



(10) **DE 10 2018 200 869 A1** 2019.07.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 200 869.8**  
(22) Anmeldetag: **19.01.2018**  
(43) Offenlegungstag: **25.07.2019**

(51) Int Cl.: **G01R 31/00** (2006.01)  
**G01R 29/14** (2006.01)  
**G01R 29/20** (2006.01)  
**H02J 50/10** (2016.01)

(71) Anmelder:  
**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,  
80809 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US 2013 / 0 282 312 A1**

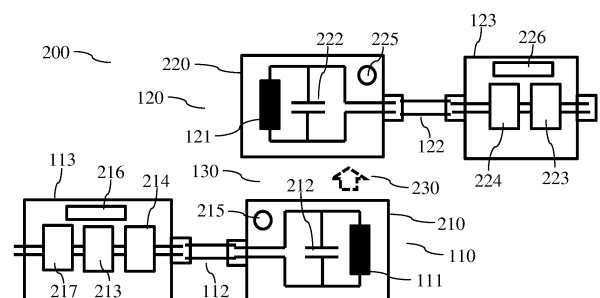
(72) Erfinder:  
**Birkendahl, Johannes, 80802 München, DE;  
Haßler, Marius, 85386 Eching, DE; Krammer,  
Josef, Dr., 83607 Holzkirchen, DE; Weida, Daniel,  
Dr., 80807 München, DE**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Betrieb und/oder Überprüfen eines induktiven Ladesystems**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Vorrichtung (216, 226) für ein induktives Ladesystem (200) beschrieben. Das induktive Ladesystem (200) ist eingerichtet, elektrische Energie über ein magnetisches Wechselfeld (230) mit einer Wechselfeld-Frequenz von einer Primäreinheit (110) an eine Sekundäreinheit (120) zu übertragen. Die Vorrichtung (216, 226) ist eingerichtet, an einer Messstelle des induktiven Ladesystems (200) ein Stromsignal bezüglich eines Stroms (304) an der Messstelle und ein Spannungssignal bezüglich einer Spannung (303) an der Messstelle zu erfassen. Außerdem ist die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet, einen Realteilwert und einen Imaginärteilwert einer Grundwelle des Stromsignals mit der Wechselfeld-Frequenz sowie einen Realteilwert und einen Imaginärteilwert einer Grundwelle des Spannungssignals mit der Wechselfeld-Frequenz zu ermitteln. Die Vorrichtung (216, 226) ist ferner eingerichtet, auf Basis der Realteilwerte und der Imaginärteilwerte der Grundwelle des Stromsignals und der Grundwelle des Spannungssignals einen Impedanzwert einer Impedanz (310, 320) des induktiven Ladesystems (200) an der Messstelle zu ermitteln. Das induktive Ladesystem (200) kann dann auf Basis des Impedanzwertes betrieben und/oder überprüft werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung, die es ermöglichen, ein induktives Ladesystem in effizienter und zuverlässiger Weise zu betreiben und/oder zu überprüfen.

**[0002]** Fahrzeuge mit Elektroantrieb verfügen typischerweise über eine Batterie (d.h. über einen elektrischen Energiespeicher), in der elektrische Energie zum Betrieb einer elektrischen Antriebsmaschine des Fahrzeugs gespeichert werden kann. Die Batterie des Fahrzeugs kann mit elektrischer Energie aus einem Stromversorgungsnetz aufgeladen werden. Zu diesem Zweck wird die Batterie mit dem Stromversorgungsnetz gekoppelt, um die elektrische Energie aus dem Stromversorgungsnetz in die Batterie des Fahrzeugs zu übertragen. Die Kopplung kann drahtgebunden (über ein Ladekabel) und/oder drahtlos (anhand einer induktiven Kopplung zwischen einer Ladestation und dem Fahrzeug) erfolgen.

**[0003]** Ein Ansatz zum automatischen, kabellosen, induktiven Laden des Energiespeichers des Fahrzeugs besteht darin, dass vom Boden zum Unterboden des Fahrzeugs über magnetische Induktion über die Unterbodenfreiheit elektrische Energie zu dem Energiespeicher übertragen wird. Dies ist beispielhaft in **Fig. 1** dargestellt. Insbesondere zeigt **Fig. 1** ein Fahrzeug **100** mit einem Energiespeicher **103** für elektrische Energie (z.B. mit einer aufladbaren Batterie). Das Fahrzeug **100** umfasst eine Sekundärspule **121** im Fahrzeug-Unterboden, wobei die Sekundärspule **121** über einen Gleichrichter mit dem Energiespeicher **103** verbunden ist. Der Gleichrichter ist Teil einer Sekundärelektronik **123**. Die Sekundärspule **121** und die Sekundärelektronik **123** sind typischerweise über zumindest eine (Wechselstrom-) Leitung **122** elektrisch leitend miteinander verbunden und bilden zusammen eine sogenannte „Wireless Power Transfer“ (WPT) Fahrzeugeinheit **120** bzw. Sekundäreinheit **120**.

**[0004]** Die Sekundärspule **121** der Sekundäreinheit **120** kann über einer Primärspule **111** positioniert werden, wobei die Primärspule **111** z.B. auf dem Boden einer Garage angebracht ist. Die Primärspule **111** ist typischerweise Teil einer sogenannten WPT-Bodeneinheit **110** bzw. Primäreinheit **110**. Die Primärspule **111** ist über eine (Wechselstrom-) Leitung **112** mit einer Primärelektronik **113** und weiter mit einer Stromversorgung verbunden. Die Primärelektronik **113** kann einen Frequenz-Generator bzw. Wechselrichter bzw. Inverter umfassen, der einen AC (Alternating Current) Strom in der Primärspule **111** der WPT-Bodeneinheit **110** erzeugt, wodurch ein magnetisches Wechselfeld (insbesondere ein magnetisches Ladefeld) erzeugt wird. Das magnetische Wechselfeld kann eine Wechselfeld-Frequenz aus einem vordefinierten Frequenzbereich aufweisen. Die Wechselfeld-Frequenz des elektromagnetischen Wechselfelds kann im Bereich von 80-90kHz (insbesondere bei einer nominalen Betriebsfrequenz von 85kHz) liegen.

**[0005]** Bei ausreichender magnetischer Kopplung zwischen Primärspule **111** der Primäreinheit **110** und Sekundärspule **121** der Sekundäreinheit **120** (d.h. bei einem ausreichend hohen Kopplungsgrad) über die Unterbodenfreiheit **130** wird durch das magnetische Wechselfeld eine entsprechende Spannung und damit auch ein Strom in der Sekundärspule **121** induziert. Der induzierte Strom in der Sekundärspule **121** der Sekundäreinheit **120** wird durch den Gleichrichter der Sekundärelektronik **123** gleichgerichtet und im Energiespeicher **103** gespeichert. So kann elektrische Energie kabellos von einer Stromversorgung zum Energiespeicher **103** des Fahrzeugs **100** übertragen werden. Der Ladevorgang kann im Fahrzeug **100** durch ein Lade-Steuergerät der Sekundärelektronik **123** gesteuert werden. Das Lade-Steuergerät kann zu diesem Zweck eingerichtet sein, z.B. drahtlos (etwa über WLAN), mit der Primäreinheit **110** zu kommunizieren.

**[0006]** Zur Überbrückung einer relativ großen Unterbodenfreiheit **130** werden typischerweise resonante induktive Koppelsysteme verwendet. Die Primäreinheit **110** weist zu diesem Zweck einen Primärschwingkreis auf, der die Primärspule **111** umfasst. Des Weiteren weist die Sekundäreinheit **120** einen Sekundärschwingkreis auf, der die Sekundärspule **121** umfasst. Die Resonanzfrequenz der Schwingkreise hängt typischerweise von den Übertragungsparametern des induktiven Koppelsystems ab, die wiederum von dem räumlichen Versatz zwischen der Primärspule **111** und der Sekundärspule **121** abhängen. Des Weiteren kann die Spannung des zu ladenden Energiespeichers **103** einen Einfluss auf die Übertragungsparameter haben. Folglich können die Resonanzfrequenzen der Schwingkreise der Primäreinheit **111** und der Sekundäreinheit **121** je nach spezifischer Ladesituation bei einem Ladevorgang substantiell voneinander und/oder von der Wechselfeld-Frequenz bzw. der nominalen Betriebsfrequenz abweichen, wodurch die Effizienz und/oder die Übertragungsleistung eines Ladevorgangs beeinträchtigt werden können.

**[0007]** Das vorliegende Dokument befasst sich mit der technischen Aufgabe, ein induktives Ladesystem in effizienter, präziser und zuverlässiger Weise zu betreiben und/oder zu überwachen.

**[0008]** Die Aufgabe wird durch die unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen werden u.a. in den abhängigen Ansprüchen beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass zusätzliche Merkmale eines von einem unabhängigen Patentanspruch abhängigen Patentanspruchs ohne die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs oder nur in Kombination mit einer Teilmenge der Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs eine eigene und von der Kombination sämtlicher Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs unabhängige Erfindung bilden können, die zum Gegenstand eines unabhängigen Anspruchs, einer Teilungsanmeldung oder einer Nachanmeldung gemacht werden kann. Dies gilt in gleicher Weise für in der Beschreibung beschriebene technische Lehren, die eine von den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche unabhängige Erfindung bilden können.

