgleichung:

$$u_m(t) = R_{BM} \cdot i_m(t) + L_{BM} \frac{di_m(t)}{dt} + u_{LB}(t) \qquad (2)$$

Der Störlichtbogen wird vereinfacht als rein ohmscher Verbraucher nachgebildet. Somit wird angenommen, dass die Lichtbogenspannung phasengleich zum Lichtbogenstrom ist. Die Lichtbogenspannung kann somit mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$u_{LB}(t) = U_{LB} \cdot \mathrm{sign}\left(i_{LB}(t)\right) \qquad (3)$$

Wird davon ausgegangen, dass der Messstrom $i_m(t)$ dem Störlichtbogenstrom $i_{LB}(t)$ entspricht, also keine Stromverzweigung

zwischen Messort und Störlichtbogenbrennstelle vorhanden ist, kann geschrieben werden:

$$u_m(t) = R_{BM} \cdot i_m(t) + L_{BM} \frac{di_m(t)}{dt} + \mathrm{sign}\left(i_m(t)\right) \cdot U_{LB} \tag{4}$$

Zum Lösen dieser erweiterten Ansatzdifferenzialgleichung wird erfindungsgemäß ein integrierendes Lösungsverfahren verwendet. Somit ergibt sich ein vollständiger, integrierender Ansatz:

$$\int u_m(t)\,dt = R_{BM} \int i_m(t)\,dt + L_{BM} \int \frac{di_m(t)}{dt} dt + U_{LB} \int \mathrm{sign}\left(i_m(t)\right) dt \tag{5}$$

Die Berechnung der Lichtbogenspannung erfolgt durch Umstellen und Auflösen der Gleichung (5) nach U_{LB}.

Für die Berechnung wird die folgende Ansatzgleichung verwendet:

$$\begin{aligned} \int u_m(t)\,dt &= R_{BM} \int i_m(t)\,dt + L_{BM} \int \frac{di_m(t)}{dt} dt + U_{LB} \int \mathrm{sign}\left(i_m(t)\right) dt \\ &= R_{BM} \int i_m(t)\,dt + L_{BM} \int i'_m(t) dt + U_{LB} \int \mathrm{sign}\left(i_m(t)\right) dt \end{aligned} \tag{6}$$

Für die nummerische Integration wird beispielsweise das Sehnentrapezverfahren nach Gleichung (7) verwendet.

$$\int_{t_A}^{t_E} f(t)dt \approx \frac{\Delta t}{2}\left[f(t_A) + 2 \sum_{\nu=1}^{\frac{t_E - t_A}{\Delta t} - 1} f(t_A + \nu \cdot \Delta t) + f(t_E)\right] \tag{7}$$

Für eine vereinfachte Darstellung der Lösung werden die mit der Sehnentrapezregel gelösten Integrationsintervalle durch folgende Terme substituiert:

$$u_s = \frac{\Delta t}{2}\left[u_m(t_A) + 2\sum_{\nu=1}^{\frac{t_E - t_A}{\Delta t}-1} u_m(t_A + \nu \cdot \Delta t) + u_m(t_E)\right] \quad (8)$$

$$i_s = \frac{\Delta t}{2}\left[i_m(t_A) + 2\sum_{\nu=1}^{\frac{t_E - t_A}{\Delta t}-1} i_m(t_A + \nu \cdot \Delta t) + i_m(t_E)\right] \quad (9)$$

$$i'_s = \frac{\Delta t}{2}\left[i'_m(t_A) + 2\sum_{\nu=1}^{\frac{t_E - t_A}{\Delta t}-1} i'_m(t_A + \nu \cdot \Delta t) + i'_m(t_E)\right] \quad (10)$$

$$s_s = \frac{\Delta t}{2}\left[\mathrm{sign}\left(i_m(t_A)\right) + 2\sum_{\nu=1}^{\frac{t_E - t_A}{\Delta t}-1} \mathrm{sign}\left(i_m(t_A + \nu \cdot \Delta t)\right) + \mathrm{sign}\left(i_m(t_E)\right)\right] \quad (11)$$

$$t_s = \frac{t_E - t_A}{\Delta t}$$

Der Wert t_s ist dabei die Anzahl der Wertepaare pro Wertesatz, Δt entspricht dem Bezugszeichen dt, welches dem zeitlichen Abstand der abgetasteten Spannungswerte bzw. Stromgrößen respektive Wertepaare entspricht.
Die Variable t_E entspricht der Zeit vom zeitlich letzten Wertepaar eines Wertesatzes, t_A entspricht der Zeit vom zeitlich ersten Wertepaar des Wertesatzes.

Mit den Formel 8 bis 11 werden für einen Wertesatz jeweils die folgenden Terme berechnet:
(8) ein Zeit-Spannungssummen-Produkt (u_S), gebildet aus dem Zeitabstand (dt) und der Summe der Spannungswerte (u_m), wobei die Summe der Spannungswerte durch den halben ersten Spannungswert, den halben letzten Spannungswert und der Summe der übrigen Spannungswerte des Wertesatzes gebildet wird.
(9) ein Zeit-Stromsummen-Produkt (i_S), gebildet aus dem Zeitabstand (dt) und der Summe der Stromwerte, wobei die Summe des Stromwerte durch den halben ersten Stromwert, den halben

letzten Stromwert und der Summe des übrigen Stromwerte des Wertesatzes gebildet wird.

(10) ein Zeit-Stromänderungswert-Produkt (i'_S), gebildet aus dem Zeitabstand (dt) und der Summe der Werte für die Änderung des Stromes nach der Zeit, wobei die Summe der Werte für die Änderung des Stromes nach der Zeit durch den halben ersten Wert, den halben letzten Wert und der Summe der übrigen Werte des Wertesatzes gebildet wird.

(11) ein Zeit-Vorzeichenwert-Produkt (s_S), gebildet aus dem Zeitabstand (dt) und der Summe der Vorzeichenwerte der Stromwerte, wobei ein Vorzeichenwert den Wert plus Eins bei positiven Stromwert, minus Eins bei negativen Stromwert und Null bei einem Stromwert von Null annimmt, wobei die Summe der Vorzeichenwerte aus dem halben Vorzeichenwert des ersten Stromwertes, dem halben Vorzeichenwert des letzten Stromwertes und der Summe der Vorzeichenwerte der übrigen Stromwerte gebildet wird.

Mit den substituierten Termen ergibt sich das Gleichungssystem entsprechend der Ansatzgleichung 5 zu:

$$u_s = R_{BM} i_s + L_{BM} i'_s + U_{LB} s_s \qquad (13)$$

Das Gleichungssystem enthält die drei unbekannten len R_{BM}, L_{BM} und U_{LB}. Für die Lösung dessen werden (mindestens) zwei, für eine sehr genaue Ermittlung drei, voneinander zeitlich unterschiedliche Integrationsgrenzen verwendet, beispielsweise durch erfindungsgemäße Verwendung zweier bzw. dreier Wertesätze.

$$\begin{aligned} u_{s1} &= R_{BM} i_{s1} + L_{BM} i'_{s1} + U_{LB} s_{s1} \\ u_{s2} &= R_{BM} i_{s2} + L_{BM} i'_{s2} + U_{LB} s_{s2} \\ u_{s3} &= R_{BM} i_{s3} + L_{BM} i'_{s3} + U_{LB} s_{s3} \end{aligned} \qquad (14)$$

Die Lichtbogenspannung U_{LB} lässt sich folglich erfindungsgemäß beispielsweise mit der folgenden Formel berechnen.

$$U_{LB} = \frac{(u_{s3}i_{s2} - u_{s2}i_{s3})(i'_{s2}i_{s1} - i'_{s1}i_{s2}) - (u_{s2}i_{s1} - u_{s1}i_{s2})(i'_{s3}i_{s2} - i'_{s2}i_{s3})}{(s_{s1}i_{s2} - s_{s2}i_{s1})(i'_{s3}i_{s2} - i'_{s2}i_{s3}) - (s_{s2}i_{s3} - s_{s3}i_{s2})(i'_{s2}i_{s1} - i'_{s1}i_{s2})} \quad (15)$$

Wobei u_s, i_s, i'_s, s_s die Zeit-Spannungssummen-Produkte, Zeit-Stromsummen-Produkte, Zeit-Stromänderungswert-Produkte, Zeit-Vorzeichenwert-Produkte, gemäß Formel 8 bis 11, eines ersten, zweiten und dritten Wertesatzes sind, gemäß Index.

Das Kürzel sign bzw. sgn steht für die Signumfunktion respektive Vorzeichenfunktion. Diese Funktion ordnet einer Zahl ihr Vorzeichen zu. Diese ist wie folgt definiert:

sign(x) = +1, falls x>0;

sign(x) = 0, falls x=0;

sign(x) = -1, falls x<0.

Die Formel 14 besteht aus 12 Produkten P1,…,P12, die enthalten:

a) Produkte aus Zeit-Spannungssummen-Produkten u_s und Zeit-Stromsummen-Produkten i_s,

b) Produkte aus Zeit-Stromdummen-Produkten i_s und Zeit-Stromänderungswert-Produkten i'_s,

c) Produkte aus Zeit-Vorzeichenwert-Produkten s_s und Zeit-Stromsummen-Produkte i_s.

$$U_{LB} = \frac{(P1 - P2)(P3 - P4) - (P5 - P6)(P7 - P8)}{(P9 - P10)(P7 - P8) - (P11 - P12)(P3 - P4)} \quad (15)$$

$$U_{LB} = \frac{D1 * D2 - D3 * D4}{D5 * D4 - D6 * D2} \quad (16)$$

$$U_{LB} = \frac{P13 - P14}{P15 - P16} \quad (17)$$

$$U_{LB} = \frac{D7}{D8} \quad (18)$$

Die 12 Produkte bilden 6 verschiedene Differenzen D1, …, D6.

Die 6 Differenzen D1, …, D6 bilden wiederum 4 übergeordnete Produkte P13, …, P16. Diese bilden wiederum 2 übergeordnete Differenzen D7, D8, mit Hilfe denen eine Lichtbogenspannung ermittelt werden kann. Überschreitet diese betragsmäßig den zweiten Schwellwert SW2, wird das zweite Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben.

Die Lichtbogenspannung lässt sich ferner beispielsweise mit den folgenden, vereinfachten Formeln, die ebenfalls Lösungen der Integralgleichung sind, berechnen. Hierbei werden erfindungsgemäß nur zwei Wertesätze für die Ermittlung benötigt.

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{u_{s2}i_{s1} - u_{s1}i_{s2}}{t_{s2}i_{s1} - t_{s1}i_{s2}} = \frac{P5 - P6}{P17 - P18} = \frac{D3}{D9}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{u_{s2}i_{s1} - u_{s1}i_{s2}}{s_{s2}i_{s1} - s_{s1}i_{s2}} = \frac{P5 - P6}{P10 - P9} = \frac{D3}{D10}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{u_{s2}i'_{s1} - u_{s1}i'_{s2}}{t_{s2}i'_{s1} - t_{s1}i'_{s2}} = \frac{P19 - P20}{P21 - P22} = \frac{D11}{D12}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{u_{s2}i'_{s1} - u_{s1}i'_{s2}}{s_{s2}i'_{s1} - s_{s1}i'_{s2}} = \frac{P19 - P20}{P23 - P24} = \frac{D11}{D13}$$

Eine weitere beispielhafte Berechnung unter Verwendung dreier Wertesätze ist in der nachfolgenden Formel gegeben.

