

(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. Mai 2020 (07.05.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/089462 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01R 27/26 (2006.01) G01R 15/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/079987

(22) Internationales Anmeldedatum:

01. November 2019 (01.11.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 127 378.9

02. November 2018 (02.11.2018) DE

(71) Anmelder: **BS & T FRANKFURT AM MAIN GMBH**

[DE/DE]; Hannah-Arendt-Straße 36, 60438 Frankfurt am
Main (DE).

(72) **Erfinder:** **SUN, Jun-Chao**; Hannah-Arendt-Straße 36,
60438 Frankfurt am Main (DE). **TESKE, Christian**; 14
Mongers Piece, Chineham, Basingstoke RG24 8RL (GB).

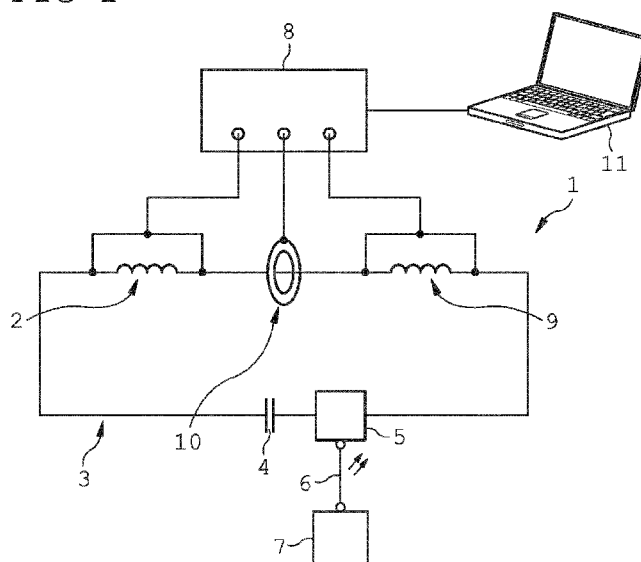
(74) **Anwalt:** **HABERMANN INTELLECTUAL PROPER-
TY PARTNERSCHAFT VON PATENTANWÄLTEN**
MBB; Dolivostraße 15A, 64293 Darmstadt (DE).

(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, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, 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,

(54) **Title:** METHOD, MEASURING DEVICE AND DATA CARRIER WITH MEASUREMENT DATA FOR DETERMINING
THE INDUCTANCE OF AN ELECTRICAL COMPONENT

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN, MESSVORRICHTUNG UND DATENTRÄGER MIT MESSDATEN ZUR ERMITTLUNG DER
INDUKTIVITÄT EINES ELEKTRISCHEN BAUELEMENTS

FIG 1



(57) **Abstract:** In a method for determining the inductance L of an electrical component (2), a high-current pulse is generated using a measurement apparatus (1) in an excitation step and is guided through the electrical component (2). The electronic component (2) is arranged together with a reference component (9) and with at least one capacitor (4) in an electrical resonant circuit (3), which is excited to electrically vibrate by at least one high-current pulse. In a measuring step, electrical properties of the electrical component (2) are measured over a

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

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, 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)
- in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.

measurement period, and in an analysis step the inductance L of the electrical component (2) is determined from the measured electrical properties. In the measuring step a voltage drop U across the electrical component (2) and a reference voltage drop U_R across the reference component (9), which has a known reference inductance L_R and is connected in series with the electrical component (2), are measured. In the analysis step, the inductance L of the electrical component (2) is calculated as the product of the reference inductance L_R with a proportionality factor which is dependent on the measured voltage drop U and the measured reference voltage drop U_R .

(57) **Zusammenfassung:** Bei einem Verfahren zur Ermittlung der Induktivität L eines elektrischen Bauelements (2) wird mit einer Messvorrichtung (1) in einem Anregungsschritt ein Hochstromimpuls erzeugt und durch das elektrische Bauelement (2) geführt. Das elektronische Bauelement (2) ist zusammen mit einem Referenzbauelement (9) und mit mindestens einem Kondensator (4) in einem elektrischen Schwingkreis (3) angeordnet, der durch mindestens einen Hochstromimpuls zu elektrischen Schwingungen angeregt wird. In einem Messschritt werden über eine Messdauer hinweg elektrische Eigenschaften des elektrischen Bauelements (2) gemessen und in einem Auswerteschritt aus den gemessenen elektrischen Eigenschaften die Induktivität L des elektrischen Bauelements (2) ermittelt. Dabei werden in dem Messschritt ein Spannungsabfall U über das elektrische Bauelement (2) sowie ein Referenzspannungsabfall U_R über das mit dem elektrischen Bauelement (2) in Reihe geschaltete Referenzbauelement (9) mit einer bekannten Referenzinduktivität L_R gemessen. In dem Auswerteschritt wird die Induktivität L des elektrischen Bauelements (2) als Produkt der Referenzinduktivität L_R mit einem Proportionalitätsfaktor berechnet, der von dem gemessenen Spannungsabfall U und dem gemessenen Referenzspannungsabfall U_R abhängt.

Verfahren, Messvorrichtung und Datenträger mit Messdaten
5 zur Ermittlung der Induktivität eines elektrischen
Bauelements.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der
Induktivität eines elektrischen Bauelements. Die Erfindung
10 betrifft auch eine Messvorrichtung zur Ermittlung der
Induktivität eines elektrischen Bauelements, mit welcher
das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden kann.
Die Erfindung betrifft weiterhin einen Datenträger mit
Messdaten, aus denen die Induktivität eines elektrischen
15 Bauelements ermittelt werden kann.

Die elektrischen Eigenschaften eines elektrischen
Bauelements, das in einer mit elektrischer Energie
versorgten Vorrichtung eingesetzt werden kann, sind von
20 ausschlaggebender Bedeutung für das betreffende elektrische
Bauelement. Dies gilt in gleicher Weise auch für
elektronische Bauelemente und elektronische Schaltungen,
die nachfolgend nicht gesondert erwähnt und aufgeführt
werden, sondern vereinfachend und zusammenfassend als
25 elektrische Schaltungen und elektrische Bauelemente
bezeichnet werden.

Die Verwendung von weichmagnetischen Materialien gewinnt
dabei zunehmend an Bedeutung für die Herstellung und
30 Auslegung kompakter und verlustarmer elektrischer
Bauelemente und insbesondere bei elektrischen Bauelementen
im Bereich der Leistungselektronik, die für die Umformung

elektrischer Energie in Bezug auf die Spannungsform, die Höhe von Spannung und Strom sowie auf die Frequenz verwendet werden können. Dabei sind in vielen Fällen das Sättigungsverhalten sowie ein während des Betriebs auftretender Leistungsverlust eines weichmagnetischen Materials wichtige Eigenschaften eines aus oder mit einem solchen weichmagnetischen Material hergestellten induktiven elektrischen Bauelements. Die induktiven Eigenschaften solcher weichmagnetischer Materialien, bzw. ganz allgemein von magnetischen Materialien werden deshalb mit verschiedenen Messverfahren und Messvorrichtungen erfasst, um möglichst geeignete Materialien für den jeweiligen Verwendungszweck eines elektrischen Bauelements identifizieren zu können.

Eine messtechnische Herausforderung bei der Erfassung der induktiven Eigenschaften von magnetischen Materialien und insbesondere von weichmagnetischen Materialien sind dabei die oftmals hohe Feldstärken von einigen 100 kA/m und ein entsprechend großer Stromfluss, die in vielen Fällen benötigt werden, um das nicht lineare Verhalten und insbesondere das Sättigungsverhalten von weichmagnetischen Materialien erfassen zu können. Das elektrische Bauelement muss während des Messvorgangs von einem großen Messstrom von mehreren tausend Ampere, bzw. von mehreren kA durchflossen werden, um die induktiven Eigenschaften erfassen zu können, wodurch jedoch oftmals gleichzeitig ein ganz erheblicher Anteil der elektrischen Energie in Wärmeenergie umgewandelt wird und dadurch die Temperatur des elektrischen Bauelements während des Messvorgangs erhöht wird. Dies führt regelmäßig zu einer Veränderung der elektrischen Eigenschaften und zu einem Fehler bei der

Bestimmung der elektrischen Eigenschaften, insbesondere der Induktivität von weichmagnetischen Materialien und daraus hergestellten elektrischen Bauelemente.