**[0009]** Gemäß einem Aspekt wird eine Vorrichtung für ein induktives Ladesystem beschrieben. Das induktive Ladesystem umfasst eine Primäreinheit und eine Sekundäreinheit. Das induktive Ladesystem ist eingerichtet, elektrische Energie über ein magnetisches Wechselfeld mit einer Wechselfeld-Frequenz von der Primäreinheit an die Sekundäreinheit zu übertragen. An der Sekundäreinheit kann ein elektrischer Energiespeicher angeschlossen sein, der mit der übertragenen elektrischen Energie geladen wird. Die Vorrichtung kann zumindest teilweise durch analoge und/oder zumindest teilweise durch digitale Schaltungstechnik implementiert sein.

**[0010]** Die Vorrichtung ist eingerichtet, an einer Messstelle des induktiven Ladesystems ein Stromsignal bezüglich eines Stroms an der Messstelle und ein Spannungssignal bezüglich einer Spannung an der Messstelle zu erfassen. Die Signale (in diesem Dokument auch als Messsignale bezeichnet) können mit einem Strommessmodul bzw. einem Spannungsmessmodul erfasst werden. Die Messstelle kann den Polen der Primärspule der Primäreinheit und/oder den Polen der Sekundärspule der Sekundäreinheit entsprechen. Die Signale können analoge Signale oder digitale (d.h. abgetastete) Signale sein. Die Signale werden dabei bevorzugt zeitsynchron erfasst.

**[0011]** Die Vorrichtung ist ferner eingerichtet, einen Realteilwert und einen Imaginärteilwert einer Grundwelle des Stromsignals mit der Wechselfeld-Frequenz sowie einen Realteilwert und einen Imaginärteilwert einer Grundwelle des Spannungssignals mit der Wechselfeld-Frequenz zu ermitteln. Die Signale können z.B. jeweils eine Amplitude und eine Phase aufweisen. Der Realteilwert und der Imaginärteilwert der Grundwelle des Stromsignals können die Amplitude und die Phase der Grundwelle des Stromsignals anzeigen. Der Realteilwert und der Imaginärteilwert der Grundwelle des Spannungssignals können die Amplitude und die Phase der Grundwelle des Spannungssignals anzeigen.

**[0012]** Durch die (ggf. ausschließliche) Betrachtung der Grundwelle des Strom- bzw. des Spannungssignals, können die Einflüsse von Oberwellen eliminiert werden. Derartige Oberwellen können aufgrund relativ hochfrequenter Schaltvorgänge beim Betrieb eines induktiven Ladevorgangs entstehen. Die Schaltvorgänge können dabei eine Schaltfrequenz aufweisen, die größer als die Wechselfeld-Frequenz ist (z.B. um den Faktor **5**, **10** oder mehr). Die isolierte Betrachtung der Grundwelle des Strom- bzw. des Spannungssignals ermöglicht somit einen präzisen Betrieb und/oder eine präzise Überwachung eines induktiven Ladesystems.

**[0013]** Außerdem ist die Vorrichtung eingerichtet, auf Basis der Realteilwerte und der Imaginärteilwerte der Grundwelle des Stromsignals und der Grundwelle des Spannungssignals einen Impedanzwert einer Impedanz des induktiven Ladesystems an der Messstelle zu ermitteln. Die Messstelle kann den Polen und/oder dem Eingang der Primärspule der Primäreinheit entsprechen. Die Vorrichtung kann dann eingerichtet sein, einen Impedanzwert für eine Primärimpedanz des induktiven Ladesystems ausgehend von der Messstelle an dem Eingang der Primärspule bis zu dem von dem induktiven Ladesystem zu ladenden Energiespeicher zu ermitteln. Alternativ oder ergänzend kann die Messstelle den Polen und/oder dem Ausgang der Sekundärspule der Sekundäreinheit entsprechen. Die Vorrichtung kann dann eingerichtet sein, einen Impedanzwert für eine Sekundärimpedanz des induktiven Ladesystems ausgehend von der Messstelle an dem Ausgang der Sekundärspule bis zu dem von dem induktiven Ladesystem zu ladenden Energiespeicher zu ermitteln.

**[0014]** Des Weiteren ist die Vorrichtung eingerichtet, das induktive Ladesystem auf Basis des Impedanzwertes zu betreiben und/oder zu überprüfen. Beispielsweise kann der Parameterwert zumindest eines Betriebsparameters des induktiven Ladesystems in Abhängigkeit von dem Impedanzwert angepasst werden, z.B. um die Effizienz und/oder die Leistungsfähigkeit des induktiven Ladesystems zu erhöhen. Alternativ oder ergänzend kann auf Basis des Impedanzwertes eine Interoperabilität zwischen der Primäreinheit und der Sekundäreinheit überprüft werden.

**[0015]** Durch die Ermittlung des Impedanzwertes (ggf. allein) auf Basis der Grundwelle des Stromsignals und des Spannungssignals können Verzerrungen des Impedanzwertes aufgrund von Oberwellen des Strom- und/

oder Spannungssignals vermieden werden. So wird ein zuverlässiger und effizienter Betrieb eines induktiven Ladesystems ermöglicht.

**[0016]** Die Vorrichtung kann eingerichtet sein, den Realteilwert und den Imaginärteilwert der Grundwelle des Stromsignals auf Basis von (ggf. digitalen) Messwerten und/oder auf Basis eines (ggf. analogen) zeitlichen Verlaufs des Stromsignals für zumindest eine Periode des Stromsignals zu ermitteln. Alternativ oder ergänzend kann die Vorrichtung eingerichtet sein, den Realteilwert und den Imaginärteilwert der Grundwelle des Spannungssignals auf Basis von (ggf. digitalen) Messwerten und/oder auf Basis eines (ggf. analogen) zeitlichen Verlaufs des Spannungssignals für zumindest eine Periode des Spannungssignals zu ermitteln. Eine Periode der Messsignale (d.h. des Stromsignals und/oder des Spannungssignals) entspricht dabei typischerweise dem

Kehrwert der Wechselfeld-Frequenz, dabei kann  $f_0$  die Wechselfeld-Frequenz und  $T_0 = 1/f_0$  die Periode eines Messsignals sein.

**[0017]** Durch die Berücksichtigung zumindest einer Periode des Strom- und/oder Spannungssignals kann bei der Ermittlung des Impedanzwertes eine zeitliche Mittelung erfolgen, so dass verzerrende Effekte aufgrund von (hochfrequenten) Schaltvorgängen innerhalb des induktiven Ladesystems eliminiert werden können. So können die Güte des ermittelten Impedanzwertes erhöht und damit der Betrieb und/oder die Überwachung eines induktiven Ladesystems weiter verbessert werden.

**[0018]** Zur Vereinfachung der Schreibweise kann allgemein ein Messsignal betrachtet werden, das dem Stromsignal und/oder dem Spannungssignal entspricht. Das Messsignal kann eine Sequenz von Messwerten für eine entsprechende Sequenz von (Abtast-) Zeitpunkten einer Periode des Messsignals umfassen. Die Vorrichtung kann eingerichtet sein, einen Messwert für einen (beispielhaften) ersten (Abtast-) Zeitpunkt mit einem Kosinus-Wert einer Kosinusfunktion an dem ersten (Abtast-) Zeitpunkt zu multiplizieren, um den Realteilwert der Grundwelle des Messsignals zu ermitteln. Alternativ oder ergänzend kann die Vorrichtung eingerichtet sein, den Messwert für den ersten (Abtast-) Zeitpunkt mit einem Sinus-Wert einer Sinusfunktion an dem ersten (Abtast-) Zeitpunkt zu multiplizieren, um den Imaginärteilwert der Grundwelle des Messsignals zu ermitteln. Dabei weisen die Kosinusfunktion und die Sinusfunktion eine der Wechselfeld-Frequenz entsprechende Kreisfrequenz auf. Insbesondere kann die Kreisfrequenz  $\omega_0 = 2\pi f_0$  sein.

**[0019]** Die Vorrichtung kann ferner eingerichtet sein, die mit Kosinus-Werten für die Sequenz von (Abtast-) Zeitpunkten multiplizierten Messwerte der Sequenz von Messwerten zu kumulieren, um den Realteilwert der Grundwelle des Messsignals zu ermitteln. In entsprechender Weise können die mit Sinus-Werten für die Sequenz von (Abtast-) Zeitpunkten multiplizierten Messwerte der Sequenz von Messwerten kumuliert werden, um den Imaginärteilwert der Grundwelle des Messsignals zu ermitteln.

**[0020]** Alternativ oder ergänzend kann die Ermittlung des Realteilwerts und des Imaginärteilwerts auf Basis eines analogen Messsignals erfolgen. In diesem Fall kann das analoge Messsignal mit der Kosinusfunktion multipliziert werden, um den Realteilwert zu ermitteln und mit der Sinusfunktion multipliziert werden, um den Imaginärteilwert zu ermitteln. Das mit der Kosinusfunktion bzw. der Sinusfunktion multiplizierte Messsignal für zumindest eine Periode kann dann integriert werden, um den Realteilwert bzw. den Imaginärteilwert zu ermitteln. Diese Funktionen können anhand von analogen Hardware-Bausteinen implementiert werden. So kann in besonders effizienter Weise eine Echtzeit-Ermittlung des Impedanzwertes erfolgen.

**[0021]** Das Messsignal  $g(t)$  kann somit dem Stromsignal und/oder dem Spannungssignal entsprechen (je nachdem ob der Realteilwert bzw. der Imaginärteilwert des Stromsignals oder des Spannungssignals ermittelt werden soll).