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{(u_{s2}i_{s1} - u_{s1}i_{s2})(i'_{s3}i_{s1} - i'_{s1}i_{s3}) - (u_{s3}i_{s1} - u_{s1}i_{s3})(i'_{s2}i_{s1} - i'_{s1}i_{s2})}{(t_{s1}i_{s3} - t_{s3}i_{s1})(i'_{s2}i_{s1} - i'_{s1}i_{s2}) - (t_{s1}i_{s2} - t_{s2}i_{s1})(i'_{s3}i_{s1} - i'_{s1}i_{s3})}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{(P5 - P6)(P25 - P26) - (P27 - P28)(P3 - P4)}{(P29 - P30)(P3 - P4) - (P18 - P17)(P25 - P26)}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{D3\,D14 - D15\,D2}{D16\,D2 - D17\,D14}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{P31 - P32}{P33 - P34}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{D18}{D19}$$

Jede Lösung der Integralgleichung, auch eine vereinfachte, stellt eine erfindungsgemäße Verwendung der Erfindung dar.

An Hand von Figur 3 kann in analoger Weise eine Unterscheidung getroffen werden.

Beispielsweise kann der zweite Schwellwert SW2 bzw. dessen Betrag für diesen Fall bei 30 Volt liegen.
Allgemein gesagt kann der Schwellwert für ein Niederspannungsnetz im Bereich 20 bis 300 Volt liegen, konkreter im Bereich 20 bis 150 Volt, spezifischer im Bereich 20 bis 70 Volt. Insbesondere Werte von 25 bis 50 Volt scheinen gut geeignet zu sein.

Bei der Berechnung der Lichtbogenspannung mit der erfindungsgemäßen Auswertung können bei der Zündung eines Lichtbogens starke Änderungen auftreten. Für eine schnelle und stabile Berechnung der Lichtbogenspannung können deshalb noch Verbesserungen derart erfolgen, dass beispielsweise die Vorzeichen- bzw. Signumfunktion modifiziert wird.

Im Allgemeinen berechnet sich die Signumfunktion aus dem gemessenen Strom wie folgt:

$$s(t) = \mathrm{sign}\left(i_m(t)\right)$$

Stabile Berechnungsergebnisse liegen häufig erst für die Zeit nach der Lichtbogenzündung vor, wenn die Messspannung den brennenden Lichtbogen komplett erfasst hat und in den zwei bzw. drei Integrationsintervalle bzw. Wertesätze komplett enthalten ist. Im Übergangsbereich kann es zu instabilen Berechnungsergebnissen kommen. Werden für diesen Bereich die Berechnungsergebnisse gefiltert, so erfolgt dadurch eine geringfügige Verzögerung der Detektion, allerdings mit sichereren Ermittlungsergebnissen. Erfindungsgemäß kann daher eine weitere Ausgestaltung verwendet werden, bei der die Signumfunktion auf den Wert Null gesetzt wird, wenn die ermittelte Spannung einen sechsten Schwellwert SW6, wie z.B. einen Spannungsschwellwert, unterschreitet.

$$s(t) = 0 \mid |u_{\mathrm{m}}(t)| \leq U^{s}_{\mathrm{I-RLs}}$$

Das Ergebnis der Signumfunktion wird z.B. immer Null gesetzt, wenn der Betrag des, beispielsweise zeitgleichen, Spannungswerts des Wertepaares kleiner-gleich dem sechsten Schwellwert SW6, wie $U^{s}_{\mathrm{I-RLs}}$, ist. Als typischer Schwellwert kann hierfür z.B. der Anoden-Kathodenspannungsabfall von etwa 20 V angenommen werden, da davon auszugehen ist, dass unter diesem Wert kein Lichtbogen entstehen kann. Der sechste Schwellwert SW6 bzw. $U^{s}_{\mathrm{I-RLs}}$ kann jeden Wert im Bereich 5 bis 150 Volt, spezifischer im Bereich 10 Volt bis 50 Volt, insbesondere 15 bis 20 Volt annehmen.

Durch Einführung dieser Nebenbedingung für die Berechnung der Signumfunktion werden bei der Lichtbogenzündung eventuell auftretende Instabilitäten in der Berechnung der Lichtbogenspannung minimiert.

Um weiterhin unzulässige Berechnungsergebnisse zu vermeiden, kann erfindungsgemäß vorteilhaft die Lichtbogenspannung auf den Wert Null gesetzt werden, wenn die Summe der zwei bzw. drei Integrale s_{S} der Signumfunktion bzw. die Summe der zwei

bzw. drei Zeit-Vorzeichenwert-Produkte s_s den Wert Null ergibt.

$$U_{\mathrm{LB}} = 0\,\mathrm{V} \mid s_{s1} + s_{s2} = 0$$

$$U_{\mathrm{LB}} = 0\,\mathrm{V} \mid s_{s1} + s_{s2} + s_{s3} = 0$$

Die zweite Störlichtbogenfunktion kann alternativ auch durch Wertepaare, beispielsweise durch einen differentiellen Ansatz, erfolgen. Erfindungsgemäß wird für die Berechnung auch hier die Spannung, der Strom und die Änderung des Stromes nach der Zeit verwendet.
Erfindungsgemäß müssen mindestens zwei Wertepaare dieser Größen vorliegen.
Die Berechnung erfolgt dadurch, dass fortlaufend gewisse Terme (mathematische Ausdrücke bzw. Gleichungen) berechnet werden.

Die Berechnung dieser Terme basiert auch hier auf einer Lösung der Leitungsgleichung 1.Ordnung unter den bereits genannten Annahmen.

$$u_m(t) = R_{BM} \cdot i_m(t) + L_{BM} \frac{di_m(t)}{dt}$$

$$u_m(t) = R_{BM} \cdot i_m(t) + L_{BM} \frac{di_m(t)}{dt} + \mathrm{sign}\left(i_m(t)\right) \cdot U_{LB}$$

Zum Lösen dieser erweiterten Ansatzdifferenzialgleichung wird erfindungsgemäß ein differenzierendes Lösungsverfahren verwendet. Die Berechnung der Lichtbogenspannung erfolgt erfindungsgemäß durch Umstellen und Auflösen der vorstehenden Gleichung nach U_{LB}.

$$\begin{aligned} u_m(t) &= R_{BM} \cdot i_m(t) + L_{BM} \cdot \frac{di_m(t)}{dt} + U_{LB} \cdot \mathrm{sgn}(i_m(t)) \\ &= R_{BM} \cdot i_m(t) + L_{BM} \cdot i'_m(t) + U_{LB} \cdot \mathrm{sgn}(i_m(t)) \end{aligned}$$

Eine Vereinfachung der Gleichung lässt sich dadurch erreichen, dass erfindungsgemäß einzelne Komponenten bzw. Elemente der Gleichung nicht berücksichtigt werden. Beispielsweise dass nur die Lichtbogenspannung und die ohmsche bzw. Widerstandskomponente berücksichtigt wird. Alternativ beispielsweise nur die induktive Komponente, induktive plus Vorzeichen des Stromes, ohmsche plus Vorzeichen des Stromes, ohmsche und induktive. In seiner vollständigen Form werden sowohl die ohmsche und induktive Komponente und das Vorzeichen des Stromes berücksichtigt.
Eine solche Vereinfachung hat den besonderen Vorteil, dass dadurch eine besonders einfache Ermittlung der Lichtbogenspannung ermöglicht wird und somit eine einfache Möglichkeit zur Ermittlung eines Störlichtbogen gegeben ist.

Bei Berücksichtigung nicht aller Komponenten lassen sich durch erfindungsgemäße Verwendung zweier unterschiedlicher Wertepaare die Lichtbogenspannung und die entsprechende Komponente berechnen.

Dabei kann beispielsweise die Lichtbogenspannung wie folgt berechnet werden.

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{i_2 \cdot u_1 - i_1 \cdot u_2}{i_2 - i_1} = \frac{PD13 - PD14}{DD9} = \frac{DD10}{DD9}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{i_2 \cdot u_1 - i_1 \cdot u_2}{\mathrm{sgn}(i_1) \cdot i_2 - \mathrm{sgn}(i_2) \cdot i_1} = \frac{PD13 - PD14}{DD1} = \frac{DD10}{DD1}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{i\prime_2 \cdot u_1 - i\prime_1 \cdot u_2}{i\prime_2 - i\prime_1} = \frac{PD15 - PD16}{DD11} = \frac{DD12}{DD11}$$

$$U_{\mathrm{LB}} = \frac{i'_2 \cdot u_1 - i'_1 \cdot u_2}{\mathrm{sgn}(i_1) \cdot i'_2 - \mathrm{sgn}(i_2) \cdot i'_1} = \frac{PD15 - PD16}{DD13} = \frac{DD12}{DD13}$$

Durch erfindungsgemäße Verwendung dreier unterschiedlicher Wertepaare lässt sich die Lichtbogenspannung U_{LB} berechnen.

Die Lichtbogenspannung U_{LB} lässt sich erfindungsgemäß beispielsweise wie folgt mit einer der nachfolgenden Formeln berechnen:

$$U_{LB} = \frac{(u_3 i_1 - u_1 i_3)(i'_2 i_1 - i'_1 i_2) - (u_2 i_1 - u_1 i_2)(i'_3 i_1 - i'_1 i_3)}{(i_2 - i_1)(i'_3 i_1 - i'_1 i_3) - (i_3 - i_1)(i'_2 i_1 - i'_1 i_2)}$$

$$U_{LB} = \frac{(PD1 - PD2)\,(PD3 - PD4) - (PD5 - PD6)(PD7 - PD8)}{(DD9)(PD7 - PD8) - (DD14)(PD3 - PD4)}$$

$$U_{LB} = \frac{DD3*DD4 - DD5*DD6}{DD9*DD6 - DD14*DD4}$$

$$U_{LB} = \frac{PD9 - PD10}{PD17 - PD18} = \frac{DD7}{DD15}$$

Oder:

$$U_{LB} = \frac{(u_3 i_1 - u_1 i_3)(i'_2 i_1 - i'_1 i_2) - (u_2 i_1 - u_1 i_2)(i'_3 i_1 - i'_1 i_3)}{(\mathrm{sgn}(i_1) i_2 - \mathrm{sgn}(i_2) i_1)(i'_3 i_1 - i'_1 i_3) - (\mathrm{sgn}(i_1) i_3 - \mathrm{sgn}(i_3) i_1)(i'_2 i_1 - i'_1 i_2)}$$

Wobei u_1, i_1, i'_1 die Spannungs-, Strom- und Stromänderungswerte eines ersten Wertepaares sind. Die Indizes gelten analog für das zweite bzw. dritte Wertepaar.
Das Kürzel sgn steht für die Signumfunktion respektive Vorzeichenfunktion. Diese Funktion ordnet einer Zahl ihr Vorzeichen zu. Diese ist wie folgt definiert:
sgn(x) = +1, falls x>0;
sgn(x) = 0, falls x=0;
sgn(x) = -1, falls x<0.