- 5 Dabei muss beachtet werden, dass bei elektrischen Bauelementen mit weichmagnetischen Materialien deren induktive Eigenschaften oftmals kein lineares Verhalten aufweisen, sondern beispielsweise ein nicht-lineares Sättigungsverhalten bei hohen Stromstärken und eine
- 10 Abhängigkeit der bei einem Betrieb auftretenden Energieverluste von einer zeitlichen Veränderung des jeweiligen Stromflusses.

Aus der Praxis sind verschiedene Verfahren bekannt, mit

15 welchen die Induktivität eines elektrischen Bauelements ermittelt werden kann. Dabei eignen sich insbesondere Pulsverfahren, bei denen ein pulsförmiger Stromfluss durch das elektrische Bauelement erzeugt wird und die relevanten elektrischen Eigenschaften des üblicherweise in einem

20 Schwingkreis angeordneten elektrischen Bauelements erfasst werden. Durch einen großen pulsförmigen Stromfluss, der kurzzeitig erzeugt wird, wird eine anschließend gedämpft ausklingende elektrische Schwingung in dem elektrischen Schwingkreis angeregt, die für die Durchführung der

25 erforderlichen Messungen verwendet werden kann. Aufgrund der nicht kontinuierlichen, sondern nur kurzzeitigen Belastung durch den pulsförmigen Stromfluss erfolgt nur eine geringe Erwärmung bei der Messung von elektrischen Bauelementen mit weichmagnetischen Materialien, sodass die

30 Messergebnisse nicht oder zumindest kaum durch eine Temperaturveränderung während der Messung beeinflusst werden.

Bei einer geeigneten Messvorrichtung für derartige Pulsverfahren ist das elektrische Bauelement in einem Schwingkreis angeordnet, wobei die Messvorrichtung eine mit
5 dem Schwingkreis verbindbare Stromquelle aufweist, mit welcher ein Hochstromimpuls in dem Schwingkreis erzeugt werden kann und wobei mit einer Spannungsmessvorrichtung ein Spannungsabfall U über das elektrische Bauelement messbar ist. Bei der Durchführung des Messverfahrens werden
10 nach der Anregung des Hochstromimpulses in einem Messschritt über eine Messdauer hinweg elektrische Eigenschaften des elektrischen Bauelements gemessen, wobei in einem Auswerteschritt aus den gemessenen elektrischen Eigenschaften die Induktivität L des elektrischen
15 Bauelements ermittelt werden kann.

Die Induktivität L beschreibt den Zusammenhang einer sich zeitlich verändernden Änderungsrate des elektrischen Stroms $dI(t)/dt$ in Bezug auf die durch die Veränderung des
20 elektrischen Stroms $I(t)$ induzierte elektrische Spannung $U(t)$. Für den Fall einer sich zeitlich nicht verändernden Induktivität kann die Induktivität als Proportionalitätskonstante L angegeben werden. Die durch eine Veränderung des elektrischen Stroms $I(t)$ induzierte
25 Spannung $U(t)$ kann als Produkt der Induktivität L mit der Änderungsrate der Stromstärke $dI(t)/dt$ beschrieben werden:

$$U(t) = L \frac{dI(t)}{dt}$$

30 Bei den aus der Praxis bekannten Messverfahren werden deshalb zur Ermittlung der Induktivität L sowohl ein

Spannungsabfall $U(t)$ über das elektrische Bauelement als auch ein Stromfluss $I(t)$ durch das elektrische Bauelement gemessen und aus dem gemessenen Werten für den Spannungsabfall $U(t)$ und der zeitlichen Veränderung des Stromflusses $dI(t)/dt$ die Induktivität berechnet, wobei die Veränderungrate des Stromflusses $dI(t)/dt$ nicht direkt gemessenen, sondern aus dem gemessenen Stromfluss $I(t)$ ermittelt wird. Die Berechnung der Induktivität L aus dem gemessenen Spannungsabfall $U(t)$ und dem jeweiligen Stromfluss $I(t)$ durch das elektrische Bauelement ist jedoch mit einer vergleichsweise großen messtechnischen Unsicherheit behaftet.

Es wird deshalb als eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung angesehen, ein vorangehend beschriebenes Messverfahren so zu verändern und weiterzuentwickeln, dass mit möglichst einfachen Mitteln eine möglichst genaue Ermittlung der elektrischen Eigenschaften und insbesondere der Induktivität eines elektrischen Bauelements ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass in dem Messschritt ein Spannungsabfall U über das elektrische Bauelement sowie ein Referenzspannungsabfall U_R über ein mit dem elektrischen Bauelement in Reihe geschaltetes Referenzbauelement mit einer bekannten Referenzinduktivität L_R gemessen wird und wobei in dem Auswerteschritt die Induktivität L des elektrischen Bauelements als Produkt der Referenzinduktivität L_R mit einem Proportionalitätsfaktor berechnet wird, der von dem gemessenen Spannungsabfall U und dem gemessenen Referenzspannungsabfall U_R abhängt. Die Messung eines Spannungsabfalls kann üblicherweise mit einem

wesentlich geringeren messtechnischen Aufwand wesentlich präziser durchgeführt werden als die Bestimmung einer Veränderungsrate des Stromflusses, die über die Messung eines sich zeitlich verändernden Stromflusses über die
5 Messdauer hinweg und eine anschließende Abschätzung einer sich ebenfalls zeitlich verändernden Änderungsrate des Stromflusses ermittelt wird. Bei anderen Messverfahren ist eine Integration des gemessenen Stromflusses $I(t)$ über die Messdauer hinweg erforderlich, wodurch ebenfalls erhebliche
10 Unsicherheiten und systematische Fehler erzeugt oder zumindest begünstigt werden.

Es hat sich gezeigt, dass durch die Verwendung eines Referenzbauelements die gleichzeitige Messung des
15 Spannungsabfalls über das elektrische Bauelement sowie über das Referenzbauelement eine besonders präzise Bestimmung der Induktivität des elektrischen Bauelements ermöglicht wird. Der Schwingkreis, in welchem das elektrische Bauelement und das Referenzbauelement angeordnet sind, wird
20 dabei zweckmäßigerweise so ausgelegt, dass durch den Hochstromimpuls eine gedämpfte Schwingung angeregt wird und die beiden Spannungsabfälle über mindestens einige Schwingungsamplituden hinweg zeitlich aufgelöst erfasst werden. Die Dämpfung des Schwingkreises ist dabei in
25 vorteilhafter Weise ausreichend groß, sodass die elektrischen Schwingungen in dem Schwingkreis rasch abklingen und eine thermische Belastung des elektrischen Bauelements möglichst gering ist.

30 Der Hochstromimpuls kann in vorteilhafter Weise eine Stromstärke von mehreren kA aufweisen und an die magnetischen Eigenschaften des elektrischen Bauelements

angepasst sein, dessen Induktivität ermittelt werden soll. Insbesondere bei elektrischen Bauelementen mit weichmagnetischen Materialien kann es vorteilhaft sein, einen Hochstromimpuls mit einer Stromstärke von mehreren kA zu verwenden, um das Sättigungsverhalten der weichmagnetischen Materialien und ein üblicherweise nicht lineares Verhalten der weichmagnetischen Materialien ermitteln zu können.

Um die Messgenauigkeit zu verbessern kann optional vorgesehen sein, zusätzlich auch während des Messschritts einen Stromfluss $I(t)$ durch das elektrische Bauelement zu messen. Der gemessene Stromfluss kann zur Kontrolle der Messwerte für die Spannungsabfälle bei dem elektrischen Bauelement und bei dem Referenzbauelement verwendet werden. Es ist ebenfalls möglich, mit dem gemessenen Stromfluss weitere elektrische Eigenschaften des Schwingkreises zu erfassen und bei der Ermittlung der Induktivität L des elektrischen Bauelements zu berücksichtigen.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des Erfindungsgedankens ist zu diesem Zweck vorgesehen, dass in dem Auswerteschritt der Proportionalitätsfaktor als Quotient von einerseits der Differenz zwischen dem gemessenen Spannungsabfall U und dem Produkt des ohmschen Widerstands R des elektrischen Bauelements und dem gemessenen Stromfluss I und andererseits des gemessenen Referenzspannungsabfalls U_R berechnet wird. Dieser Zusammenhang kann wie folgt angegeben werden:

$$L = L_R \frac{(U(t) - RI(t))}{U_R(t)}$$

Insbesondere für den Fall, dass sich der elektrische Widerstand R des elektrischen Bauelements merklich auf dessen elektrischen Eigenschaften bei einer
5 bestimmungsgemäßen Verwendung des elektrischen Bauelements auswirken ist es vorteilhaft, den ohmschen Widerstand R bei der Ermittlung der Induktivität L des elektrischen Bauelements zu berücksichtigen.