**[0022]** Die Vorrichtung kann eingerichtet sein, den Realteilwert der Grundwelle des Messsignals auf Basis der Formel  $\int_0^{T_0} g(t) \cos(\omega_0 t) dt$ , insbesondere auf Basis der Formel  $2f_0 \int_0^{T_0} g(t) \cos(\omega_0 t) dt$ , oder einer zeitdiskreten und/oder approximierten Version davon zu ermitteln. Des Weiteren kann die Vorrichtung eingerichtet sein, den Imaginärteilwert der Grundwelle des Messsignals auf Basis der Formel  $\int_0^{T_0} g(t) \sin(\omega_0 t) dt$ , insbesondere auf Basis der Formel  $-f_0 \int_0^{T_0} g(t) \sin(\omega_0 t) dt$ , oder einer zeitdiskreten und/oder approximierten Version davon zu ermitteln. So kann eine effiziente und präzise Ermittlung eines Impedanzwertes für den Betrieb und/oder die Überwachung eines induktiven Ladesystems ermöglicht werden.

**[0023]**  $\text{Re}\{U\}$  kann der Realteilwert der Grundwelle des Spannungssignals sein,  $\text{Re}\{I\}$  kann der Realteilwert der Grundwelle des Stromsignals sein,  $\text{Im}\{U\}$  kann der Imaginärteilwert der Grundwelle des Spannungssignals sein und  $\text{Im}\{I\}$  kann der Imaginärteilwert der Grundwelle des Stromsignals sein. Die Vorrichtung kann dann eingerichtet sein, den Betrag  $|Z|$  des Impedanzwertes auf Basis der Formel

$$|Z| = \sqrt{\frac{\text{Re}\{U\}^2 + \text{Im}\{U\}^2}{\text{Re}\{I\}^2 + \text{Im}\{I\}^2}}$$

oder einer Approximation davon zu ermitteln. Des Weiteren kann die Vorrichtung eingerichtet sein, eine Phase  $\varphi$  des Impedanzwertes auf Basis der Formel

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\text{Im}\{U\}}{\text{Re}\{U\}}\right) - \arctan\left(\frac{\text{Im}\{I\}}{\text{Re}\{I\}}\right)$$

oder einer Approximation davon zu ermitteln. So kann eine effiziente und präzise Ermittlung eines Impedanzwertes für den Betrieb und/oder die Überwachung eines induktiven Ladesystems ermöglicht werden.

**[0024]** Die Vorrichtung kann eingerichtet sein, eine Mehrzahl von Impedanzwerten für eine entsprechende Mehrzahl von unterschiedlichen Betriebszuständen des induktiven Ladesystems zu ermitteln. Dabei können die unterschiedlichen Betriebszustände zumindest teilweise unterschiedliche Parameterwerte von einem oder mehreren Betriebsparametern aufweisen. Beispielhafte Betriebsparameter sind: die Wechselfeld-Frequenz; ein räumlicher Versatz zwischen der Primärspule der Primäreinheit und der Sekundärspule der Sekundäreinheit; ein Ladezustand und/oder eine Betriebsspannung des Energiespeichers, der von dem induktiven Ladesystem geladen wird; und/oder eine Eigenschaft des Spalts zwischen der Primärspule und der Sekundärspule.

**[0025]** Die Vorrichtung kann dann eingerichtet sein, das induktive Ladesystem auf Basis der Mehrzahl von Impedanzwerten zu betreiben und/oder zu überprüfen. Insbesondere kann so ein Betriebszustand (d.h. eine bestimmte Kombination von Parameterwerten der ein oder mehreren Betriebsparameter) ermittelt werden, der einen möglichst energieeffizienten Betrieb und/oder einen Betrieb mit einer möglichst großen Übertragungsleistung ermöglicht.

**[0026]** Die Vorrichtung kann eingerichtet sein, das Stromsignal und das Spannungssignal für zumindest eine Messperiode während eines Ladevorgangs des induktiven Ladesystems zu erfassen. Dabei entspricht eine Messperiode bevorzugt einer Periode des Strom- und/oder Spannungssignals bzw. einem ganzzahligen Vielfachen der Periode des Strom- und/oder Spannungssignals. Des Weiteren kann der Impedanzwert während eines Ladevorgangs des induktiven Ladesystems ermittelt werden. Es kann somit ein Impedanzwert bei laufendem Betrieb des induktiven Ladesystems unter Last ermittelt werden. Somit kann ein Impedanzwert ermittelt werden, der einen besonders zuverlässigen Betrieb und eine besonders zuverlässige Überwachung des induktiven Ladesystems ermöglicht. Des Weiteren kann so eine (ggf. quasi-kontinuierliche) Anpassung und/oder Überprüfung des induktiven Ladesystems erfolgen.

**[0027]** Die Vorrichtung kann eingerichtet sein, eine zeitliche Sequenz von Impedanzwerten für eine zeitliche Sequenz von Messperioden zu ermitteln. Das induktive Ladesystem kann dann auf Basis der zeitlichen Sequenz von Impedanzwerten betrieben und/oder überprüft werden. Insbesondere kann überprüft werden, ob sich der Impedanzwert mit der Zeit verändert. Veränderungen des Impedanzwertes können z.B. auf eine Veränderung des räumlichen Versatzes zwischen der Primärspule und der Sekundärspule hinweisen, und/oder auf eine Veränderung des Spalts zwischen der Primärspule und der Sekundärspule hinweisen. Ggf. kann in Reaktion auf eine Veränderung des Impedanzwertes eine automatische Unterbrechung eines Ladevorgangs erfolgen. So kann die Sicherheit eines induktiven Ladesystems erhöht werden.

**[0028]** Die Vorrichtung kann eingerichtet sein, den Impedanzwert mit einem Referenz-Impedanzwert zu vergleichen. Das induktive Ladesystem kann dann in Abhängigkeit von dem Vergleich betrieben und/oder auf Basis des Vergleichs überprüft werden. Beispielsweise kann auf Basis des Vergleichs ermittelt werden, ob die Primäreinheit und die Sekundäreinheit des induktiven Ladesystems interoperabel sind.

**[0029]** Gemäß einem weiteren Aspekt werden eine Primäreinheit und/oder eine Sekundäreinheit für ein induktives Ladesystem beschrieben, die die in diesem Dokument beschriebene Vorrichtung umfassen.

**[0030]** Gemäß einem weiteren Aspekt wird eine Ladevorrichtung beschrieben (insbesondere für ein Fahrzeug bzw. ein Straßenkraftfahrzeug, etwa einen Personenkraftwagen, einen Lastkraftwagen, einen Bus oder ein Motorrad), die die in diesem Dokument beschriebene Primäreinheit und/oder Vorrichtung umfasst.

**[0031]** Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Fahrzeug (insbesondere ein Straßenkraftfahrzeug, etwa ein Personenkraftwagen, ein Lastkraftwagen, ein Bus oder ein Motorrad), das die in diesem Dokument beschriebene Sekundäreinheit und/oder Vorrichtung umfasst.

**[0032]** Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Verfahren zum Betreiben und/oder Überprüfen eines induktiven Ladesystems beschrieben. Das induktive Ladesystem ist eingerichtet, elektrische Energie über ein magnetisches Wechselfeld mit einer Wechselfeld-Frequenz von einer Primäreinheit an eine Sekundäreinheit zu übertragen. Das Verfahren umfasst das Erfassen, an einer Messstelle des induktiven Ladesystems, eines Stromsignals bezüglich eines Stroms an der Messstelle und eines Spannungssignals bezüglich einer Spannung an der Messstelle. Außerdem umfasst das Verfahren das Ermitteln eines Realteilwertes und eines Imaginärteilwertes einer Grundwelle des Stromsignals mit der Wechselfeld-Frequenz sowie eines Realteilwertes und eines Imaginärteilwertes einer Grundwelle des Spannungssignals mit der Wechselfeld-Frequenz. Das Verfahren umfasst ferner das Ermitteln, auf Basis der Realteilwerte und der Imaginärteilwerte der Grundwelle des Stromsignals und der Grundwelle des Spannungssignals, eines Impedanzwertes einer Impedanz des induktiven Ladesystems an der Messstelle. Des Weiteren umfasst das Verfahren das Betreiben und/oder Überprüfen des induktiven Ladesystems auf Basis des Impedanzwertes.

**[0033]** Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Software (SW) Programm beschrieben. Das SW Programm kann eingerichtet werden, um auf einem Prozessor ausgeführt zu werden, und um dadurch das in diesem Dokument beschriebene Verfahren auszuführen.

**[0034]** Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Speichermedium beschrieben. Das Speichermedium kann ein SW Programm umfassen, welches eingerichtet ist, um auf einem Prozessor ausgeführt zu werden, und um dadurch das in diesem Dokument beschriebene Verfahren auszuführen.

**[0035]** Es ist zu beachten, dass die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren, Vorrichtungen und Systeme sowohl alleine, als auch in Kombination mit anderen in diesem Dokument beschriebenen Verfahren, Vorrichtungen und Systemen verwendet werden können. Des Weiteren können jegliche Aspekte der in diesem Dokument beschriebenen Verfahren, Vorrichtungen und Systemen in vielfältiger Weise miteinander kombiniert werden. Insbesondere können die Merkmale der Ansprüche in vielfältiger Weise miteinander kombiniert werden.