Die vorstehende Formel besteht aus zwei Differenzen DD1, DD2, aus mehreren Produkten PD1,…,PD8, die wiederum die Basis für

Differenzen DD3 bis DD6 bilden. Diese können wiederum zu Produkten PD9,…,PD12 zusammengefasst werden. Diese Produkte bilden die Basis für zwei weitere Differenzen DD7, DD8, mit deren Hilfe die Lichtbogenspannung berechnet werden kann. Die vorstehende Formel kann wie folgt umgeschrieben werden:

$$U_{LB} = \frac{(PD1 - PD2)\,(PD3 - PD4) - (PD5 - PD6)(PD7 - PD8)}{(DD1)(PD7 - PD8) - (DD2)(PD3 - PD4)}$$

$$U_{LB} = \frac{DD3 * DD4 - DD5 * DD6}{DD1 * DD6 - DD2 * DD4}$$

$$U_{LB} = \frac{PD9 - PD10}{PD11 - PD12}$$

$$U_{LB} = \frac{DD7}{DD8} \qquad (10)$$

Der Schwellwertvergleich kann wieder analog gemäß Figur 3 vorgenommen werden. In einem ersten Schritt 1 erfolgt die fortlaufende Berechnung der Lichtbogenspannung.
In einem zweiten Schritt 2 wird diese jeweils mit dem zweiten Schwellwert SW2 verglichen.
Erfolgt eine betragsmäßige Überschreitung des zweiten Schwellwertes SW2, wird in einem dritten Schritt 3 die ein zweites Störlichtbogenerkennungssignals abgegeben.
Ist der Schwellwert SW nicht überschritten, kann in einem vierten Schritt 4 die Meldung, dass kein Störlichtbogen vorhanden ist, erfolgen.

Beispielsweise kann der zweite Schwellwert SW2 bzw. dessen Betrag für diesen Fall bei 30 Volt liegen.
Ausgehend von etwa 10-20 V für den Anoden-Kathodenfall beruht die Annahme darauf, dass noch etwa 10 V zusätzlich für die Lichtbogensäule benötigt werden.
Allgemein gesagt kann der Schwellwert für ein, insbesondere 400 Volt, Niederspannungsnetz im Bereich 20 bis 300 Volt lie-

gen, spezifischer im Bereich 20 bis 70 Volt. Insbesondere Werte von 25 bis 50 Volt scheinen gut geeignet zu sein.

Die Störlichtbogenerkennung kann erfindungsgemäß mit weiteren Kriterien kombiniert werden. Beispielse mit einem weiteren Vergleich der Höhe des elektrischen Stromes des Stromkreises. Der gemessene Strom, insbesondere der Effektivwert des gemessenen Stromes, der beispielsweise nach der Methode von Mann-Morrison berechnet werden kann, wird dabei mit einem dritten Schwellwert SW3 verglichen und nur wenn auch dieser dritte Schwellwert SW3 überschritten ist und das Kriterium für ein Störlichtbogenerkennungssignal erfüllt ist, wird ein solches abgegeben.
Diese als Überstromfreigabe bezeichnetes Kriterium führt zu einer sicheren Fehlerabgrenzung. Für die Störlichtbogenerkennung muss ein minimaler Störlichtbogenstrom im Stromkreis fließen, um ein Störlichtbogenerkennungssignal zu bewirken. Als Schwellwert für die Überstromfreigabe kann ein vom Betriebsstrom abhängiger Wert gewählt werden. Alternativ könnte die Schwellwertfestlegung auch lichtbogenspezifisch erfolgen, da für einen brennenden parallelen Niederspannungslichtbogen ein Lichtbogenstrom von üblicherweise 1000 A notwendig ist. Ein serieller Lichtbogen ist bei wesentlich geringeren Strömen möglich. D.h. der dritte Schwellwert SW3 kann je nach Einsatz bzw. Anwendung jeden Wert ab 1 A, 10 A, 100 A, 1000 A oder 5000 A aufweisen.

Die Verknüpfung zwischen Überstromfreigabe und der erfindungsgemäßen Lichtbogenspannungsberechnung ist in Figur 4 dargestellt.

Figur 4 zeigt eine Darstellung, bei der die ermittelte Spannung U und die ermittelte Stromgröße I des Stromkreises, durch nicht dargestellte Spannungs- und Stromsensoren, einer ersten Auswerteeinheit AE zugeführt werden. Die Spannung U wird einer ersten Störlichtbogenerkennungsfunktion SLEF1 und einer zweiten Störlichtbogenerkennungsfunktion SLEF2 zugeführt. Die Stromgröße I wird der zweiten Störlichtbogenfunk-

tion SLEF2 und einer dritten Störlichtbogenfunktion SLEF3 zugeführt.

Die drei Störlichtbogenerkennungsfunktionen SLEF1, SLEF2, SLEF3 ermitteln jeweils nach unterschiedlichen Prinzipien Störlichtbogen bzw. Störlichtbogenkriterien.

Beispielsweise kann die erste Störlichtbogenerkennungsfunktion SLEF1 eine Störlichtbogenerkennung mittels der Teilsummenberechnung respektive W-RU durchführen. Alternativ kann diese auch eine Spannungswert-Differenzenquotientberechnung durchführen.

Beispielsweise kann die zweite Störlichtbogenerkennungsfunktion eine integrierende oder differenzierende Ermittlung der Lichtbogenspannung durchführen.

Beispielsweise kann die dritte Störlichtbogenerkennungsfunktion eine Prüfung hinsichtlich gewisser Strombedingungen durchführen.

Auch andere Kombinationen und Verschachtelungen der genannten Methoden sind denkbar und umfasst.

Wesentlich ist, dass mindestens zwei verschiedene Störlichtbogenerkennungsfunktionen, d.h. zwei verschiedene Methoden Anwendung finden. Optimalerweise können drei oder auch mehr Methoden parallel angewendet werden.

Besonders vorteilhaft hat sich die Kombination aus Teilsummenberechnung/W-RU und integrierender Ermittlung herausgestellt, optimalerweise in Kombination mit der Überstromfreigabe. Hiermit lässt sich eine besonders gute Erkennung von Störlichtbögen erreichen.

Die Ausgänge der ersten beiden Störlichtbogenerkennungsfunktionen SLEF1, SLEF2, die bei erkennen eines Störlichtbogen jeweils ein erstes oder/und zweites Störlichtbogenerkennungssignal SLES1, SLES2 abgeben, sind mit einer ODER-Funktion OF verbunden. Der Ausgang der dritten Störlichtbogenerkennungsfunktionen SLEF 3 und der Ausgang der Oder-Funktion OF sind mit einer Und-Funktion UF verbunden. Dessen Ausgang bildet den Ausgang AUS der Auswerteeinheit AE.

D.h. bei Vorliegen eines ersten oder zweiten Störlichtbogenerkennungssignals SLES1, SLES2 und bei vorliegen eines drit-

ten Störlichtbogenerkennungssignals SLES3 wird am Ausgang der Auswerteinheit AE ein Störlichtbogenerkennungssignal SLES abgegeben.

Die Auswerteinheit muss dabei nicht als geschlossene Baugruppe realisiert sein, sondern kann dezentral aufgebaut sein. Beispielsweise kann sie durch einen Mikroprozessor realisiert sein, der die erfindungsgemäßen Auswertungen durchführt.

Des Weiteren kann die Abgabe eines Störlichtbogenerkennungssignals erst dann erfolgen, wenn mindestens zweimal entsprechende Auswertewerte oder/und das Stromkriterium den entsprechenden Schwellwert überschreitet. Analog kann auch eine dreimalige, viermalige, fünfmalige, usw. Überschreitung des Schwellwertes zur Abgabe eines Störlichtbogenerkennungssignales führen. So wird eine besonders sichere Auswertung und Erkennung eines Störlichtbogens erreicht.

Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Übersichtsschaltbildes für eine Anlagenkonfiguration mit abgangsselektiver Störlichtbogenerkennungseinheit für die Erfassung von Störlichtbogen. Figur 5 zeigt eine Niederspannungs-Einspeisung NSE, mit Sicherungen SI, denen Stromschienen bzw. Sammelschienen L1, L2, L3 für die Leiter eines Dreiphasen-Wechselstromnetzes bzw. Stromkreises folgen. Der Neutralleiter bzw. Nullleiter ist nicht dargestellt. Jeder der drei Stromschienen L1, L2, L3 ist jeweils ein Spannungssensor SEU1, SEU2, SEU3 und ein Stromsensor SEI1, SEI2, SEI3 zugeordnet. Die Stromschienen sind mit einer Schalt- oder/und Verteilanlage SVA verbunden.
Die Spannungs- und Stromsensoren sind mit einer erfindungsgemäßen Störlichtbogenerkennungseinheit SEE verbunden, die eine erfindungsgemäße Auswerteeinheit AE aufweist. Diese weist einen Ausgang zur Abgabe eines Störlichtbogenerkennungssignals SLES auf.
Die Spannungs- und Stromsensoren ermitteln Spannungswerte und Stromgrößen (Stromwert oder/und Stromwertänderung) der Sam-

melschienen L1, L2, L3 und führen sie der erfindungsgemäßen Störlichtbogenerkennungseinheit SEE zu.
Die Sensoren sind dabei außerhalb Störlichtbogenerkennungseinheit angeordnet und mit dieser verbunden.

Figur 6 zeigt eine weitere schematische Darstellung eines Übersichtsschaltbildes für eine Anlagenkonfiguration mit zentraler Störlichtbogenerkennungseinheit für die Erfassung von Störlichtbogen. Figur 6 zeigt eine Niederspannungseinspeisung NSE, der ein Einspeise-Kabel ELT1 folgt, dem ein Einspeise-Schalter ESCH folgt, dem ein Stromsensor SEI1 und ein Spannungssensor SEU1 folgt, dem eine Sammelschien SS folgt. An der Sammelschiene SS sind 3 Abgänge ABG I ABG II und ABG III vorgesehen. Diesen ist je ein Abgangs-Kabel ALT1, ALT2, ALT3 zugeordnet.
Die Sensoren SEI1, SEU1 sind mit einer Störlichtbogenerkennungseinheit SEE verbunden, dessen Ausgang wiederum mit dem Einspeise-Schalter ESCH verbunden ist. Der Einspeise-Schalter kann dabei ein Leistungsschalter sein. Bei Erkennung eines Störlichtbogens kann der elektrische Stromkreis, d.h. die Stromversorgung der Sammelschiene SS unterbrochen werden, wenn beispielsweise in einem der Abgänge ein Störlichtbogen auftritt.

Figur 7 zeigt eine Darstellung gemäß Figur 6, mit dem Unterschied, dass die Sensoren im zweiten Abgang ABG II angeordnet sind, der zudem Sicherungen SI und einen Kurzschließer KS aufweist. Die Sensoren SEI1 und SEU1 erfassen Strom- und Spannungswerte des Abganges ABG II und geben diese an die Störlichtbogenerkennungseinheit SEE weiter. Erkennt die Störlichtbogenerkennungseinheit SEE einen Störlichtbogen, wird an ihrem Ausgang ein Störlichtbogenerkennungssignal SLES abgegeben und zum Kurzschließer KS übertragen. Dieser schließt daraufhin den Abgang ABG II kurz, um den Störlichtbogen zu löschen.