10 Der ohmsche Widerstand R kann einer Ausgestaltung des Erfindungsgedankens zu Folge vergleichsweise präzise als Mittelwert der Quotienten aus dem Spannungsabfall U und dem Stromfluss I_{peak} an mehreren Amplitudenmaxima des Stromflusses I durch das elektrische Bauelement während der
15 Messdauer ermittelt werden, wobei die Messdauer einige Amplitudenmaxima der gedämpften Schwingung des elektrischen Schwingkreises umfasst:

$$R = \frac{U(I_{peak})}{I_{peak}}$$

20

Die Amplitudenmaxima I_{peak} des Stromflusses I stellen Extrempunkte dar, in denen kurzzeitig der Einfluss der Induktivität L auf den Stromfluss durch das elektrische Bauelement vernachlässigt werden kann und der ohmsche
25 Widerstand R des elektrischen Bauelements sich in guter Näherung aus dem Quotienten aus dem gemessenen Spannungsabfall U dem gemessenen Stromfluss I ergibt. Durch die Bildung eines Mittelwerts für den derart berechneten ohmschen Widerstand R über mehrere Amplitudenmaxima, bzw.
30 Extrempunkte des Stromflusses hinweg kann die Genauigkeit

bei der Ermittlung des ohmschen Widerstands R verbessert werden.

Die Induktivität L des elektrischen Bauelements kann dann
5 als Produkt der bekannten Induktivität L_R mit dem
Quotienten aus der Differenz $U - RI$ einerseits und dem
Spannungsabfall U_R andererseits berechnet werden, wie es in
der nachstehend beschriebenen Formel zusammengefasst ist,
wobei die Induktivität L in Abhängigkeit von dem mit dem
10 Hochstromimpuls I_{puls} angeregten Stromfluss $I(t)$ ermittelt
wird:

$$L(I_{puls}) = L_R \frac{(U(t) - R I(t))}{U_R(t)}$$

15 Dabei entspricht die Differenz $U - RI$ der
elektromotorischen Kraft. Falls die Induktivität L eine
lineare Abhängigkeit von dem Stromfluss und demzufolge kein
Sättigungsverhalten aufweisen würde, wäre die Induktivität
L für verschiedene Hochstromimpulse gleich. Aufgrund des
20 insbesondere bei weichmagnetischen Materialien ausgeprägten
Sättigungsverhaltens bei hohen Stromflüssen zeigt die
Induktivität L eine Abhängigkeit von dem Stromfluss, bzw.
von dem vorgegebenen Hochstromimpuls, die durch Messungen
mit unterschiedlich hoch vorgegebenen Hochstromimpulsen
25 erfasst und ausgewertet werden kann.

Ausgehend von den über die Messdauer hinweg gemessenen
Werten für die Spannungsabfälle U und U_R sowie für den
Stromfluss I können zusätzlich weitere charakteristische
30 elektrische Eigenschaften des elektrischen Bauelements
ermittelt werden. Beispielsweise kann die Einfügedämpfung

a_I für einen vorgegebenen Hochstromimpuls I_{puls} aus dem Logarithmus eines Quotienten zweier gemessener Extremwerte U_1 und U_2 von aufeinander folgenden Amplitudenmaxima U_1 und U_2 des gemessenen Spannungsabfalls bestimmt werden, wobei
5 der Extremwert U_1 der betragsmäßig größere Wert eines zeitlich früheren Amplitudenmaximum des gedämpften Schwingungsverlaufs des gemessenen Spannungsabfalls $U(t)$ ist:

$$10 \quad a_I(I_{puls}) = 20 \log \left| \frac{U_1}{U_2} \right|$$

Für die Ermittlung der Extremwerte, bzw. der Amplitudenmaxima des Spannungsverlaufs $U(t)$ kann bei einer automatisierten Durchführung des Ermittlungsverfahrens
15 derselbe Algorithmus verwendet werden wie bei der Ermittlung der Amplitudenmaxima des zeitlichen Verlaufs des Stromflusses $I(t)$ für die Bestimmung des ohmschen Widerstands R . Es ist ebenfalls denkbar, dass die Extremwerte U_1 und U_2 ebenso wie die Amplitudenmaxima des
20 sich zeitlich ändernden Stromflusses $I(t)$ manuell ermittelt, bzw. festgelegt werden.

So kann beispielsweise durch das Auswerten der Messwerte über eine Halbwelle der Spannungs- und Stromverläufe
25 während einer gedämpft abklingenden Schwingung auch ein von dem Stromfluss abhängiger Energieverlust EL ermittelt werden, der für den Betrieb eines elektrischen Bauteils mit weichmagnetischen Materialien in einer Leistungselektronik von besonderer Bedeutung ist. Dabei ergibt sich der
30 Energieverlust EL aus dem über eine Halbwelle zwischen zwei aufeinanderfolgenden Amplitudenmaxima U_1 und U_2 des

Spannungsabfalls über dem elektrischen Bauteil integrierten Produkt des Spannungs- und Stromverlaufs gemäß der folgenden Formel:

5
$$EL = \int_{t(U_1)}^{t(U_2)} (U(t) * I(t)) dt$$

Um einen unerwünschten Einfluss des Anregungsschrittes, bzw. bei der Auslösung des Hochstromimpulses auf den Schwingkreis möglichst gering zu halten ist optional
10 vorgesehen, dass der Hochstromimpuls während des Anregungsschrittes mit einer Steuereinrichtung ausgelöst wird, die galvanisch von dem Stromkreislauf mit dem elektrischen Bauelement getrennt ist. Die Steuersignale der Steuereinrichtung können beispielsweise mit einer
15 geeigneten Faseroptik, bzw. über Lichtleiter übermittelt werden, die zwischen geeigneten Optokopplern angeordnet sind.

Bei einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung zur Ermittlung
20 der Induktivität des elektrischen Bauelements ist das elektrische Bauelement in einem Schwingkreis angeordnet. Die Messvorrichtung weist eine mit dem Schwingkreis verbindbare Stromquelle auf, mit welcher ein Hochstromimpuls in dem Schwingkreis erzeugt werden kann.
25 Mit einer geeigneten Spannungsmessvorrichtung kann ein Spannungsabfall U über das elektrische Bauelement gemessen werden.

Während bei den aus der Praxis bekannten Messvorrichtungen
30 regelmäßig nur eine Strommesseinrichtung vorgesehen ist und die Induktivität L aus dem gemessenen Spannungsabfall U(t)

und dem gemessenen Stromfluss $I(t)$ durch das elektrische Bauelement ermittelt bzw. abgeleitet wird, weist die erfindungsgemäße Messvorrichtung ein Referenzbauelement mit einer Referenzinduktivität L_R auf, das in Reihe mit dem elektrischen Bauelement in dem Schwingkreis angeordnet ist, und eine Referenzspannungsvorrichtung, mit welcher ein Referenzspannungsabfall U_R über das Referenzbauelement messbar ist. Die gleichzeitige Messung von den beiden Spannungsabfällen U über dem elektronischen Bauelement und U_R über dem Referenzbauelement lässt sich mit einfachen Mitteln sehr präzise durchführen. In vielen Fällen kann beispielsweise ein Digitaloszilloskop verwendet werden, das über mehrere Messkanäle verfügt.