**[0036]** Im Weiteren wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher beschrieben. Dabei zeigen

**Fig. 1** beispielhafte Komponenten eines induktiven Ladesystems zum Laden des Energiespeichers eines Fahrzeugs;

**Fig. 2a** ein beispielhaftes resonantes induktives Ladesystem;

**Fig. 2b** ein beispielhaftes Modell für ein induktives Ladesystem;

**Fig. 3a** beispielhafte Impedanzen eines induktiven Ladesystems;

**Fig. 3b** und **Fig. 3c** beispielhafte Strom- und Spannungsmessmodule; und

**Fig. 4** ein Ablaufdiagramm eines beispielhaften Verfahrens zum Betreiben eines induktiven Ladesystems.

**[0037]** Wie eingangs dargelegt, befasst sich das vorliegende Dokument mit dem zuverlässigen und effizienten Betrieb eines induktiven Ladesystems. In diesem Zusammenhang zeigt **Fig. 2a** ein Schaltbild eines beispielhaften induktiven Ladesystems **200** mit einer WPT-Bodeneinheit **110** (als Beispiel für eine Primäreinheit) und einer WPT-Fahrzeugeinheit **120** (als Beispiel für eine Sekundäreinheit). Die Primäreinheit **110** umfasst als Teil der Primärelektronik **113** einen Leistungsfaktorkorrekturfilter **217** und einen Wechselrichter **213**, wobei der Wechselrichter **213** eingerichtet ist, aus einem Gleichstrom (z.B. bei einer Gleichspannung von ca. 400V, 500V oder mehr) einen Wechselstrom mit einer Ladefeld- bzw. Wechselfeld-Frequenz zu generieren. Des Weiteren umfasst die Primäreinheit **110** die Primärspule **111** und einen Primärkondensator **212**. Außerdem ist in **Fig. 2a** beispielhaft ein Filter **214** der Primärelektronik **113** dargestellt. Die Primäreinheit **110** umfasst somit einen parallelen und/oder einen seriellen Schwingkreis **210** (hier auch als Primärschwingkreis bezeichnet), dessen Resonanzfrequenz sich aus der Gesamtkapazität bzw. der effektiven Kapazität C (insbesondere der Kapazität des Primärkondensators **212**) und der Gesamtinduktivität bzw. der effektiven Induktivität L (insbe-

sondere der Induktivität der Primärspule **111**) angenähert als  $f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  ergibt. Die Wechselfeld-Frequenz  $f_0$  des Wechselstroms und des durch die Primärspule **111** generierten Magnetfelds **230** ist bevorzugt nahe an der Resonanzfrequenz  $f_R$ , um einen möglichst hohen Primärstrom (in diesem Dokument auch als Spulenstrom bezeichnet) durch die Primärspule **111** zu erzeugen (durch eine Resonanz). Ein hoher Primärstrom ist typischerweise erforderlich, da der Kopplungsfaktor  $k$  zwischen Primärspule **111** und Sekundärspule **121** aufgrund des relativ großen Luftspaltes **130** relativ klein ist, z.B.  $k \sim 0.1$ . Der Primärschwingkreis **210** kann weiter ein oder mehrere Sensoren **215** (z.B. einen Temperatursensor) zur Überwachung des Primärschwingkreises **210** aufweisen. Des Weiteren kann die Primärelektronik **113** eine Steuereinheit **216** zur Anpassung der Wechselfeld-Frequenz und/oder zur Steuerung des Wechselrichters **213** aufweisen.

**[0038]** In analoger Weise umfasst die Sekundäreinheit **120** einen (parallelen und/oder seriellen) Schwingkreis **220** (hier auch als Sekundärschwingkreis bezeichnet), der aus der Sekundärspule **121** und einem Sekundärkondensator **222** gebildet wird. Die Resonanzfrequenz dieses Sekundärschwingkreises **220** ist bevorzugt an die Resonanzfrequenz des Primärschwingkreises **210** der Primäreinheit **110** angepasst, um eine möglichst gute Energieübertragung zu erreichen. Der Sekundärschwingkreis **220** kann weiter ein oder mehrere Sensoren **225** (z.B. einen Temperatursensor) zur Überwachung des Sekundärschwingkreises **220** aufweisen. Außerdem sind in **Fig. 2a** ein Kompensationsnetzwerk (z.B. mit einem Filter-Kondensator) **224**, ein Gleichrichter **223** und eine Steuereinheit **226** der Sekundärelektronik **123** dargestellt.

**[0039]** Das induktive Koppelsystem **200** zwischen Primärspule **111** und Sekundärspule **121** kann z.B. durch ein T-Ersatzschaltbild (siehe **Fig. 2b**) beschrieben bzw. modelliert werden. Dieses Modell **240** weist als Übertragungsparameter **241** die effektive Induktivität  $L_1$  der Primärspule **111**, die effektive Induktivität  $L_2$  der Sekundärspule **121** und den Kopplungsfaktor  $k$  auf (mit der Gegeninduktivität  $M = k \cdot \sqrt{L_1 L_2}$ ). Die Übertragungsparameter  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $M$ ,  $k$  **241** sind dabei typischerweise Funktionen der relativen Position zwischen Primärspule **111** und Sekundärspule **121**, d.h. Funktionen von  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Die effektive Induktivität  $L_1$  der Primärspule **111** kann somit für unterschiedliche Randbedingungen eines Ladevorgangs unterschiedlich sein, so dass die Resonanzfrequenz des Primärschwingkreises variieren kann. Dies gilt in entsprechender Weise für den Sekundärschwingkreis.

**[0040]** Um die Auswirkungen auf den Primär- und/oder den Sekundärschwingkreis zumindest teilweise zu kompensieren, kann ein Frequenz-Tuning, d.h. eine Anpassung der Wechselfeld-Frequenz, erfolgen. Der mögliche Frequenzbereich für die Wechselfeld-Frequenz ist dabei typischerweise begrenzt (insbesondere auf den Frequenzbereich 81,38 bis 90kHz, durch den FCC (Federal Communications Commission) Frequency Table). Alternativ oder ergänzend können feste Kompensationsschaltungen innerhalb der Primäreinheit **110** verwendet werden. Alternativ oder ergänzend können veränderbare bzw. einstellbare Elemente (z.B. Kondensatoren und/oder Induktivitäten) verwendet werden, um die Resonanzfrequenz des Primär- und/oder Sekundärschwingkreises anzupassen.

**[0041]** Eine präzise Kompensation von variierenden Übertragungsparametern setzt typischerweise die vorhergehende Ermittlung der Parameterwerte der vorliegenden Übertragungssituation bzw. des vorliegenden Betriebszustands voraus. Insbesondere können Impedanzwerte von ein oder mehreren Impedanzen des induktiven Ladesystems **200** erfasst werden. **Fig. 3a** zeigt eine beispielhafte Primär-Impedanz **310** (auch als Ground Assembly (GA) Impedanz oder als Eingangsimpedanz bezeichnet) **310**, die am Eingang der Primärspule **111** (d.h. zwischen den Kontaktpunkten der Primärspule **111**) vorliegt und das Ladesystem **200** ausgehend vom Eingang der Primärspule **111** bis zu dem zu ladenden Energiespeicher **103** beschreibt. Des Weiteren zeigt **Fig. 3b** eine beispielhafte Sekundär-Impedanz **320** (auch als Vehicle Assembly (VA) Impedanz oder als Ausgangsimpedanz bezeichnet), die am Ausgang der Sekundärspule **121** (d.h. zwischen den Kontaktpunkten der Sekundärspule **121**) vorliegt und das Ladesystem **200** ausgehend vom Ausgang der Sekundärspule **121** bis zu dem Energiespeicher **103** beschreibt.

**[0042]** Der Impedanzwert der Primär- und/oder Sekundär-Impedanz **310**, **320** ermöglicht es, den (Betriebs-) Zustand eines induktiven Ladesystems **200** zu beschreiben. Des Weiteren kann mittels der Impedanzwerte die Interoperabilität zwischen einer Primäreinheit **110** und einer Sekundäreinheit **120** überprüft werden. Insbesondere kann der Bereich, der vom Real- und Imaginärteil der Impedanz **310**, **320** für unterschiedliche Versatzsituationen zwischen Primärspule **111** und Sekundärspule **121** aufgespannt wird, als Information dafür verwendet werden, wie flexibel eine Primäreinheit **110** mit einer Sekundäreinheit **120** interoperieren kann.

**[0043]** Beispielhafte Verfahren zur Ermittlung eines Impedanzwertes einer Impedanz **310, 320** sind Messbrücken, Auto-Balancing-Brücken, IV-Messungen, RF-IV-Messungen und Netzwerkanalysen. Bei Messung der Impedanzwerte eines induktiven Ladesystems **200** mit den o.g. Messverfahren tritt das Problem auf, dass aufgrund von schaltenden Elementen in der Elektronik **123** des induktiven Ladesystems **200** (insbesondere in dem Gleichrichter **223**) je nach Schaltzustand unterschiedliche Impedanzwerte erfasst werden. Die Schaltfrequenz der schaltenden Elemente ist dabei typischerweise größer als die Wechselfeld-Frequenz (z.B. um den Faktor **10, 100** oder mehr). Die Zustandsänderung aufgrund der Schaltzustände erschwert die Vergleichbarkeit, da keine einheitliche Impedanz gemessen werden kann.

**[0044]** Des Weiteren ermöglichen es die o.g. Messverfahren nicht ohne weiteres, Impedanzwerte während des Betriebs eines induktiven Ladesystems **200** (unter Last) zu erfassen. Die Messungen erfolgen typischerweise über die Auswertung von Impulsantworten. Wenn keine Messung von Impedanzwerten unter Last möglich ist, so können die erfassten Impedanzwerte auch nicht dazu verwendet werden, einen während des Betriebs auftretenden Fehler des induktiven Ladesystems **200** zu detektieren.