Die Störlichtbogenerkennung gemäß Figur 6 oder 7 kann beispielsweise als mobiles System ausgeführt sein.

Die Erfindung soll im Folgenden nochmals erläutert werden.

Mit der Erfindung können Störlichtbögen, insbesondere parallele oder stromstarke, insbesondere in Niederspannungsschalt- und Verteilungsanlagen, erkannt werden. Erfindungsgemäß steht dazu insbesondere eine nummerischer Lösung bzw. Detektionsalgorithmus auf Grundlage der Auswertung von gemessenen Spannungs- bzw. Stromwerten bzw. -signalen zur Verfügung. Für die Erkennung von Störlichtbögen wird insbesondere die Spannung gemessen und Mithilfe einer erfindungsgemäßen Berechnung ein Störlichtbogen ermittelt. Aufgrund der in der Praxis notwendigen schnellen Lichtbogendetektion kann hierbei erfindungsgemäß eine außerordentlich schnelle zeitliche Auswertung zur Verfügung gestellt werden.

Mit dieser Erfindung können beispielsweise auf Basis einer zentralen Spannungs- bzw. Strommessung an der Einspeisung stromstarke Störlichtbögen, beispielsweise in Schalt- und Verteileranlagen, z.B. in der Niederspannung, schnell detektiert werden.

Die Erfindung kann insbesondere vorteilhaft in bzw. im Zusammenwirken mit Leistungsschaltern oder Kurzschließern eingesetzt werden.

Eine aufwendige Installation von Lichtwellenleitern in Anlagen zur Störlichtbogenerkennung ist nicht erforderlich. Die Spannungs- / Strommessung kann zentral realisiert und ggf. synergetisch von weiteren Betriebsmitteln genutzt werden.

Im Weiteren ist eine Implementierung in vorhandene Schalt- und Verteileranalgen einfach möglich, da ein erfindungsgemäßes Detektionssystem beispielsweise lediglich zentral eingebaut werden kann und keine Installation in einzelnen, zu schützenden Zellen erforderlich ist.

Die Erfindung kann als Baugruppe mit zentraler Spannungs- und Stromermittlung realisiert sein.

Die bisher am Markt etablierten Detektionssysteme basieren auf einer optischen Fehlererkennung und weisen somit Potential zu einer Fehlauslösung durch die Einwirkung von Fremdlicht (z.B. Blitzlicht) auf. Bei der erfindungsgemäßen Lösung auf Grundlage einer Spannungs- bzw. Strommessung ist dieses Gefahrenpotential nicht vorhanden.

Obwohl die Erfindung im Detail durch das Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

A	Ampere
ABG I	Abgang I
ABG II	Abgang II
ABG III	Abgang III
AE	Auswerteeinheit
AE1	Erste Auswerte(teil)einheit
AE2	Zweite Auswerte(teil)einheit
ALT 1	Abgangs-Kabel 1
ALT 2	Abgangs-Kabel 2
ALT 3	Abgangs-Kabel 3
ARB	Arbeitsbereich
AUS	Ausgang
ELT1	Einspeise-Kabel 1
ESCH	Einspeise-Schalter, Leistungsschalter
I	elektrischer Strom / Stromgröße
i_{LB}	Lichtbogenstrom
i_m	Stromwert, gemessen
i'_m	Wert der Änderung des Stromwertes
KS	Kurzschließer
L_{BM}	Induktivität Verbraucher
L_{EK}	Induktivität Einspeise-Kabel
L1	Stromschiene, Leiter 1
L2	Stromschiene, Leiter 2
L3	Stromschiene, Leiter 3
ms	Millisekunden
NSE	Niederspannungseinspeisung
OF	Oder-Funktion
R_{BM}	Widerstand Verbraucher
R_{EK}	Widerstand Einspeise-Kabel
SEE	Störlichtbogenerkennungseinheit
SLEF1	erste Störlichtbogenerkennungsfunktion
SLEF2	zweite Störlichtbogenerkennungsfunktion
SLEF3	dritte Störlichtbogenerkennungsfunktion
SEI1	Stromsensor
SEI2	Stromsensor
SEI3	Stromsensor

SEU1	Spannungssensor
SEU2	Spannungssensor
SEU3	Spannungssensor
SLES	Störlichtbogenerkennungssignal
SLES1	erstes Störlichtbogenerkennungssignal
SLES2	zweites Störlichtbogenerkennungssignal
SLES3	drittes Störlichtbogenerkennungssignal
SI	Sicherung
SS	Sammelschiene
SVA	Schalt- und Verteilanlage
SW1	Schwellwert Lichtbogenspannung
SW2	Schwellwert Lichtbogenspannung
SW3	Schwellwert Stromfreigabe
SW4	Schwellwert Spannungsdifferenzenquotient
SW5	fünfter Schwellwert
SW6	sechster Schwellwert
t	Zeit
U	elektrische Spannung
UF	Und-Funktion
U_{LB}	Lichtbogenspannung
u_m	Spannungswert, gemessen
u_n	Spannungswert, Energiequelle / Netz
V	Volt
&	UND-Einheit
1	Schritt 1 - fortlauf. Berechnung
2	Schritt 2 - Schwellwertvergleich
3	Schritt 3 - Abgabe Störlichtbogenerkennungssignal
4	Schritt 4 - Kein Störlichtbogen
100	Energiequelle
200	Netzzugang / Einspeise-Kabel
300	Verbraucher / Betriebsmittel / Energiesenke
400	Lichtbogen
500	Überwachter Bereich
600	Meßpunkte

Patentansprüche

1. Störlichtbogenerkennungseinheit für einen elektrischen Stromkreis, aufweisend
mindestens einen dem Stromkreis zugeordneten Spannungssensor, zur periodischen Ermittlung von elektrischen Spannungswerten des elektrischen Stromkreises,
mindestens einen dem Stromkreis zugeordneten Stromsensor, zur periodischen Ermittlung von elektrischen Stromgrößen des Stromkreises,
die beide mit einer Auswerteeinheit verbunden sind, die derart ausgestaltet ist,
dass die elektrischen Spannungswerte einer ersten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die an Hand des Signalverlaufs der Spannung eine erste Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines ersten Schwellwertes (SW1) ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgibt,
dass die elektrischen Spannungswerte und Stromgrößen einer zweiten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die an Hand der Spannungswerte und Stromgrößen eine zweite Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines zweiten Schwellwertes (SW2) ein zweites Störlichtbogenerkennungssignal abgibt,
dass die beiden Störlichtbogenerkennungssignale einer Oder-Funktion zugeführt werden, so dass bei Vorliegen eines ersten oder zweiten Störlichtbogenerkennungssignales ein oderverknüpftes Störlichtbogenerkennungssignal als ausgangsseitiges Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben wird.

2. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswerteeinheit derart ausgestaltet ist,
dass die elektrischen Stromgrößen einer dritten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die fortlaufend die Stromgröße oder deren Äquivalent mit einem dritten Schwellwert (SW3) vergleicht und bei dessen Überschreitung ein drittes Störlichtbogenerkennungssignal abgibt,

dass das oderverknüpfte Störlichtbogenerkennungssignal und das dritte Störlichtbogenerkennungssignal einer Und-Funktion zugeführt werden, so dass das ausgangsseitige Störlichtbogenerkennungssignal nur bei Vorliegen des dritten und des oderverknüpften Störlichtbogenerkennungssignales von der Störlichtbogenerkennungseinheit abgegeben wird.

3. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß Patentanspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Stromkreis ein Niederspannungsstromkreis, insbesondere Wechselstromkreis ist.

4. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß einem der vorhergehenden Patentansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die elektrischen Spannungswerte oder/und Stromgrößen mit einem festen Zeitabstand (dt) ermittelt werden.

5. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß einem der vorhergehenden Patentansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Störlichtbogenerkennungsfunktion fortlaufend eine erste Hälfte einer ersten Anzahl Spanungswerte zu einer ersten Teilsumme (TS1) und die zweite Hälfte an Spannungswerten zu einer zweiten Teilsumme (TS2) aufsummiert,
eine Differenz (DU) beider Teilsummen ermittelt wird,
dass die Differenz (DU) mit einem ersten Schwellwert (SW1) verglichen wird und bei dessen betragsmäßiger Überschreitung ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal (SLES1) abgegeben wird.

6. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß einem der vorhergehenden Patentansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Störlichtbogenerkennungsfunktion fortlaufend aus zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Spannungswerten eine Spannungsdifferenz ermittelt, die Spannungsdifferenz durch

die zeitliche Differenz der Spannungswerte dividiert wird, der daraus ermittelte Differenzenquotient als Maß für die Änderung der Spannung nach der Zeit an Stelle des ersten mit einem vierten Schwellwert (SW4) verglichen wird und bei dessen betragsmäßiger Überschreitung das erste Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben wird.

7. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß einem der vorhergehenden Patentansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass als elektrische Stromgröße entweder ein elektrischer Stromwert (i_m) oder/und ein Wert für die Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit (i'_m) ermittelt wird.

8. Störlichtbogenerkennungseinheit nach Patentanspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Falle der Ermittlung des elektrischen Stromwertes (i_m) daraus ein Wert für die Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit (i'_m) ermittelt wird oder
dass im Falle der Ermittlung des Wertes für die Änderung des elektrischen Stromes nach der Zeit (i'_m) daraus der elektrische Stromwert (i_m)ermittelt wird,
so dass ein Wertepaar einen Spannungswert (u_m), einen Stromwert (i_m) und einen Wert für die Änderung des Stromes nach der Zeit (i'_m) aufweist.

9. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß Patentanspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Störlichtbogenerkennungsfunktion fortlaufend aus mindestens zwei Wertepaaren ein Lichtbogenspannung (U_{LB}) berechnet, die mit dem zweiten Schwellwert (SW2) verglichen wird und bei dessen betragsmäßiger Überschreitung das zweite Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben wird.

10. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß Patentanspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Störlichtbogenerkennungsfunktion fortlaufend

aus drei Wertepaaren eine Lichtbogenspannung (U_{LB}) berechnet.

11. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß Patentanspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Störlichtbogenfunktion derart ausgestaltet ist, dass die Berechnung der Lichtbogenspannung (U_{LB}) mittels einer Differentialgleichung oder deren Lösung durchgeführt wird.

12. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß Patentanspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein Wertesatz mehrere Wertepaare (t_S) umfasst und dass die zweite Störlichtbogenerkennungsfunktion fortlaufend aus mindestens zwei Wertesätzen eine Lichtbogenspannung (U_{LB}) berechnet, die mit dem zweiten Schwellwert (SW2) verglichen wird und bei dessen betragsmäßiger Überschreitung das zweite Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben wird.

13. Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß Patentanspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Störlichtbogenerkennungsfunktion fortlaufend aus drei Wertesätzen eine Lichtbogenspannung (U_{LB}) berechnet.

14. Störlichtbogenerkennungseinheit nach Patentanspruch 12 oder 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Störlichtbogenfunktion derart ausgestaltet ist, dass die Berechnung der Lichtbogenspannung (U_{LB}) mittels einer Integralgleichung oder deren Lösung durchgeführt wird.