Das Referenzbauelement kann in vorteilhafterweise die Funktion einer Sicherungsinduktivität übernehmen, die in dem Schwingkreis angeordnet ist und so dimensioniert ist, dass bei dem Hochstromimpuls sowohl die maximal auftretende Spitzenamplitude des Hochstromimpulses als auch eine Stromanstiegsrate in dem Schwingkreis geeignet vorgegeben, bzw. begrenzt werden können.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Erfindungsgedankens ist vorgesehen, dass das Referenzbauelement eine Luftspule ist. Die Induktivität einer Luftspule, die keinen magnetischen und insbesondere keinen weichmagnetischen Kern besitzt, kann durch vorab durchgeführte Messungen sehr präzise ermittelt werden. Darüber hinaus können nicht lineare Effekte bei einer Luftspule oftmals vernachlässigt werden. Zudem kann eine Luftspule mit geringem Aufwand effektiv gekühlt werden, sodass auch bei einem hohen Stromfluss keine unerwünschte

Temperaturveränderung des Referenzbauelements und keine dadurch verursachte Beeinflussung der Messwerte befürchtet werden müssen.

- 5 Optional kann zusätzlich vorgesehen sein, dass mit einer Strommesseinrichtung ein Stromfluss durch das elektrische Bauelement messbar ist. Mit einer zusätzlichen Messung des Stromflusses durch das elektrische Bauelement können weitere charakteristische Eigenschaften des elektrischen Bauelements erfasst oder aus den zusätzlich gemessenen zeitabhängigen Messwerten für den Stromfluss ermittelt werden. Die Strommesseinrichtung kann beispielsweise eine torusförmige Luftspule sein, die um den stromführenden Leiter herum angeordnet ist. Eine derartige Messeinrichtung wird auch als Rogowski-Spule oder als Rogowski-Stromwandler bezeichnet. Es ist ebenfalls möglich, eine vergleichbare Spule mit einem Magnetkern zu verwenden, wobei eine derartige Spule auch als Pearson-Spule bezeichnet wird.
- 20 Der für die Anregung des Schwingkreises erforderliche Hochstromimpuls kann gemäß einer Ausgestaltung des Erfindungsgedankens in konstruktiv einfacher Weise dadurch erzeugt werden, dass die Messvorrichtung eine Steuereinrichtung und einen in dem Schwingkreis angeordneten Kondensator aufweist, wobei der Kondensator in einem ersten Steuerzustand der Steuereinrichtung über eine Ladeeinrichtung aufgeladen werden kann und wobei der Kondensator in einem zweiten Steuerzustand der Steuereinrichtung in dem Schwingkreis entladen wird und anschließend elektrische Schwingungen in dem Schwingkreis durchgeführt werden können. Mit der Steuereinrichtung muss in dem ersten Steuerzustand eine Entladung des Kondensators

über den Schwingkreis verhindert werden, damit der Kondensator über die Ladeeinrichtung aufgeladen werden kann. Als Ladeeinrichtung kann ein Ladekondensator mit dem Schwingkreis und insbesondere mit dem Kondensator so
5 verbunden werden, dass vorab in dem Ladekondensator gespeicherte elektrische Ladung auf den Kondensator übertragen werden kann, um diesen so aufzuladen, dass aus dem Kondensator ein Hochstromimpuls in den Schwingkreis abgegeben werden kann. Der Ladekondensator kann durch eine
10 geeignete Ladeschaltung mit einer dafür vorgesehenen Spannungsquelle aufgeladen werden.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung einen in dem Schwingkreis angeordneten Thyristor aufweist,
15 der durch die Steuereinrichtung eingeschaltet werden kann. Ein Thyristor kann in einfacher Weise durch die Steuereinrichtung so gesteuert werden, dass der Thyristor den Schwingkreis in dem ersten Steuerzustand der Steuereinrichtung sperrt und keinen Stromfluss in dem
20 Schwingkreis zulässt und nach dem Einschalten des Thyristors den Schwingkreis freigibt und es dadurch ermöglicht, dass der Hochstromimpuls den elektrischen Schwingkreis anregt und anschließend die gedämpften elektrischen Schwingungen erfolgen können.

25

Um einen unerwünschten Einfluss der Steuereinrichtung auf den Schwingkreis zu reduzieren ist gemäß einer Ausgestaltung des Erfindungsgedankens vorgesehen, dass die Steuereinrichtung galvanisch von dem Schwingkreis getrennt
30 ist.

Die Erfindung betrifft auch einen elektronisch lesbaren Datenträger mit einer darin gespeicherten Datenfolge, wobei die Datenfolge mindestens ein Messdatenpaket mit einer Hochstromimpulsinformation sowie mit zwei Messreihen eines zeitlichen Verlaufs eines Spannungsabfalls $U(t)$ und eines Referenzspannungsabfalls $U_R(t)$ für einen mit dem Hochstromimpuls angeregten elektrischen Schwingkreis mit einem elektrischen Bauteil und mit einem Referenzbauteil aufweist, der mit dem Hochstromimpuls zu einer gedämpften elektrischen Schwingung angeregt wurde. Die Datenfolge des mindestens einen Messdatenpakets ist vorzugsweise mit dem vorangehend beschriebenen Verfahren ermittelt worden. Optional kann für die Erfassung der Messdaten eine ebenfalls vorangehend beschriebene Messvorrichtung verwendet worden sein. Ausgehend von den Messdaten eines Messdatenpakets können zahlreiche verschiedene elektromagnetische Eigenschaften der jeweils untersuchten elektrischen Bauelemente bestimmt und berechnet werden. Die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur nachträglichen Auswertung und Bestimmung von Eigenschaften der elektrischen Bauelemente gehen dabei weit über die Möglichkeiten hinaus, die bei herkömmlichen Messdatenpaketen zur Verfügung stehen. Auf diese Weise können weichmagnetische Materialien für die Verwendung in elektrischen Bauteilen kategorisiert und die entsprechenden elektrischen Bauteile standardisiert oder normiert werden. Darüber hinaus können die Messdatenpakete dazu verwendet werden, einen wesentlich aussagekräftigeren Vergleich der gemessenen Messdaten mit theoretischen Modellen zu elektromagnetischen Eigenschaften von elektrischen Bauelementen und insbesondere von elektrischen Bauelementen mit weichmagnetischen Materialien durchzuführen.

Optional ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass ein Messdatenpaket zusätzlich eine Messreihe eines zeitlichen Verlaufs eines Stromflusses durch das elektrische Bauteil aufweist.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele des Erfindungsgedankens näher erläutert, die in der Zeichnung dargestellt sind. Es zeigt:

10

Figur 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung, die für die Durchführung des erfindungsgemäßen Messverfahrens geeignet ist,

15 Figur 2 eine detaillierte dargestellte Messvorrichtung,

Figur 3 eine schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs des gemessenen Spannungsabfalls U über dem elektrischen Bauelement, des gemessenen

20 Referenzspannungsabfalls U_R über dem Referenzbauelement und des gemessenen Stromflusses I während einer gedämpften Schwingung, die mit einem Hochstromimpuls in einem elektrischen Schwingkreis angeregt wurde, und

25 Figur 4 eine schematische Darstellung der für verschiedene Amplitudenmaxima des Stromflusses ermittelten Induktivität in Abhängigkeit von dem Stromfluss.

Eine in der Figur 1 schematisch dargestellte Messvorrichtung 1 zur Ermittlung der Induktivität L eines elektrischen Bauelements 2 weist einen elektrischen Schwingkreis 3 auf, in welchem zusätzlich zu dem

elektrischen Bauelement 2 ein Kondensator 4 angeordnet ist. Der Kondensator 4 kann mit einer geeigneten Ladevorrichtung 5 aufgeladen werden. Die Ladevorrichtung 5 ist über einen faseroptischen Lichtwellenleiter 6 mit einer

5 Steuereinrichtung 7 verbunden. In einem ersten Steuerzustand der Steuereinrichtung 7 wird der Kondensator 4 mit der Ladevorrichtung 5 aufgeladen. Wenn die Steuereinrichtung 7 in einen zweiten Steuerzustand wechselt, wird der elektrische Schwingkreis 3 freigegeben

10 und durch die plötzliche Entladung des zuvor aufgeladenen Kondensators 4 ein Hochstromimpuls in dem elektrischen Schwingkreis erzeugt, der eine gedämpfte elektrische Schwingung in dem elektrischen Schwingkreis 3 anregt.