**[0045]** Die Ströme und Spannungen eines induktiven Ladesystems **200** weisen, insbesondere aufgrund der schaltenden Elemente, typischerweise Oberwellen auf, durch die die erfassten Impedanzwerte verfälscht werden können. Die elektrische Energie wird über die Primärspule **111** mit einer Wechselfeld-Frequenz  $f_0$  eingespeist (typischerweise im Bereich von 85kHz) und die Schwingkreise sind typischerweise auf diese Frequenz abgestimmt. Folglich ist der Anteil der Energie, der in den Oberwellen übertragen wird, typischerweise relativ klein, so dass die Impedanzwerte einer Impedanz **310, 320** für Oberwellen mit einer Frequenz, die einem Vielfachen der Wechselfeld-Frequenz  $f_0$  entspricht, typischerweise nicht betrachtet werden müssen.

**[0046]** Meist werden bei einem induktiven Ladesysteme **200** relativ hohe Blindleistungen erbracht, um eine ausreichende Übertragung von Nutzleistung über die Spulen **111, 121** zu ermöglichen. Die relativ hohen Blindleistungen führen dazu, dass die Imaginärteile von Strom und Spannung meist deutlich größer sind als die Realteile von Strom und Spannung. Als Folge daraus sind die Phasenwinkel von Strom und Spannung nah beieinander, was die Bestimmung der Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung und damit die Bestimmung eines Impedanzwertes einer Impedanz **310, 320** erschwert.

**[0047]** Fig. 3b zeigt ein beispielhaftes Strommessmodul **302**, mit dem der Strom **304**, und ein beispielhaftes Spannungsmessmodul **301**, mit dem die Spannung **303** zur Ermittlung des Impedanzwertes einer Impedanz **310, 320** erfasst werden können. Das Spannungsmessmodul **301** kann, wie in Fig. 3c beispielhaft dargestellt, einen Spannungsteiler aufweisen (mit relativ hohen Widerstandswerten). Das Strommessmodul **302** kann, wie in Fig. 3c beispielhaft dargestellt, einen Messwiderstand und ggf. eine galvanische Trennung über gekoppelte Spulen aufweisen.

**[0048]** Mittels der Messmodule **301, 302** können somit zeitlich synchron die Spannung  $u(t)$  **303** und der Strom  $i(t)$  **304** erfasst werden. Zur Vereinfachung wird im Folgenden auf ein allgemeines Messsignal  $g(t)$  eingegangen, wobei das Messsignal der Spannung **303** und/oder dem Strom **304** entsprechen kann. Das erfasste Messsignal  $g(t)$  weist typischerweise eine Grundwelle mit der Grundfrequenz  $f_0$  (bzw.  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ) sowie ein oder mehrere Oberwellen mit ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz auf. Das Messsignal lässt sich somit in eine Fourier-Reihe zerlegen, mit

$$g(t) = \sum_{k=0}^{\infty} (A_k \cos(\omega_0 k t) + B_k \sin(\omega_0 k t)),$$

wobei  $k$  der Frequenzindex ist, wobei  $A_k$  die Amplitude des Realteils und  $B_k$  die Amplitude des Imaginärteils des Messsignals  $g(t)$  ist.

**[0049]** Andererseits kann eine Fouriertransformation eines zeitlichen Intervalls  $[0, T]$  des Messsignals  $g(t)$  durchgeführt werden, um auf Basis der Fourier-Koeffizienten die einzelnen Frequenzanteile des Messsignals (insbesondere den Frequenzanteil für die Grundfrequenz) zu analysieren. Es ergibt sich,

$$F(x\omega_0) = \int_0^T g(t) e^{-jx\omega_0 t} dt, \quad -\infty < x < \infty,$$

wobei  $x$  der Frequenzindex der Fouriertransformation ist und wobei  $F(x\omega_0)$  die Fourier-Koeffizienten für unterschiedliche Frequenzen  $x\omega_0$  sind.



**[0050]** Es kann nun die o.g. Fourier-Reihen Beschreibung des Messsignals in die Fouriertransformation eingesetzt werden. Des Weiteren kann die Eulersche Gleichung für den Term  $e^{-jx\omega_0 t}$  berücksichtigt werden. Au-

ßerdem kann angenommen werden, dass  $T$  der Periode  $\frac{1}{f_0}$  des Messsignals oder einem ganzzahligem Vielfachen der Periode entspricht. Es kann dann für die Grundwelle mit  $k = x = 1$  ermittelt werden,

$$F(\omega_0) = \int_0^T \left( A_1 \cos^2(\omega_0 t) - B_1 \sin^2(\omega_0 t) \right) dt.$$

**[0051]** Es kann nun gezeigt werden, dass für den Fourier-Koeffizienten  $F(\omega_0)$  der Grund-Kreisfrequenz  $\omega_0$  gilt

$$F(\omega_0) = \frac{1}{2f_0} A_1 - j \frac{1}{2f_0} B_1.$$

**[0052]** Andererseits gilt aufgrund der o.g. Formel für die Fourier-Koeffizienten

$$F(\omega_0) = \int_0^T g(t) \cos(\omega_0 t) dt - j \int_0^T g(t) \sin(\omega_0 t) dt,$$

so dass der Realteil  $A_1$  der Grundschiwingung des Messsignals  $g(t)$  berechnet werden kann als

$$A_1 = 2f_0 \int_0^T g(t) \cos(\omega_0 t) dt$$

und der Imaginärteil  $B_1$  der Grundschiwingung des Messsignals  $g(t)$  berechnet werden kann als

$$B_1 = -f_0 \int_0^T g(t) \sin(\omega_0 t) dt.$$

**[0053]** Durch das Anwenden der Fourier-Transformation, insbesondere der Fast Fourier Transformation (FFT), können sowohl Real- wie auch Imaginärteil in einer Formel erhalten werden. In diesem Dokument wird die Transformation aufgesplittet und es erfolgt entweder eine Multiplikation des Messsignals mit einem Cosinus oder eine Multiplikation des Messsignals mit einem Sinus. Als Folge daraus fallen weitere Terme weg, und man erhält in effizienter Weise den Real- bzw. Imaginärteil der Grundwelle bzw. Grundschiwingung des Messsignals anhand der o.g. Formeln.

**[0054]** Anhand der o.g. Formeln können somit auf Basis der Messwerte und/oder der gemessenen zeitlichen

Verläufe der Spannung  $u(t)$  303 und des Stroms  $i(t)$  304 für eine Periode  $T_0 = \frac{1}{f_0}$  der Realteil und der Imaginärteil der Spannung  $u(t)$  303 und des Stroms  $i(t)$  304 berechnet werden, d.h.  $\text{Re}\{U\}$ ,  $\text{Re}\{I\}$ ,  $\text{Im}\{U\}$  und  $\text{Im}\{I\}$ . Es können somit auf Basis der Messwerte über zumindest eine Periode  $T_0$  Messwerte des Realteils und des Imaginärteils der Grundschiwingung der Spannung  $u(t)$  303 und des Stroms  $i(t)$  304 berechnet werden.

**[0055]** Ggf. können mehrere Perioden  $T = nT_0$ , mit  $n \in \mathbb{N}$ , des Stromsignals und/oder des Spannungssignals erfasst werden. Es kann dann eine Mittelung über die Perioden erfolgen, mit

$$A_1 = \frac{2f_0}{n} \int_0^T g(t) \cos(\omega_0 t) dt, \text{ und } B_1 = -\frac{2f_0}{n} \int_0^T g(t) \sin(\omega_0 t) dt.$$

**[0056]** Der Betrag  $|Z|$  des Impedanzwertes  $Z = |Z|e^{j\varphi}$  einer Impedanz **310**, **320** kann dann ermittelt werden, als

$$|Z| = \sqrt{\frac{\text{Re}\{U\}^2 + \text{Im}\{U\}^2}{\text{Re}\{I\}^2 + \text{Im}\{I\}^2}},$$

und die Phase  $\varphi$  des Impedanzwertes kann ermittelt werden als

$$\varphi = \varphi_U - \varphi_I = \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}\{U\}}{\operatorname{Re}\{U\}}\right) - \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}\{I\}}{\operatorname{Re}\{I\}}\right),$$

wobei  $\varphi_U$  die Phase der gemessenen Spannung **303** und  $\varphi_I$  die Phase des gemessenen Stroms **304** ist.

**[0057]** Die Berechnung eines Impedanzwertes kann unter Verwendung von Multiplikatoren, Integrationen, Addierern und/oder Haltegliedern mittels (analoger) Hardware erfolgen, um in effizienter Weise eine Echtzeit-Ermittlung eines Impedanzwertes einer Impedanz **310**, **320** zu ermöglichen.

**[0058]** Es kann somit in effizienter und präziser Weise ein Impedanzwert auf Basis der Messwerte von Spannung **303** und Strom **304** für zumindest eine Periode  $T_0$  berechnet werden. Der Impedanzwert wird dabei für die Grundschwingung von Spannung **303** und Strom **304** ermittelt, so dass Verfälschungen aufgrund der Oberwellen in den Messwerten von Spannung **303** und Strom **304** eliminiert werden. Des Weiteren erfolgt implizit eine Mittelung der Impedanzwerte über zumindest eine Periode  $T_0$ , so dass verzerrende Einflüsse aufgrund von unterschiedlichen Schaltzuständen von schaltenden Elementen eines induktiven Ladesystems **200** eliminiert werden.