15. Leistungsschalter für einen elektrischen Niederspannungsstromkreis, aufweisend eine Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß einem der Patentansprüche 1 bis 14, die mit dem Leistungsschalter verbunden ist und die derart ausgestaltet sind, dass bei Abgabe eines ausgangsseitigen Störlichtbogenerken-

nungssignals der Leistungsschalter auslöst, um den elektrischen Stromkreis zu unterbrechen.

16. Kurzschließer, aufweisend eine Störlichtbogenerkennungseinheit gemäß einem der Patentansprüche 1 bis 14,
die mit dem Kurzschließer verbunden ist, und die derart ausgestaltet sind, dass bei Abgabe eines ausgangsseitigen Störlichtbogenerkennungssignals der Kurzschließer den elektrischen Stromkreis kurzschließt, um ein Löschen des Störlichtbogen zu bewirken.

17. Verfahren zur Störlichtbogenerkennung für einen elektrischen Stromkreis,
bei dem periodisch elektrische Spannungswerte und Stromgrößen des elektrischen Stromkreises ermittelt werden,
dass die elektrischen Spannungswerte einer ersten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die an Hand des Signalverlaufs der Spannung eine erste Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines ersten Schwellwertes (SW1) ein erstes Störlichtbogenerkennungssignal abgibt,
dass die elektrischen Spannungswerte und Stromgrößen einer zweiten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die an Hand der Spannungswerte und Stromgrößen eine zweite Störlichtbogenerkennung durchführt und bei betragsmäßiger Überschreitung eines zweiten Schwellwertes (SW2) ein zweites Störlichtbogenerkennungssignal abgibt,
dass die beiden Störlichtbogenerkennungssignale einer Oder-Funktion zugeführt werden, so dass bei Vorliegen eines ersten oder zweiten Störlichtbogenerkennungssignales ein oderverknüpftes Störlichtbogenerkennungssignal als ausgangsseitiges Störlichtbogenerkennungssignal abgegeben wird.

18. Verfahren nach Patentanspruch 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass die elektrischen Stromgrößen einer dritten Störlichtbogenerkennungsfunktion zugeführt werden, die fortlaufend die Stromgröße oder deren Äquivalent mit einem dritten Schwell-

wert (SW3) vergleicht und bei dessen Überschreitung ein drittes Störlichtbogenerkennungssignal abgibt,
dass das oderverknüpfte Störlichtbogenerkennungssignal und das dritte Störlichtbogenerkennungssignal einer Und-Funktion zugeführt werden, so dass das ausgangsseitige Störlichtbogenerkennungssignal nur bei Vorliegen des dritten und des oderverknüpften Störlichtbogenerkennungssignales von der Störlichtbogenerkennungseinheit abgegeben wird.

FIG 1

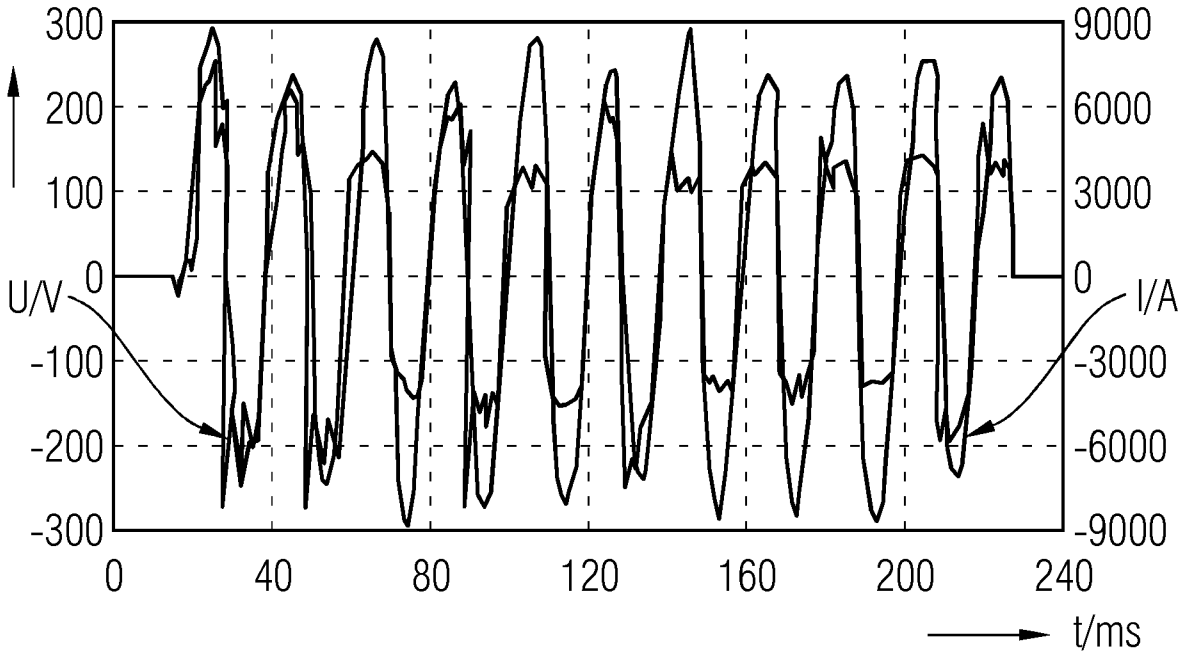

300
200
100
0
-100
-200
-300
U/V
9000
6000
3000
0
-3000
-6000
-9000
I/A
0
40
80
120
160
200
240
t/ms

FIG 2

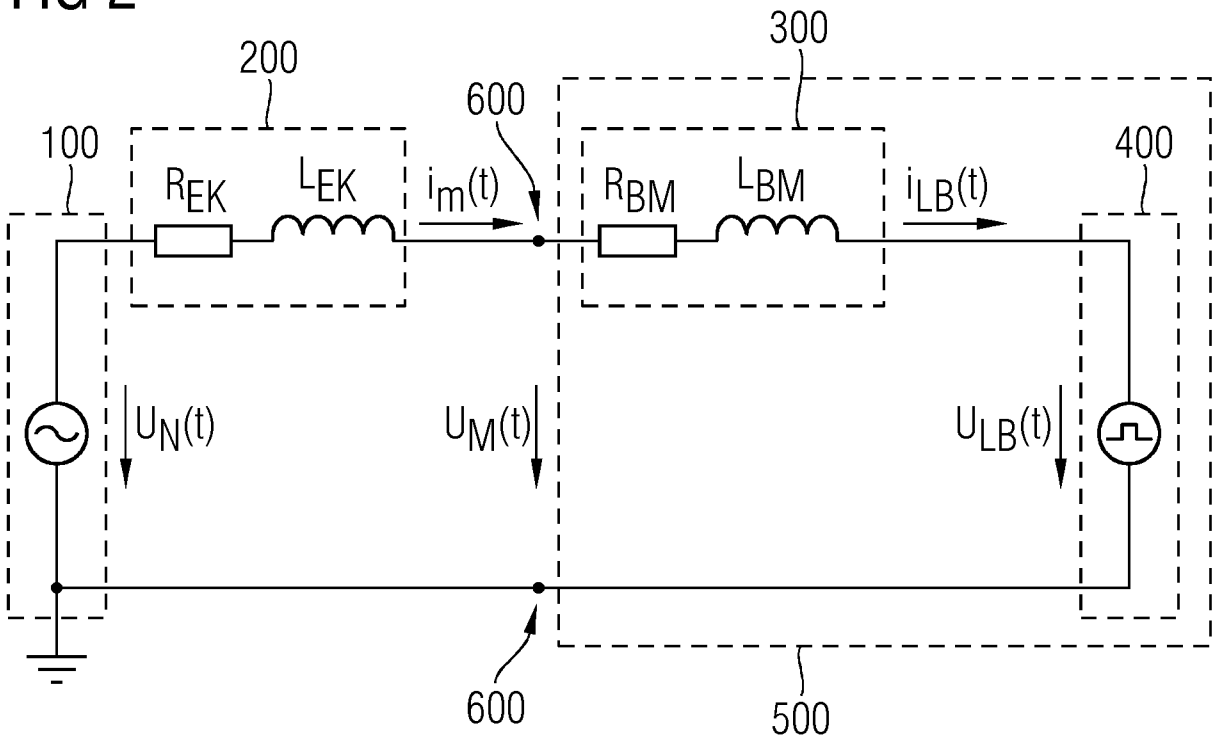
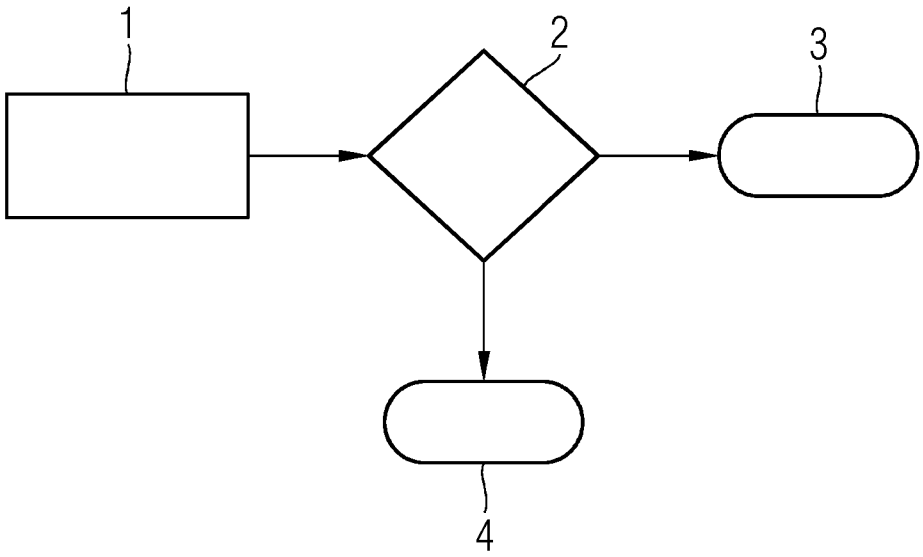

200
300
600
100
400
R_{EK}
L_{EK}
$i_m(t)$
R_{BM}
L_{BM}
$i_{LB}(t)$
$U_N(t)$
$U_M(t)$
$U_{LB}(t)$
600
500