15 Während der abklingenden elektrischen Schwingung in dem elektrischen Schwingkreis 3 wird mit Hilfe eines Digitaloszilloskops 8 ein Spannungsabfall $U(t)$ über dem elektrischen Bauelement 2 gemessen, dessen Induktivität L ermittelt werden soll.

20 In dem elektrischen Schwingkreis 3 ist zusätzlich zu dem elektrischen Bauelement 2 ein Referenzbauelement 9 angeordnet. Das Referenzbauelement 9 weist ebenfalls eine Induktivität L_R auf, die durch geeignete Messungen vorab

25 ermittelt wurde. Mit dem Digitaloszilloskop 8 kann über einen weiteren Messkanal ein Spannungsabfall $U_R(t)$ über das Referenzbauelement gemessen werden. Wenn ein ohmscher Widerstand R in dem elektrischen Schwingkreis 3, bzw. insbesondere in dem elektrischen Bauelement 2

30 vernachlässigt werden kann, kann die gesuchte Induktivität L des elektrischen Bauelements 2 näherungsweise als Produkt der bekannten Induktivität L_R des Referenzbauelements 9 und

dem Quotienten der gemessenen Spannungsabfälle $U(t)/U_R(t)$ berechnet werden:

$$L = L_R \frac{U(t)}{U_R(t)}$$

5

In dem elektrischen Schwingkreis 3 ist neben dem elektrischen Bauelement 2 eine beispielsweise als Rogowski-Spule oder als Pearson-Spule ausgestaltete Strommessvorrichtung 10 angeordnet, deren Messwerte ebenfalls mit dem Digitaloszilloskop 8 erfasst und ausgewertet werden können. Mit der Strommessvorrichtung 10 wird während der elektrischen Schwingungen in dem elektrischen Schwingkreis 3 ein Stromfluss $I(t)$ durch das elektrische Bauelement 2 gemessen. An den Extrempunkten der aufeinander folgenden Amplitudenmaxima I_{peak} des zeitlich sich verändernden Stromflusses $I(t)$ während der elektrischen Schwingungen kann der ohmsche Widerstand R des elektrischen Bauelements 2 als Quotient aus dem Spannungsabfall $U(t=t(I_{\text{peak}}))$ an einem Extrempunkt I_{peak} und dem Stromfluss $I(t=t(I_{\text{peak}}))$ an dem Extrempunkt berechnet werden. Durch eine Mittelwertbildung für mehrere aufeinanderfolgende Extrempunkte, bzw. Amplitudenmaxima des Stromflusses kann der daraus ermittelte ohmsche Widerstand R weiter präzisiert werden.

25

Eine Auswertung der über die Messdauer hinweg gemessenen Messwerte für die beiden Spannungsabfälle $U(t)$ und $U_R(t)$ sowie gegebenenfalls für den Stromfluss $I(t)$ kann mit einer geeigneten Datenverarbeitungsanlage 11 bzw. einer darauf ausgeführten Auswertesoftware durchgeführt werden. Dabei kann die gesuchte Induktivität L des elektrischen

30

Bauelements 2 als Produkt der bekannten Induktivität L_R des Referenzbauelements 9 und einem Proportionalitätsfaktor ermittelt werden, wobei der Proportionalitätsfaktor der Quotient aus einerseits der Differenz zwischen dem
5 gemessenen Spannungsabfalls U über dem elektrischen Bauelement 2 und dem Spannungsabfall $R I$ über dem ohmschen Widerstand des elektrischen Bauelements 2 und andererseits dem gemessenen Spannungsabfall U_R über dem Referenzbauelement 9 ergibt. Die Berechnung kann durch die
10 nachfolgend wiedergegebene Formel zusammengefasst werden:

$$L(I) = L_R \frac{(U(t) - R I(t))}{U_R(t)}$$

Die Induktivität L des elektrischen Bauelements 2 ist dabei
15 im Wesentlichen von dem jeweiligen Stromfluss I abhängig. Zudem ist die Induktivität insbesondere bei elektrischen Bauelementen mit weichmagnetischen Materialien wegen des nicht-linearen Sättigungsverhaltens auch von dem jeweiligen Hochstromimpuls bzw. von einem unmittelbar vorher durch das
20 elektrische Bauelement bewirkten Stromfluss abhängig.

Wenn das elektrische Bauelement 2 eine induktive Komponente mit einem weichmagnetischen Material aufweist, ist es zweckmäßig, dass der elektrische Schwingkreis 3 mit einem
25 Hochstromimpuls von mehreren kA zu elektrischen Schwingungen angeregt wird.

Anhand einer in Figur 2 etwas detaillierter abgebildeten Messvorrichtung 1 wird eine Durchführung einer Messung zur
30 Ermittlung der Induktivität L des elektrischen Bauelements 2 erläutert. Mittels einer geeigneten Software erhält das

Digitaloszilloskop 8 über eine Schnittstelle von der Datenverarbeitungsanlage 11 einen Befehl zur Erzeugung eines elektrischen Steuersignals an einen seiner Waveform-Ausgänge 12. Dieses Steuersignal wird weitergegeben an die
5 Steuereinrichtung 7 zur Hochstromimpulserzeugung. Sowohl das Digitaloszilloskop 8 als auch die Steuereinrichtung 7 sind über geeignete Anschlüsse mit einer Spannungsquelle 13 verbunden. Ein DC/DC-Konverter 14 wandelt eine Ausgangsspannung von der Spannungsquelle 13 in eine für das
10 Digitaloszilloskop 8 geeignete Eingangsspannung um. In Abhängigkeit von der Dauer des Steuersignals wird mit Hilfe einer mit der Steuereinrichtung 7 erzeugten Pulswellenmodulation über einen fiberoptischen Ausgang 15 ein Hochstellsetzer bzw. ein Step-Up-Konverter (16, 17, 18, 19, 20, 21, 22) angesteuert, der über einen Ladewiderstand 23 den Kondensator 4 auf eine für den Hochstromimpuls geeignete Spannung auflädt.

Der Hochstellsetzer weist vorzugsweise einen IGBT 16, eine
20 fiberoptischen Optokoppler 17, einem Ladekondensator 18, eine Diode 19, ein induktives Bauelement 20, einen Kondensator 21 und eine geeignete Spannungsversorgung 22 auf. Fiberoptische Signalleitungen 24 und 25 gewährleisten eine galvanisch getrennte Verbindung zwischen einem Steuer-
25 und Auswertekreis 26 und einem Impuls- und Messkreis 27 und minimieren den Einfluss elektromagnetischer Störsignale, die im Impuls- und Messkreis 27 auftreten können. Aus Gründen der Betriebssicherheit kann ein gemeinsames Bezugspotential bzw. eine gemeinsame Erdung vorgesehen
30 werden.

Sobald das Steuersignal des Digitaloszilloskops 8 beendet wird, geht das Steuersignal in eine negative Flanke über. Diese negative Flanke deaktiviert die Pulswellenmodulation für den Hochstellsetzer und aktiviert eine in der

5 Steuereinrichtung 7 hinterlegte zeitliche Sequenz, die über die galvanisch getrennte fiberoptische Signalleitung 25 einen Hochstromthyristor 28 aktiviert. Der Steuerstrom für einen Thyristor 28 wird über eine fiberoptische Signalverarbeitungseinrichtung 29 erzeugt. Anstelle eines
10 Hochstromthyristors 28 kann auch eine andere geeignete Steuerschaltung verwendet werden, die beispielsweise einen Bipolartransistor mit einer isolierten Gate-Elektrode (IGBT) oder einen Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET) aufweist.

15

Dadurch wird in dem elektrischen Schwingkreis 3 ein Hochstromimpuls erzeugt und eine elektrische Schwingung angeregt. Der elektrische Schwingkreis umfasst den Kondensator 4, das Referenzbauelement 9 und das zu messende
20 elektrische Bauelement 2. Sowohl die maximal auftretende Spitzenamplitude des Stromflusses bei dem Hochstromimpuls als auch die Änderungsrate des Stromflusses $dI(t)/dt$ können durch eine geeignete Dimensionierung des Referenzbauelements 9 vorgegeben und insbesondere begrenzt
25 werden.