**[0059]** Um den Impedanzwert  $Z$  einer Impedanz **310**, **320** unabhängig von den Schaltzuständen und Oberwellen unter Last zu messen, kann somit eine (zeit-) synchrone Messung von Messwerten bzw. zeitlichen Verläufen von Strom **304** und Spannung **303** in dem induktiven Ladesystem **200** unter Last durchgeführt werden. Es können dann Real- und Imaginärteil von Strom **304** und Spannung **303** bestimmt werden (anhand der in diesem Dokument beschriebenen Formeln). Zu diesem Zweck wird das jeweilige Messsignal mit einem Cosinus bzw. einen Sinus multipliziert, über (zumindest) eine Periode integriert und mit dem Faktor  $2f_0$  bzw.  $-2f_0$  gewichtet. Die Fouriertransformation, die bei dieser Berechnung implizit angewendet wird, eliminiert alle störenden Oberwellen. Des Weiteren erfolgt durch die Integration über zumindest eine Periode eine Mittelung des jeweiligen Messsignals inklusive aller Schaltvorgänge. Durch das Halten der berechneten Signale für den Real- und Imaginärteil mittels Halteglieder können kontinuierliche Ausgangssignale für den Real- und Imaginärteil bereitgestellt werden.

**[0060]** Aus den Real- und Imaginärteilen von Strom **304** und Spannung **303** können dann der Betrag  $|Z|$  und die Phase  $\varphi$  des Impedanzwertes  $Z$  einer Impedanz **310**, **320** errechnet werden (z.B. unter Verwendung einer (analogen) Hardware-Schaltung).

**[0061]** Es werden somit ein Verfahren und/oder eine Vorrichtung beschrieben, mit denen der Impedanzwert einer Impedanz **310**, **320** unter Last und damit während eines laufenden Ladevorgangs eines induktiven Ladesystems **200** erfolgen kann. Somit ist keine Unterbrechung eines Ladevorgangs erforderlich. Des Weiteren kann der ermittelte Impedanzwert im Rahmen des Betriebs eines induktiven Ladesystems **200** verwendet werden. Beispielsweise kann in Abhängigkeit von dem Impedanzwert eine (Re-)Positionierung von Primärspule **111** und/oder Sekundärspule **121** erfolgen. Alternativ oder ergänzend kann auf Basis des Impedanzwertes eine Fehlerüberwachung des induktiven Ladesystems **200** erfolgen (z.B. das Erkennen eines Kurzschlusses).

**[0062]** Die Extraktion der Grundwelle des Stroms **304** und der Spannung **303** ermöglicht die Ermittlung eines verzerrungsfreien Impedanzwertes, die nicht durch Anteile aus Oberwellen gestört ist. Da die Energie eines induktiven Ladesystems **200** typischerweise ausschließlich über die Grundwelle übertragen wird, kann durch die Beschränkung auf die Grundwelle des Stroms **304** und der Spannung **303** die Relevanz des ermittelten Impedanzwertes für die Beurteilung der Effizienz und der Leistungsfähigkeit eines induktiven Ladesystems **200** erhöht werden.

**[0063]** Die Mittelung des Impedanzwertes über zumindest eine Periode ermöglicht die Ermittlung eines repräsentativen Impedanzwertes, der sowohl die Schaltvorgänge innerhalb einer Periode als auch das generelle Verhalten des induktiven Ladesystems **200** widerspiegelt.

**[0064]** Mit dem in diesem Dokument beschriebenen Verfahren bzw. der beschriebenen Vorrichtung können Impedanzwerte für Impedanzen unterschiedlichster Schaltungen ermittelt werden, wenn die Betriebsfrequenz  $f_0$  der jeweiligen Schaltung bekannt ist. So kann das Verhalten einer Schaltung in präziser und kompakter Weise beschrieben werden.

**[0065]** Fig. 4 zeigt ein Ablaufdiagramm eines beispielhaften Verfahrens **400** zum Betreiben und/oder Überprüfen eines induktiven Ladesystems **200**. Das induktive Ladesystem **200** umfasst eine Primäreinheit **110** und

eine Sekundäreinheit **120** und das induktive Ladesystem **200** ist eingerichtet, elektrische Energie über ein magnetisches Wechselfeld **230** mit einer Wechselfeld-Frequenz  $f_0$  von der Primäreinheit **110** an die Sekundäreinheit **120** zu übertragen, insbesondere um einen an der Sekundäreinheit **120** angeschlossenen Energiespeicher **103** zu laden.

**[0066]** Das Verfahren **400** umfasst das Erfassen **401**, an einer Messstelle des induktiven Ladesystems **200**, eines Stromsignals bezüglich eines Stroms **304** an der Messstelle und eines Spannungssignals bezüglich einer Spannung **303** an der Messstelle. Die Messstelle kann den Kontaktpunkten der Primärspule **111** oder der Sekundärspule **121** entsprechen. Das Stromsignal kann mittels eines Strommessmoduls **302** und das Spannungssignal mittels eines Spannungsmessmoduls **301** erfasst werden. Das Stromsignal und/oder das Spannungssignal können kontinuierliche (analoge) und/oder abgetastete (digitale) Signale (mit einer Vielzahl von Messwerten) sein. Das Verfahren **400** kann durch analoge und/oder digitale Hardware implementiert werden.

**[0067]** Außerdem umfasst das Verfahren **400** das Ermitteln **402** eines Realteilwertes und eines Imaginärteilwertes einer Grundwelle des Stromsignals mit der Wechselfeld-Frequenz sowie eines Realteilwertes und eines Imaginärteilwertes einer Grundwelle des Spannungssignals mit der Wechselfeld-Frequenz. Zur Ermittlung eines Realteilwertes kann das jeweilige Signal mit einer Kosinusfunktion multipliziert werden. Andererseits kann zur Ermittlung eines Imaginärteilwertes das jeweilige Signal mit einer Sinusfunktion multipliziert werden. Der Realteilwert kann einem Realteil und der Imaginärteilwert einem Imaginärteil eines komplexen Signals und/oder eines Signals mit Amplitude und Phase entsprechen.

**[0068]** Des Weiteren umfasst das Verfahren **400** das Ermitteln **403**, auf Basis der Realteilwerte und der Imaginärteilwerte der Grundwelle des Stromsignals und der Grundwelle des Spannungssignals, eines Impedanzwertes einer Impedanz **310**, **320** des induktiven Ladesystems **200** an der Messstelle. Der Impedanzwert ergibt sich dabei typischerweise aus dem Quotienten des Realteilwerts und des Imaginärteilwerts des Spannungssignals und dem Realteilwert und dem Imaginärteilwert des Stromsignals.

**[0069]** Das induktive Ladesystem **200** kann dann auf Basis des Impedanzwertes betrieben und/oder überprüft **404** werden.

**[0070]** Zur Überprüfung der Konformität bzw. der Interoperabilität einer Sekundäreinheit **120** und/oder einer Primäreinheit **110** kann der Impedanzwert zumindest einer Impedanz **310**, **320** des resultierenden induktiven Ladesystems **200** ermittelt werden. Dabei können Impedanzwerte für unterschiedliche Betriebsparameter des induktiven Ladesystems **200** ermittelt werden. Beispielhafte Betriebsparameter sind die Versatzposition zwischen Primärspule **111** und Sekundärspule **121**, die Wechselfeld-Frequenz  $f_0$ , die zu übertragende Ladeleistung, der Ladezustand und/oder die Betriebsspannung des Energiespeichers **103**, etc. Die ein oder mehreren Betriebsparameter können dabei in einem bestimmten Wertebereich variiert werden. Es ergibt sich dann ein Impedanz-Wertebereich, der mit einem Referenz-Wertebereich für ein interoperables induktives Ladesystem **200** verglichen werden kann, um zu bestimmen, ob eine Primäreinheit **110** und/oder eine Sekundäreinheit **120** interoperabel sind. In analoger Weise können auch Fehler einer Primäreinheit **110** und/oder einer Sekundäreinheit **120** erkannt werden.

**[0071]** Während des Betriebs eines induktiven Ladesystems **200** kann ein zeitlicher Verlauf des Impedanzwertes einer Impedanz **310**, **320** erfasst werden. Beispielsweise können mit einer bestimmten Abtastfrequenz, etwa 1Hz, 10Hz oder mehr, Impedanzwerte ermittelt werden. Eine zeitliche Veränderung des Impedanzwertes kann dazu genutzt werden, Änderungen des induktiven Ladesystems **200** zu detektieren.

**[0072]** Beispielsweise kann erkannt werden, dass sich der Versatz (in x-, y- und/oder z-Richtung) zwischen der Primärspule **111** und der Sekundärspule **121** ändert (z.B. aufgrund einer Bewegung des Fahrzeugs **100**). Dies kann insbesondere auf Basis der Impedanzwerte der Primärimpedanz **310** erkannt werden.

**[0073]** Alternativ oder ergänzend kann (insbesondere auf Basis der Impedanzwerte der Primärimpedanz **310**) erkannt werden, dass sich Übertragungseigenschaften des Luftspalts zwischen der Primärspule **111** und der Sekundärspule **121** ändern. So können z.B. Objekte und/oder Personen im Luftspalt detektiert werden (und es kann ggf. eine automatische Deaktivierung eines Ladevorgangs erfolgen).

**[0074]** Alternativ oder ergänzend kann (insbesondere auf Basis der Impedanzwerte der Primärimpedanz **310** und/oder der Sekundärimpedanz **320**) eine Fehlerbestimmung innerhalb des induktiven Ladesystems **200** erfolgen (z.B. Erkennung von Kurzschlüssen und/oder thermischen Änderungen). Alternativ oder ergänzend

können der Ladezustand des Energiespeichers **103** und/oder der Arbeitspunkt bzw. die Effizienz des induktiven Ladesystems **200** bestimmt werden.