FIG 3



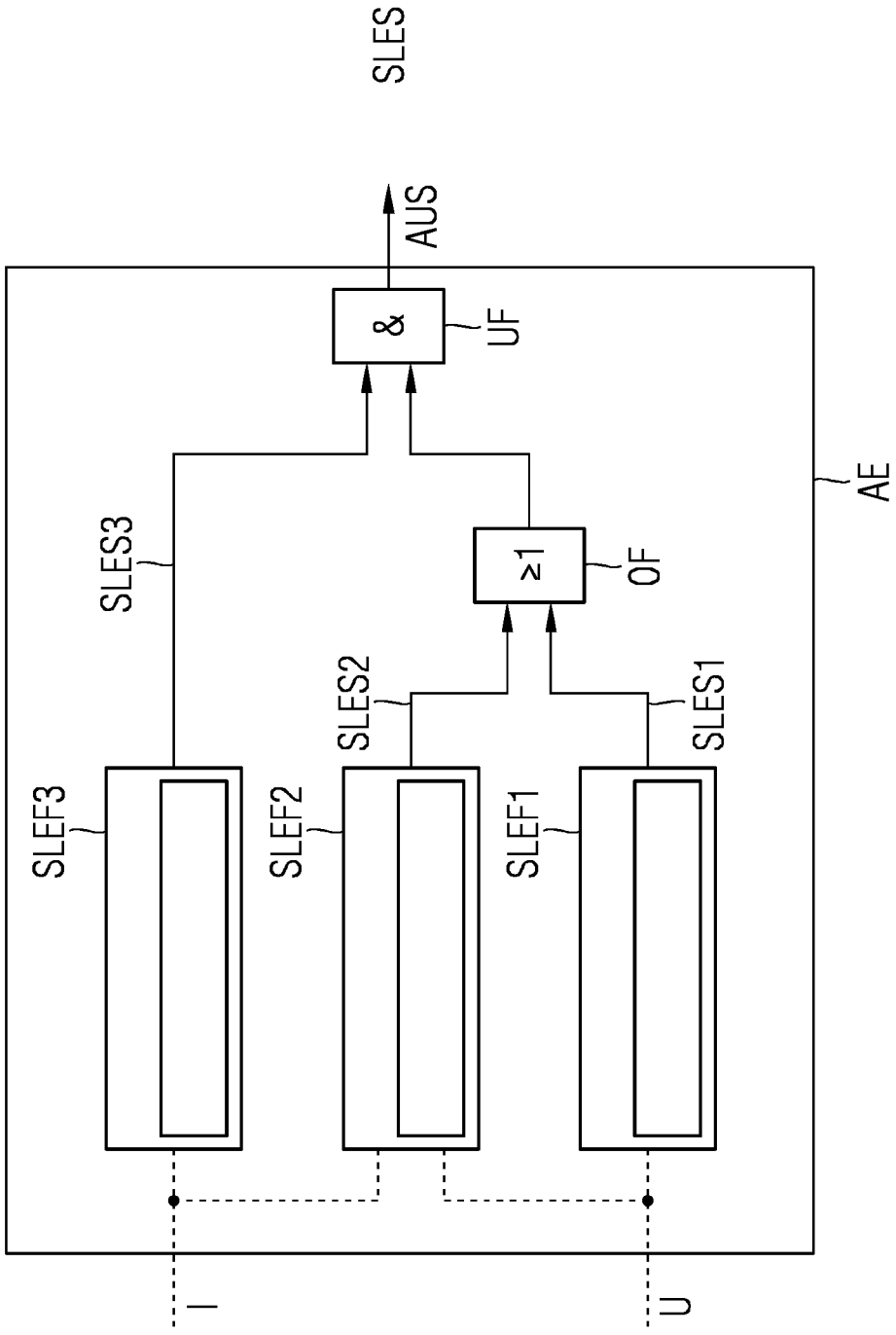


FIG 4

FIG 5

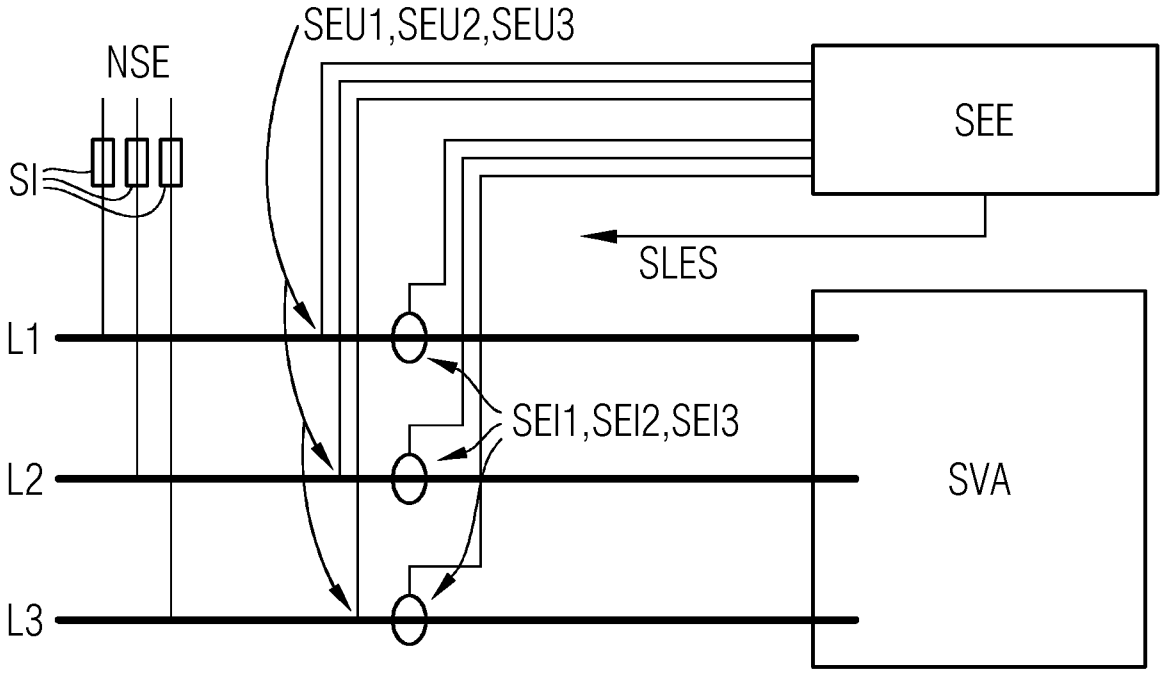
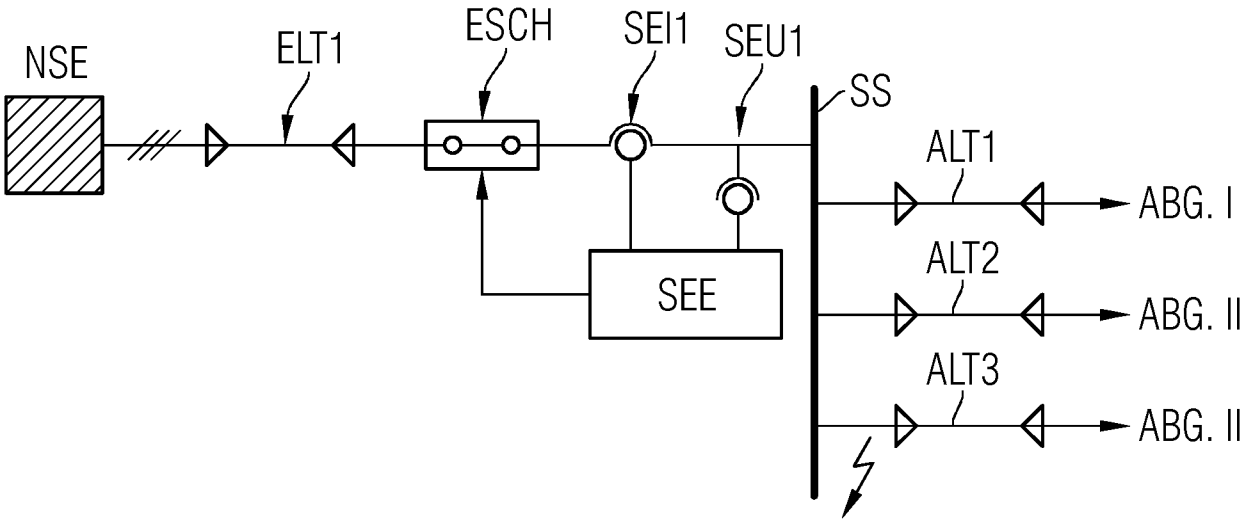

SEU1,SEU2,SEU3
NSE
SEE
SI
SLES
L1
SEI1,SEI2,SEI3
L2
SVA
L3

FIG 6


NSE
ELT1
ESCH
SEI1
SEU1
SS
ALT1
ABG. I
ALT2
SEE
ABG. II
ALT3
ABG. II

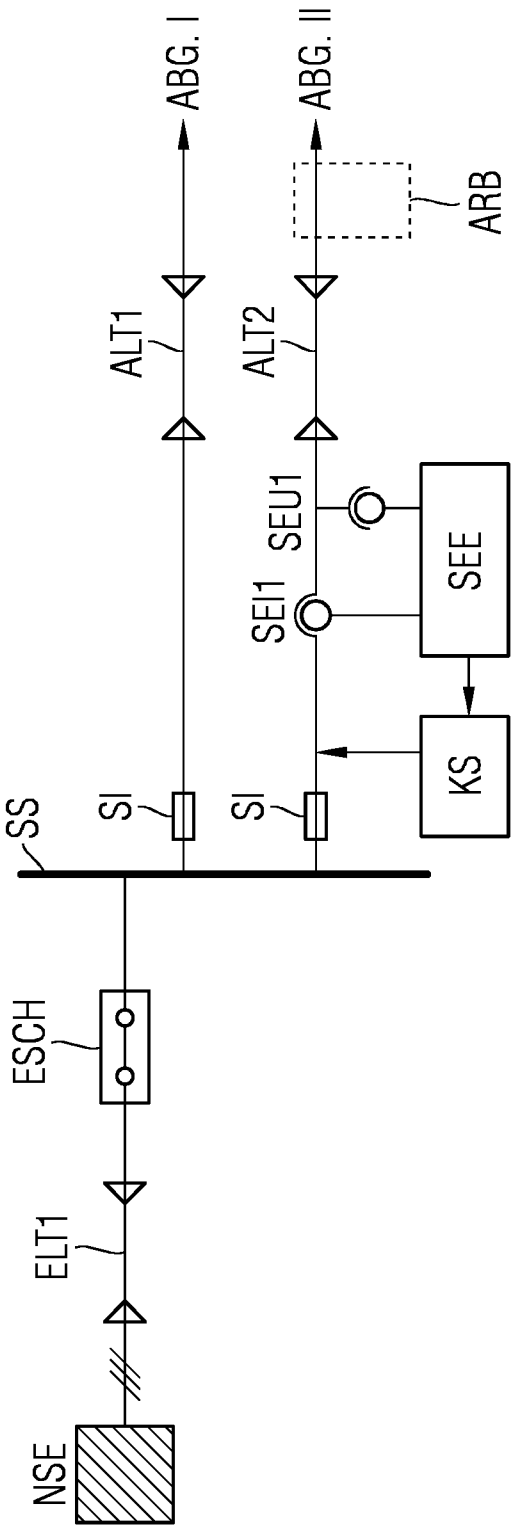

ABG. I
ABG. II
ARB
ALT1
ALT2
SEU1
SEI1
SEE
KS
SS
SI
SI
ESCH
ELT1
NSE

FIG 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/062271

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02H1/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02H H03H G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/019444 A1 (DARGATZ MARV [US] ET AL) 27 January 2011 (2011-01-27) paragraphs [0015] - [0031]; figures 2,3,4	1-16,18
X	US 6 654 219 B1 (ROMANO JAMES P [US] ET AL) 25 November 2003 (2003-11-25) column 4, line 42 - column 6, line 40	1-6,9-18
Y	WO 2009/156513 A1 (SIEMENS AG [DE]; MEYER JOERG [DE]; SCHEGNER PETER [DE]) 30 December 2009 (2009-12-30) the whole document	1-18
Y	US 2008/129307 A1 (YU WENJIANG [CA] ET AL) 5 June 2008 (2008-06-05) paragraphs [0051] - [0059]; figure 5	1-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 February 2017	09/03/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Palukova, Mila