Über Analogeingänge 30 des Digitaloszilloskops 8 werden mit Hilfe von geeigneten Spannungsmesseinrichtungen 31, 32 der Spannungsabfall U über dem elektrischen Bauelement 2 und
30 der Spannungsabfall U_R über dem Referenzbauelement erfasst. Mit Hilfe einer geeigneten Strommesseinrichtung 10, die beispielsweise eine Pearson-Spule 33 aufweist, wird über

einen weiteren Analogeingang 34 des Digitaloszilloskops 8 der Stromfluss $I(t)$ durch das elektrische Bauelement erfasst.

- 5 Da in den meisten Fällen der resultierende Resonanzkreis unterkritisch gedämpft ist, ermöglicht eine Freilaufdiode 35 eine Stromumkehr und somit eine bipolare Aussteuerung des elektrischen Bauelements, was für zahlreiche Anwendungen wie beispielsweise für das Erfassen des
- 10 Sättigungsverhaltens des elektrischen Bauelements von Vorteil ist.

Der Kondensator 4 kann durch eine Aktivierung des Thyristors 28 über einen geeigneten Widerstand 36 entladen

15 werden. Der Widerstand 36 sollte dabei so bemessen sein, dass seine Impedanz relativ groß ist im Vergleich zu dem elektrischen Bauelement 2.

In Figur 3 sind exemplarisch über mehrere Schwingungen des

20 elektrischen Schwingkreises 3 hinweg der zeitliche Verlauf der über dem elektrischen Bauelement 2 abfallenden Spannung $U(t)$ 37, der über dem Referenzbauelement 9 abfallenden Referenzspannung $U_R(t)$ 38 und der durch das elektrische Bauelement 2 hindurch fließenden Stromflusses $I(t)$ 39

25 dargestellt. Mit geeigneten mathematischen Methoden können die aufeinanderfolgenden Extremstellen U_1, U_2, U_3 etc. und I_1, I_2, I_3 etc. der einzelnen zeitlichen Verläufe ermittelt werden. An den Extremstellen des Stromflusses kann jeweils der ohmsche Widerstand R des elektrischen Bauteils 2

30 ermittelt und über mehrere Extremstellen hinweg gemittelt werden. Ausgehend von jeweils zwei aufeinanderfolgenden Extremwerten U_1, U_2, U_3 etc. für den Spannungsabfall $U(t)$

kann die Einfügedämpfung $a_I(I_{\text{puls}})$ ermittelt werden, wobei die Einfügedämpfung $a_I(I_{\text{puls}})$ abhängig ist von dem Extremwert des maximalen Stromflusses ist, von welchem ausgehend die Einfügedämpfung $a_I(I_{\text{puls}})$ ermittelt wird.

5

Für jede Halbwelle nach einer Extremstelle des Stromflusses I_1, I_2, I_3 etc. kann die von dem zeitlich sich verändernden Verlauf des Stromflusses $I(t)$ abhängige Induktivität $L(I_{\text{puls}} = I_1, I_2, I_3 \text{ etc.})$ ermittelt werden. Für mehrere

10

aufeinanderfolgende Extremstellen des in Figur 3 dargestellten zeitlichen Verlaufs der gedämpften Schwingung in dem elektrischen Schwingkreis 3 ist die jeweilige Induktivität $L(I)$ als Funktion der Stromstärke in Figur 4 schematisch dargestellt. Die Induktivität $L(I)$ ist dabei

15

für eine vorgegebene Stromstärke I insbesondere bei einem vergleichsweise niedrigen Stromfluss von bis zu 150 A nicht gleich, sondern deutlich abhängig von dem Maximalwert des Stromflusses an der vorausgegangenen Extremstelle I_1, I_2, I_3 etc. des während der gedämpften Schwingung durch das

20

elektrische Bauteil 2 fließenden Stroms. Mit diesen Informationen über das Sättigungsverhalten des elektrischen Bauteils 2 und die Induktivität bzw. die Energieverluste EL des elektrischen Bauteils 2 während eines Stromflusses

25

können neue elektrische Bauteile so ausgelegt werden, dass sie für den jeweiligen Verwendungszweck insbesondere in der Leistungselektronik bestmöglich angepasst sind.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Ermittlung der Induktivität L eines
5 elektrischen Bauelements (2), wobei in einem
Anregungsschritt mindestens ein Hochstromimpuls erzeugt und
durch das elektrische Bauelement (2) geführt wird, wobei in
einem Messschritt über eine Messdauer hinweg elektrische
Eigenschaften des elektrischen Bauelements (2) gemessen
10 werden, und wobei in einem Auswerteschritt aus den
gemessenen elektrischen Eigenschaften die Induktivität L
des elektrischen Bauelements (2) ermittelt wird, dadurch
gekennzeichnet, dass in dem Messschritt ein Spannungsabfall
 U über das elektrische Bauelement (2) sowie ein
15 Referenzspannungsabfall U_R über ein mit dem elektrischen
Bauelement (2) in Reihe geschaltetes Referenzbauelement (9)
mit einer bekannten Referenzinduktivität L_R gemessen wird,
und wobei in dem Auswerteschritt die Induktivität L des
elektrischen Bauelements (2) als Produkt der
20 Referenzinduktivität L_R mit einem Proportionalitätsfaktor
berechnet wird, der von dem gemessenen Spannungsabfall U
und dem gemessenen Referenzspannungsabfall U_R abhängt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
25 während des Messschritts auch ein Stromfluss I durch das
elektrische Bauelement (2) gemessen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
in dem Auswerteschritt der Proportionalitätsfaktor als
30 Quotient von einerseits der Differenz zwischen dem
gemessenen Spannungsabfall U und dem Produkt des ohmschen
Widerstands R des elektrischen Bauelements (2) und dem

gemessenen Stromfluss I und andererseits des gemessenen Referenzspannungsabfalls U_R berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass
5 der ohmsche Widerstand als Mittelwert der Quotienten aus dem Spannungsabfall U und dem Stromfluss I an mehreren Amplitudenmaxima des Stromflusses I durch das elektrische Bauelement (2) während des Messschritts ermittelt wird.

10 5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass während des Anregungsschritts der Hochstromimpuls mit einer Steuereinrichtung (7) ausgelöst wird, die galvanisch von dem Stromkreislauf mit dem elektrischen Bauelement (2)
15 getrennt ist.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Energieverlust als ein
über eine Halbwelle zwischen zwei aufeinanderfolgenden
20 Amplitudenmaxima U_1 und U_2 des Spannungsabfalls über dem elektrischen Bauteil integrierten Produkt des Spannungs- und Stromverlaufs ermittelt wird.

7. Messvorrichtung (1) zur Ermittlung der Induktivität
25 eines elektrischen Bauelements (2), wobei das elektrische Bauelement (2) in einem Schwingkreis (3) angeordnet ist, wobei die Messvorrichtung eine mit dem Schwingkreis (3) verbindbare Stromquelle aufweist, mit welcher ein Hochstromimpuls in dem Schwingkreis (3) erzeugt werden
30 kann, und wobei mit einer Spannungsmessvorrichtung (31) ein Spannungsabfall U über das elektrische Bauelement (2) messbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein

Referenzbauelement (9) mit einer Referenzinduktivität L_R in Reihe mit dem elektrischen Bauelement (2) in dem Schwingkreis (3) angeordnet ist, und dass mit einer Referenzspannungsmessvorrichtung (32) ein

5 Referenzspannungsabfall U_R über das Referenzbauelement (9) messbar ist.

8. Messvorrichtung (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzbauelement (9) eine

10 Luftspule ist.

9. Messvorrichtung (1) nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass mit einer Strommesseinrichtung (33) ein Stromfluss durch das elektrische Bauelement (2)

15 messbar ist.

10. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Messvorrichtung (1) eine Steuereinrichtung (7) und einen in dem Schwingkreis (3)

20 angeordneten Kondensator (4) aufweist, wobei der Kondensator (4) in einem ersten Steuerzustand der Steuereinrichtung (7) über eine Ladeeinrichtung (5) aufgeladen werden kann und wobei der Kondensator (4) in einem zweiten Steuerzustand der Steuereinrichtung (7) in

25 dem Schwingkreis (3) entladen wird und anschließend elektrische Schwingungen in dem Schwingkreis (3) durchgeführt werden können.

11. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (7)

30 einen in dem Schwingkreis (3) angeordneten Thyristor (28)

aufweist, der durch die Steuereinrichtung (7) eingeschaltet werden kann.

12. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 11,
5 dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (7) galvanisch von dem Schwingkreis (3) getrennt ist.

13. Elektronisch lesbarer Datenträger mit einer darin gespeicherten Datenfolge, wobei die Datenfolge mindestens
10 ein Messdatenpaket mit einer Hochstromimpulsinformation sowie mit zwei Messreihen eines zeitlichen Verlaufs eines Spannungsabfalls $U(t)$ und eines Referenzspannungsabfalls $U_R(t)$ für einen mit dem Hochstromimpuls angeregten elektrischen Schwingkreis mit einem elektrischen Bauteil
15 und mit einem Referenzbauteil aufweist, der mit dem Hochstromimpuls zu einer gedämpften elektrischen Schwingung angeregt wurde.

14. Elektronisch lesbarer Datenträger nach Anspruch 13,
20 dadurch gekennzeichnet, dass ein darauf gespeichertes Messdatenpaket zusätzlich eine Messreihe eines zeitlichen Verlaufs eines Stromflusses durch das elektrische Bauteil aufweist.

FIG 1

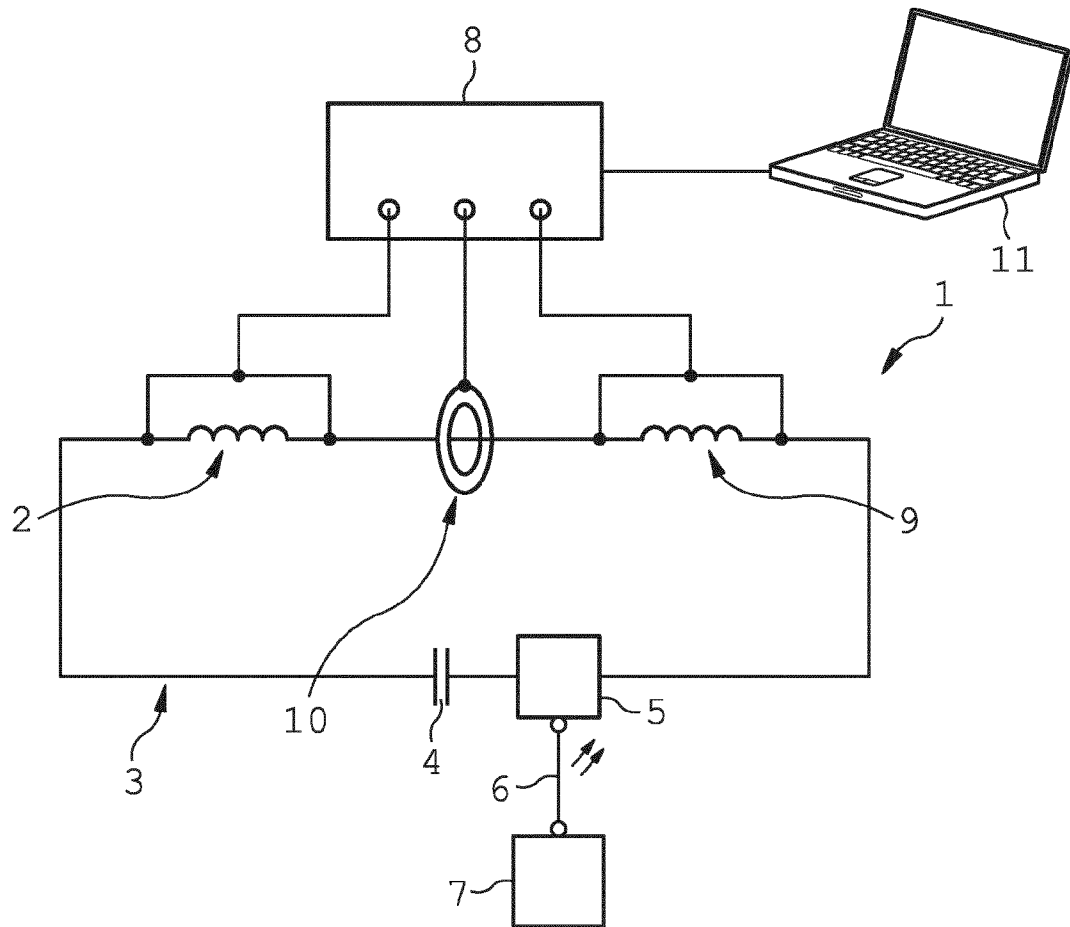


FIG 2

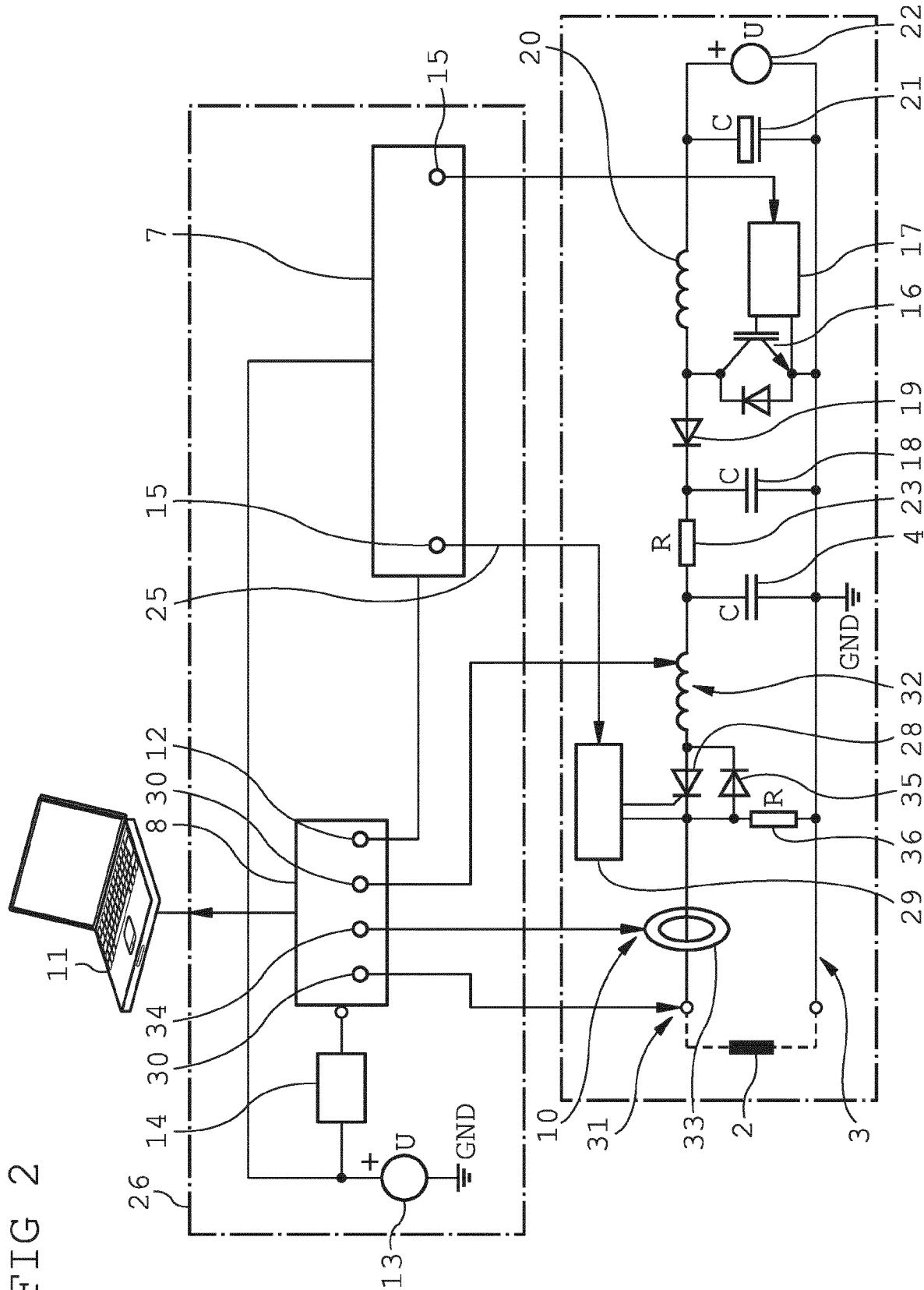


FIG 3

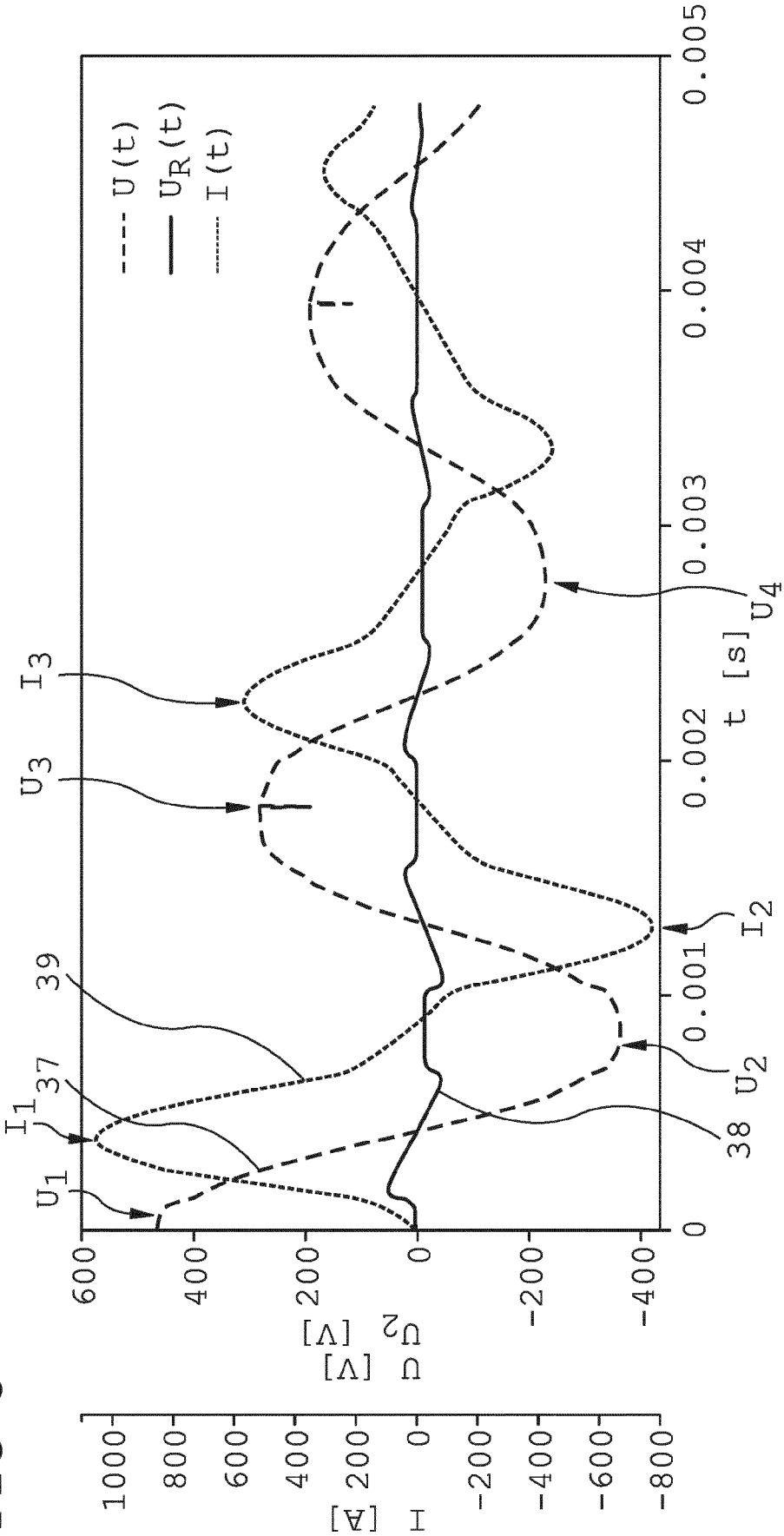
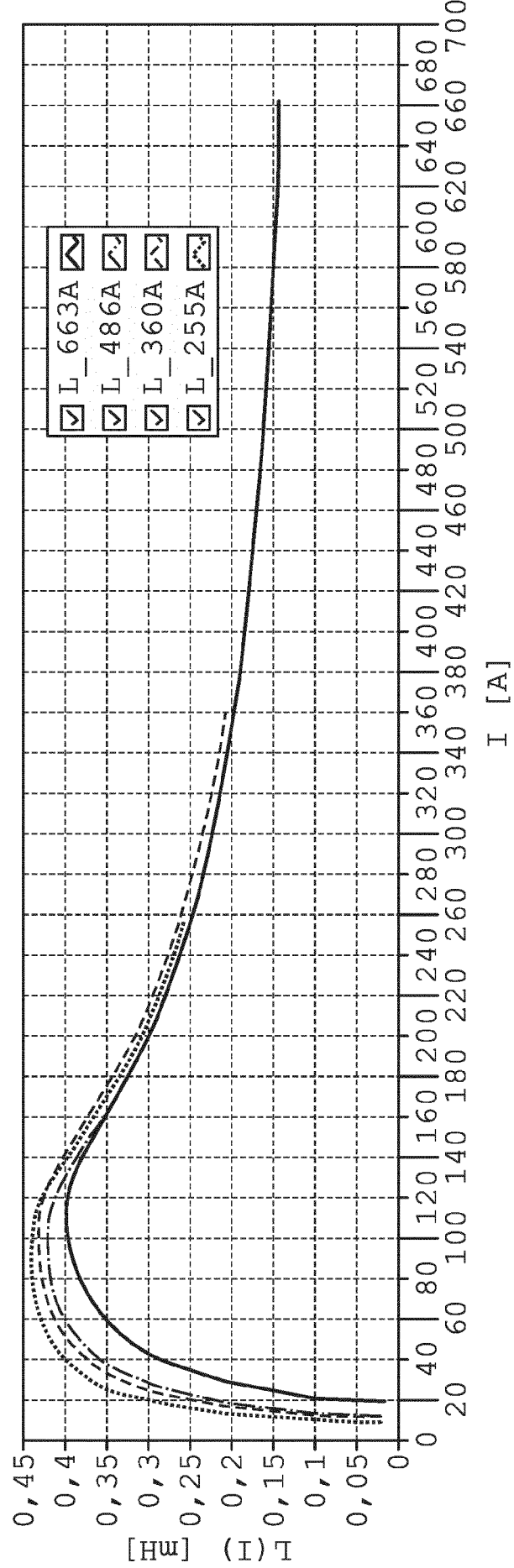


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/079987

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01R 27/26**(2006.01)i; **G01R 15/06**(2006.01)i

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)