**[0075]** Durch die gemeinsame Betrachtung der Impedanzwerte für die Primärimpedanz **310** und für die Sekundärimpedanz **320** kann eine genaue Positionierung der Sekundärspule **121** zu der Primärspule **111** erfolgen. Alternativ oder ergänzend kann ein präzises Frequenz tuning erfolgen.

**[0076]** Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die gezeigten Ausführungsbeispiele beschränkt. Insbesondere ist zu beachten, dass die Beschreibung und die Figuren nur das Prinzip der vorgeschlagenen Verfahren, Vorrichtungen und Systeme veranschaulichen sollen.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung (216, 226) für ein induktives Ladesystem (200); wobei das induktive Ladesystem (200) eine Primäreinheit (110) und eine Sekundäreinheit (120) umfasst; wobei das induktive Ladesystem (200) eingerichtet ist, elektrische Energie über ein magnetisches Wechselfeld (230) mit einer Wechselfeld-Frequenz von der Primäreinheit (110) an die Sekundäreinheit (120) zu übertragen; wobei die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist,

- an einer Messstelle des induktiven Ladesystems (200) ein Stromsignal bezüglich eines Stroms (304) an der Messstelle und ein Spannungssignal bezüglich einer Spannung (303) an der Messstelle zu erfassen;
- einen Realteilwert und einen Imaginärteilwert einer Grundwelle des Stromsignals mit der Wechselfeld-Frequenz sowie einen Realteilwert und einen Imaginärteilwert einer Grundwelle des Spannungssignals mit der Wechselfeld-Frequenz zu ermitteln;
- auf Basis der Realteilwerte und der Imaginärteilwerte der Grundwelle des Stromsignals und der Grundwelle des Spannungssignals einen Impedanzwert einer Impedanz (310, 320) des induktiven Ladesystems (200) an der Messstelle zu ermitteln; und
- das induktive Ladesystem (200) auf Basis des Impedanzwerts zu betreiben und/oder zu überprüfen.

2. Vorrichtung (216, 226) gemäß Anspruch 1, wobei die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist,

- den Realteilwert und den Imaginärteilwert der Grundwelle des Stromsignals auf Basis von Messwerten und/oder auf Basis eines zeitlichen Verlaufs des Stromsignals für zumindest eine Periode des Stromsignals zu ermitteln; und/oder
- den Realteilwert und den Imaginärteilwert der Grundwelle des Spannungssignals auf Basis von Messwerten und/oder auf Basis eines zeitlichen Verlaufs des Spannungssignals für zumindest eine Periode des Spannungssignals zu ermitteln.

3. Vorrichtung (216, 226) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

- ein Messsignal dem Stromsignal oder dem Spannungssignal entspricht;
- das Messsignal eine Sequenz von Messwerten für eine entsprechende Sequenz von Zeitpunkten einer Periode des Messsignals umfasst;
- die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist, einen Messwert für einen ersten Zeitpunkt mit einem Kosinus-Wert einer Kosinusfunktion an dem ersten Zeitpunkt zu multiplizieren, um den Realteilwert der Grundwelle des Messsignals zu ermitteln;
- die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist, den Messwert für den ersten Zeitpunkt mit einem Sinus-Wert einer Sinusfunktion an dem ersten Zeitpunkt zu multiplizieren, um den Imaginärteilwert der Grundwelle des Messsignals zu ermitteln; und
- die Kosinusfunktion und die Sinusfunktion eine der Wechselfeld-Frequenz entsprechende Kreisfrequenz aufweisen.

4. Vorrichtung (216, 226) gemäß Anspruch 3, wobei die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist,

- die mit Kosinus-Werten für die Sequenz von Zeitpunkten multiplizierten Messwerte der Sequenz von Messwerten zu kumulieren, um den Realteilwert der Grundwelle des Messsignals zu ermitteln; und/oder
- die mit Sinus-Werten für die Sequenz von Zeitpunkten multiplizierten Messwerte der Sequenz von Messwerten zu kumulieren, um den Imaginärteilwert der Grundwelle des Messsignals zu ermitteln.

5. Vorrichtung (216, 226) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

- ein Messsignal  $g(t)$  dem Stromsignal oder dem Spannungssignal entspricht;
- die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist, den Realteilwert der Grundwelle des Messsignals auf Basis der Formel  $\int_0^{T_0} g(t) \cos(\omega_0 t) dt$  oder einer zeitdiskreten und/oder approximierten Version davon zu ermitteln;

- die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist, den Imaginärteilwert der Grundwelle des Messsignals auf Basis der Formel  $\int_0^{T_0} g(t) \sin(\omega_0 t) dt$  oder einer zeitdiskreten und/oder approximierten Version davon zu ermitteln;
- $f_0$  die Wechselfeld-Frequenz ist;
- $\omega_0 = 2\pi f_0$  eine der Wechselfeld-Frequenz entsprechende Kreisfrequenz ist; und
- $T_0 = 1/f_0$  eine Periode des Messsignals ist.

6. Vorrichtung (216, 226) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
- $\text{Re}\{U\}$  der Realteilwert der Grundwelle des Spannungssignals ist;
  - $\text{Re}\{I\}$  der Realteilwert der Grundwelle des Stromsignals ist;
  - $\text{Im}\{U\}$  der Imaginärteilwert der Grundwelle des Spannungssignals ist;
  - $\text{Im}\{I\}$  der Imaginärteilwert der Grundwelle des Stromsignals ist;
  - die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist, einen Betrag  $|Z|$  des Impedanzwertes auf Basis der Formel

$$|Z| = \sqrt{\frac{\text{Re}\{U\}^2 + \text{Im}\{U\}^2}{\text{Re}\{I\}^2 + \text{Im}\{I\}^2}}$$

- oder einer Approximation davon zu ermitteln;
- die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist, eine Phase  $\varphi$  des Impedanzwertes auf Basis der Formel

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\text{Im}\{U\}}{\text{Re}\{U\}}\right) - \arctan\left(\frac{\text{Im}\{I\}}{\text{Re}\{I\}}\right)$$

- oder einer Approximation davon zu ermitteln.

7. Vorrichtung (216, 226) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist,
- das Stromsignal und das Spannungssignal für eine Messperiode während eines Ladevorgangs des induktiven Ladesystems (200) zu erfassen; und/oder
  - den Impedanzwert während eines Ladevorgangs des induktiven Ladesystems (200) zu ermitteln.

8. Vorrichtung (216, 226) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist,
- eine zeitliche Sequenz von Impedanzwerten für eine zeitliche Sequenz von Messperioden zu ermitteln; und
  - das induktive Ladesystem (200) auf Basis der zeitlichen Sequenz von Impedanzwerten zu betreiben und/oder zu überprüfen.

9. Vorrichtung (216, 226) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
- die Primäreinheit (110) eine Primärspule (111) umfasst und die Sekundäreinheit (120) eine Sekundärspule (121) umfasst;
  - die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist, einen Impedanzwert für eine Primärimpedanz (310) des induktiven Ladesystems (200) ausgehend von einer Messstelle an einem Eingang der Primärspule (111) bis zu einem von dem induktiven Ladesystem (200) zu ladenden Energiespeicher (103) zu ermitteln; und/oder
  - die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist, einen Impedanzwert für eine Sekundärimpedanz (320) des induktiven Ladesystems (200) ausgehend von einer Messstelle an einem Ausgang der Sekundärspule (121) bis zu dem von dem induktiven Ladesystem (200) zu ladenden Energiespeicher (103) zu ermitteln.

10. Vorrichtung (216, 226) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist,
- den Impedanzwert mit einem Referenz-Impedanzwert zu vergleichen; und
  - das induktive Ladesystem (200) in Abhängigkeit von dem Vergleich zu betreiben und/oder auf Basis des Vergleichs zu überprüfen.

11. Vorrichtung (216, 226) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung (216, 226) eingerichtet ist,

- eine Mehrzahl von Impedanzwerten für eine entsprechende Mehrzahl von unterschiedlichen Betriebszuständen des induktiven Ladesystems (200) zu ermitteln;
- die unterschiedlichen Betriebszustände zumindest teilweise unterschiedliche Parameterwerte von eine oder mehreren Betriebsparametern aufweisen; wobei die ein oder mehreren Betriebsparameter umfassen: die Wechselfeld-Frequenz, einen räumlichen Versatz zwischen einer Primärspule (111) der Primäreinheit (110) und einer Sekundärspule (121) der Sekundäreinheit (120), einen Ladezustand und/oder eine Betriebsspannung eines Energiespeichers (103), der von dem induktiven Ladesystem (200) geladen wird; und/oder eine Eigenschaft eines Spalts zwischen der Primärspule (111) und der Sekundärspule (120); und
- das induktive Ladesystem (200) auf Basis der Mehrzahl von Impedanzwerten zu betreiben und/oder zu überprüfen.