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/062271

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011019444 A1	27-01-2011	AU 2010275466 A1	10-11-2011
		CA 2758815 A1	27-01-2011
		EP 2457313 A2	30-05-2012
		EP 2741388 A1	11-06-2014
		JP 5524335 B2	18-06-2014
		JP 2013500476 A	07-01-2013
		KR 20120039036 A	24-04-2012
		US 2011019444 A1	27-01-2011
		US 2012206843 A1	16-08-2012
		WO 2011011711 A2	27-01-2011
US 6654219 B1	25-11-2003	NONE	
WO 2009156513 A1	30-12-2009	CN 102077435 A	25-05-2011
		DE 102008030987 A1	07-01-2010
		EP 2291895 A1	09-03-2011
		US 2011110006 A1	12-05-2011
		WO 2009156513 A1	30-12-2009
US 2008129307 A1	05-06-2008	NONE	

FIG 1

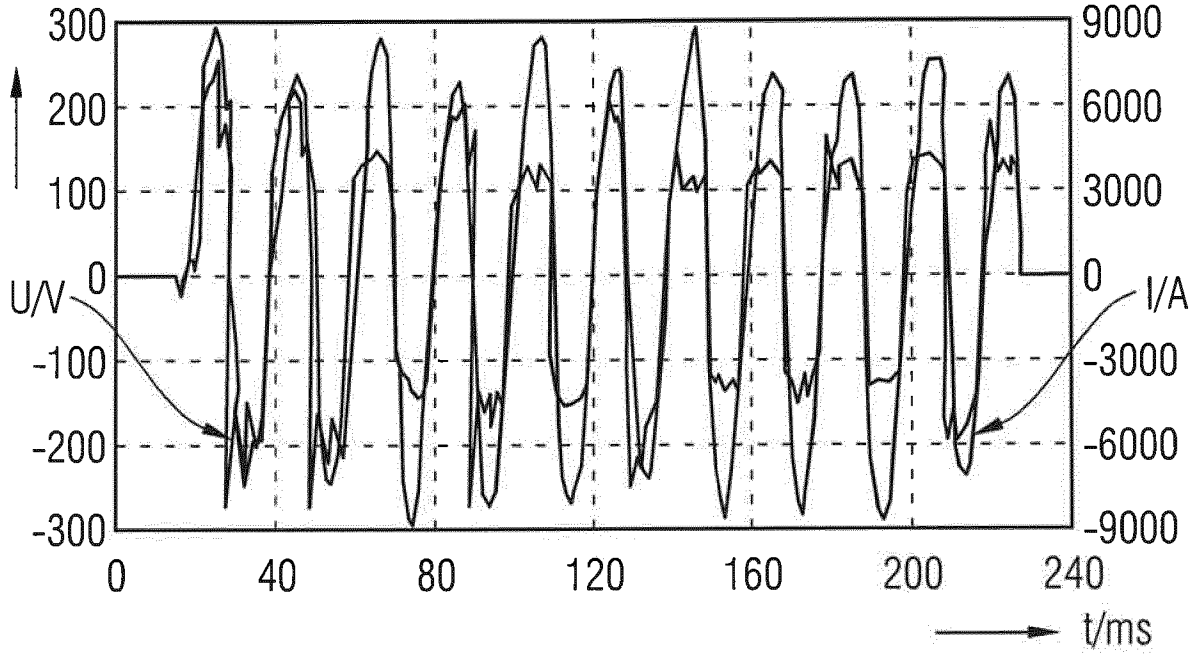

300
200
100
0
-100
-200
-300
U/V
9000
6000
3000
0
-3000
-6000
-9000
I/A
0
40
80
120
160
200
240
t/ms

FIG 2

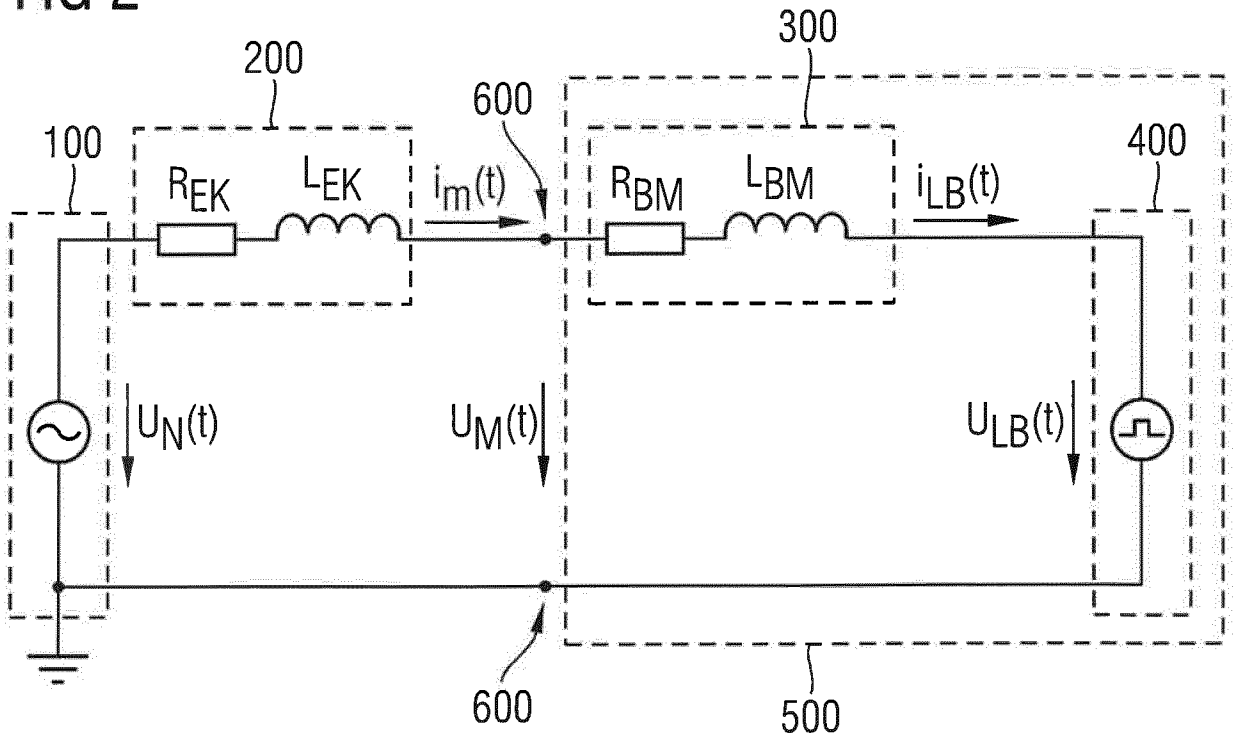
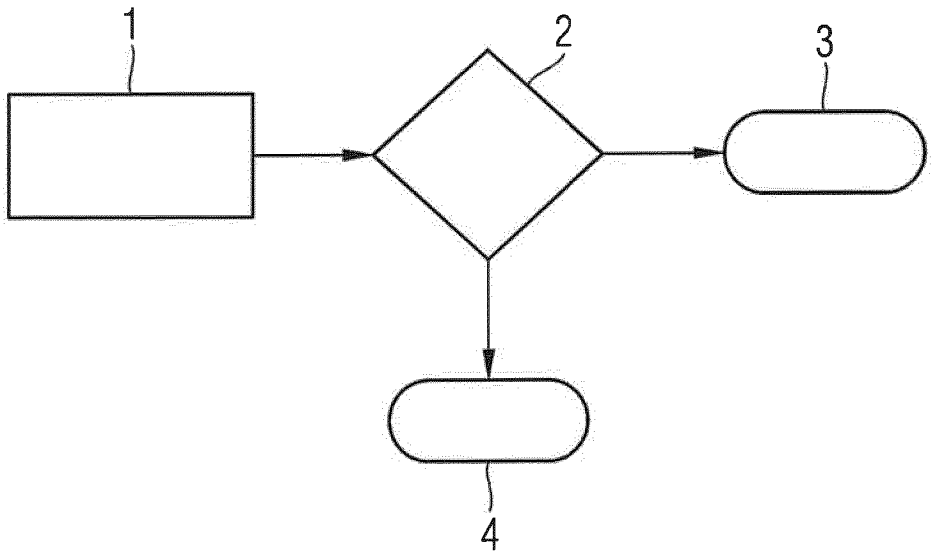

200
300
600
100
400
R_{EK}
L_{EK}
$i_m(t)$
R_{BM}
L_{BM}
$i_{LB}(t)$
$U_N(t)$
$U_M(t)$
$U_{LB}(t)$
600
500