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 2944472 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14 May 1981 (1981-05-14) figures 1,2 claim 1 page 4, line 1 - page 9, line 3	1-14
X	US 6150772 A (CRANE DAVID N [US]) 21 November 2000 (2000-11-21)	13,14
A	column 7, line 15 - line 48	1-12



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

12 February 2020

Date of mailing of the international search report

20 February 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Sedlmaier, Stefan

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/079987

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	2944472	A1	14 May 1981	DE	2944472	A1	14 May 1981
				FR	2468886	A1	08 May 1981
				GB	2062253	A	20 May 1981
				JP	S5674612	A	20 June 1981
				US	4322727	A	30 March 1982
US	6150772	A	21 November 2000	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01R27/26 G01R15/06
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 29 44 472 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14. Mai 1981 (1981-05-14) Abbildungen 1,2 Anspruch 1 Seite 4, Zeile 1 - Seite 9, Zeile 3 -----	1-14
X	US 6 150 772 A (CRANE DAVID N [US]) 21. November 2000 (2000-11-21)	13,14
A	Spalte 7, Zeile 15 - Zeile 48 -----	1-12



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

12. Februar 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/02/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Sedlmaier, Stefan

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/079987

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 2944472	A1	14-05-1981	DE 2944472 A1 14-05-1981
			FR 2468886 A1 08-05-1981
			GB 2062253 A 20-05-1981
			JP S5674612 A 20-06-1981
			US 4322727 A 30-03-1982

US 6150772	A	21-11-2000	KEINE