FIG 3



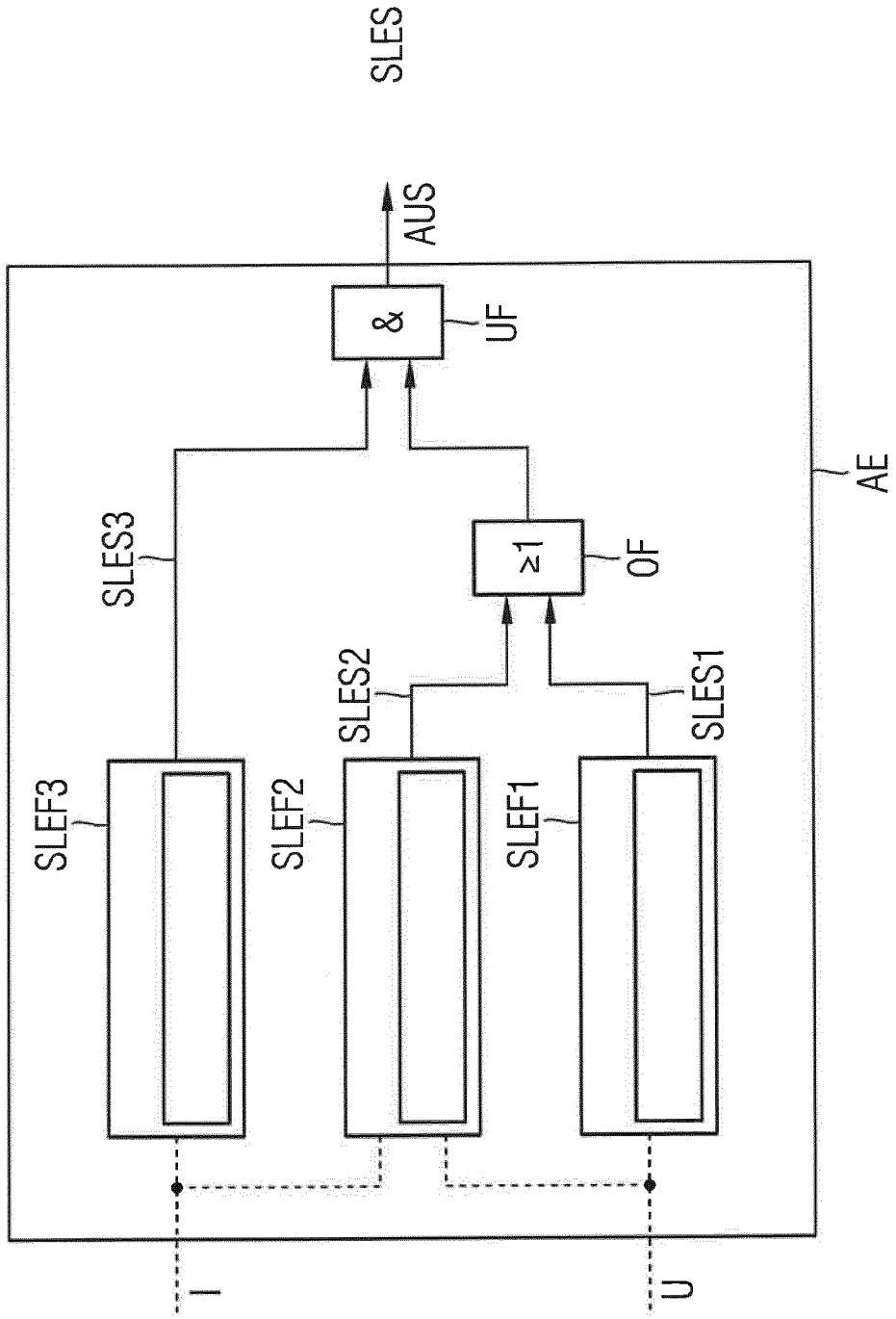


FIG 4

FIG 5

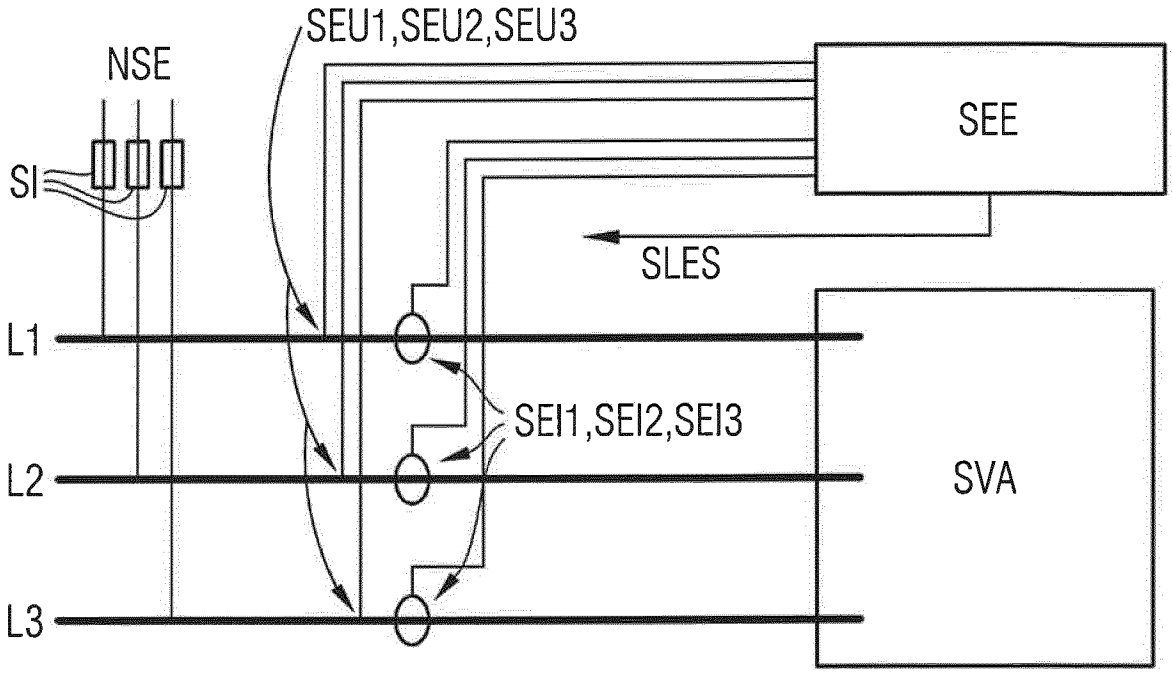
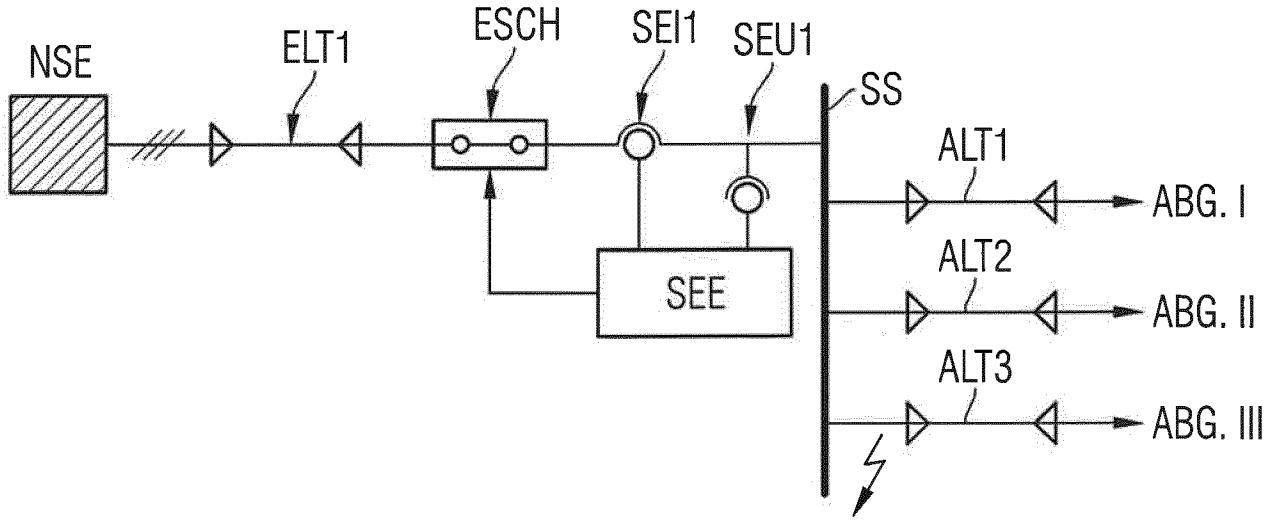

SEU1,SEU2,SEU3
NSE
SEE
SI
SLES
L1
SEI1,SEI2,SEI3
L2
SVA
L3

FIG 6


NSE
ELT1
ESCH
SEI1
SEU1
SS
ALT1
ABG. I
ALT2
SEE
ABG. II
ALT3
ABG. III

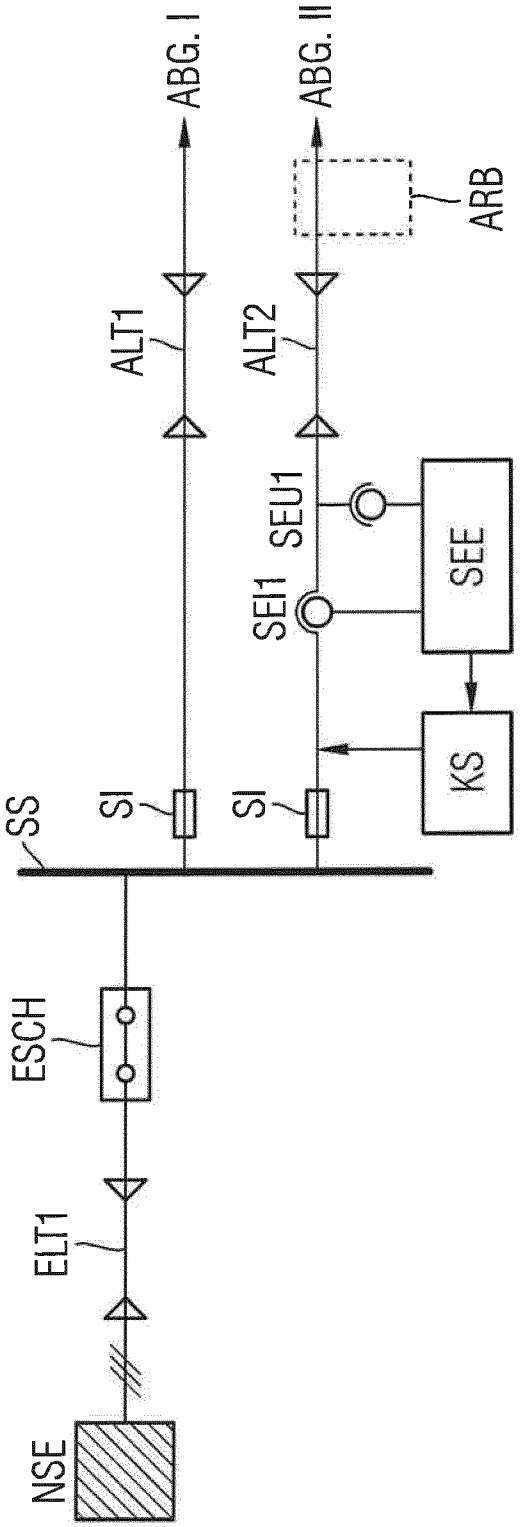

ABG. I
ABG. II
ARB
ALT1
ALT2
SEU1
SEE
SEI1
KS
SS
SI
SI
ESCH
ELT1
NSE

FIG 7

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/062271

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02H1/00
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02H H03H G01R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/019444 A1 (DARGATZ MARV [US] ET AL) 27. Januar 2011 (2011-01-27) Absätze [0015] - [0031]; Abbildungen 2,3,4	1-16,18
X	US 6 654 219 B1 (ROMANO JAMES P [US] ET AL) 25. November 2003 (2003-11-25) Spalte 4, Zeile 42 - Spalte 6, Zeile 40	1-6,9-18
Y	WO 2009/156513 A1 (SIEMENS AG [DE]; MEYER JOERG [DE]; SCHEGNER PETER [DE]) 30. Dezember 2009 (2009-12-30) das ganze Dokument	1-18
Y	US 2008/129307 A1 (YU WENJIANG [CA] ET AL) 5. Juni 2008 (2008-06-05) Absätze [0051] - [0059]; Abbildung 5	1-18

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
17. Februar 2017	09/03/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Palukova, Mila

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/062271

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011019444 A1	27-01-2011	AU 2010275466 A1	10-11-2011
		CA 2758815 A1	27-01-2011
		EP 2457313 A2	30-05-2012
		EP 2741388 A1	11-06-2014
		JP 5524335 B2	18-06-2014
		JP 2013500476 A	07-01-2013
		KR 20120039036 A	24-04-2012
		US 2011019444 A1	27-01-2011
		US 2012206843 A1	16-08-2012
		WO 2011011711 A2	27-01-2011
US 6654219 B1	25-11-2003	KEINE	
WO 2009156513 A1	30-12-2009	CN 102077435 A	25-05-2011
		DE 102008030987 A1	07-01-2010
		EP 2291895 A1	09-03-2011
		US 2011110006 A1	12-05-2011
		WO 2009156513 A1	30-12-2009
US 2008129307 A1	05-06-2008	KEINE	