12. Verfahren (400) zum Betreiben und/oder Überprüfen eines induktiven Ladesystems (200); wobei das induktive Ladesystem (200) eine Primäreinheit (110) und eine Sekundäreinheit (120) umfasst; wobei das induktive Ladesystem (200) eingerichtet ist, elektrische Energie über ein magnetisches Wechselfeld (230) mit einer Wechselfeld-Frequenz von der Primäreinheit (110) an die Sekundäreinheit (120) zu übertragen; wobei das Verfahren (400) umfasst,

- Erfassen (401) an einer Messstelle des induktiven Ladesystems (200) eines Stromsignals bezüglich eines Stroms (304) an der Messstelle und eines Spannungssignals bezüglich einer Spannung (303) an der Messstelle;
- Ermitteln (402) eines Realteilwertes und eines Imaginärteilwertes einer Grundwelle des Stromsignals mit der Wechselfeld-Frequenz sowie eines Realteilwertes und eines Imaginärteilwertes einer Grundwelle des Spannungssignals mit der Wechselfeld-Frequenz;
- Ermitteln (403), auf Basis der Realteilwerte und der Imaginärteilwerte der Grundwelle des Stromsignals und der Grundwelle des Spannungssignals, eines Impedanzwertes einer Impedanz (310, 320) des induktiven Ladesystems (200) an der Messstelle; und
- Betreiben und/oder Überprüfen (404) des induktiven Ladesystems (200) auf Basis des Impedanzwertes.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

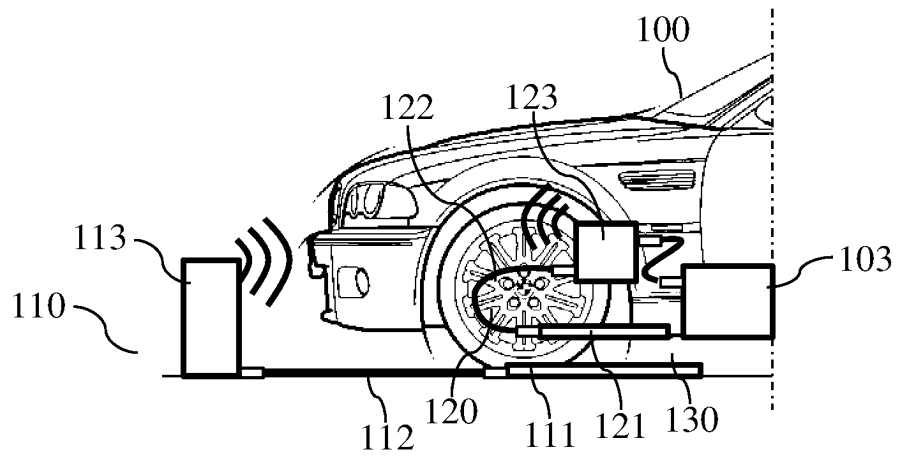


Fig. 1

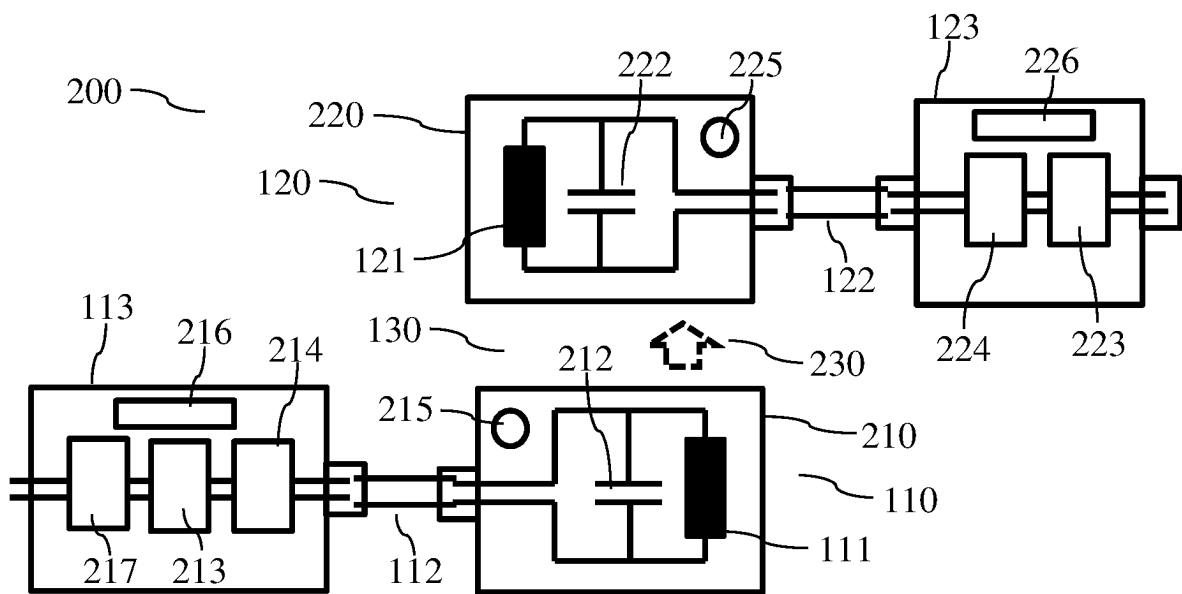


Fig. 2a

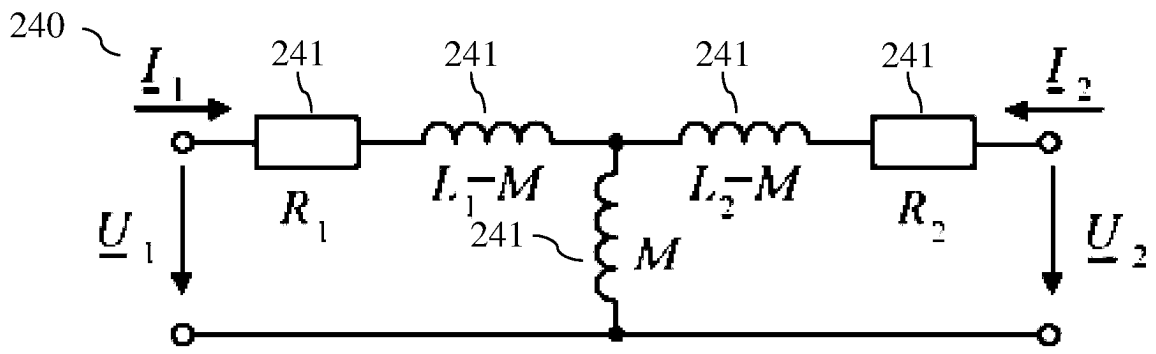


Fig. 2b

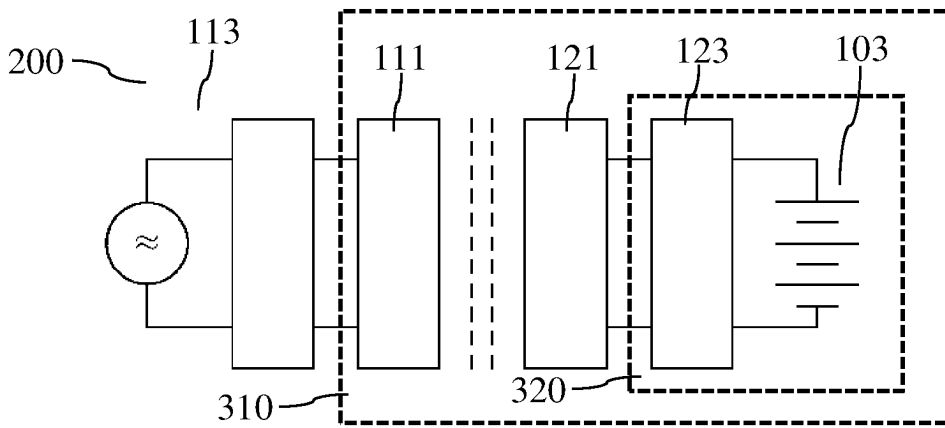


Fig. 3a

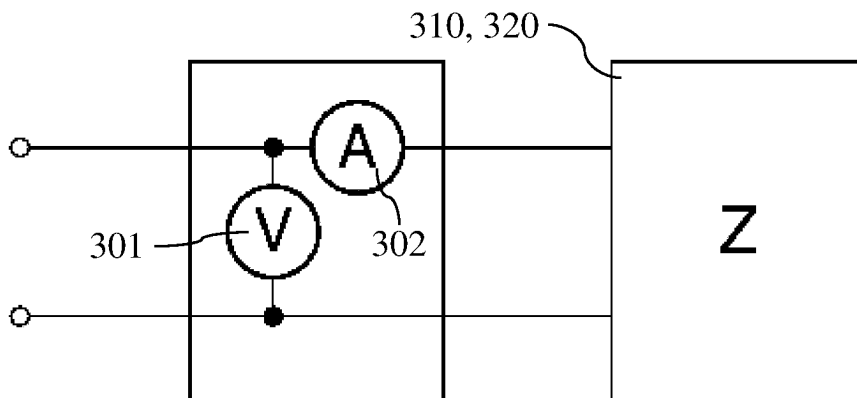
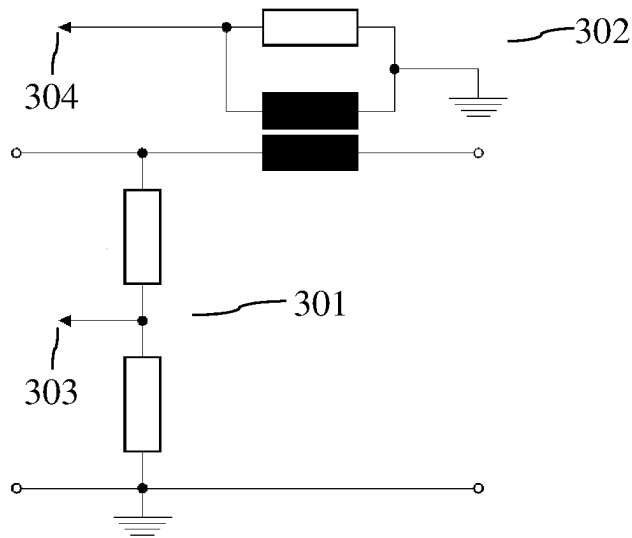
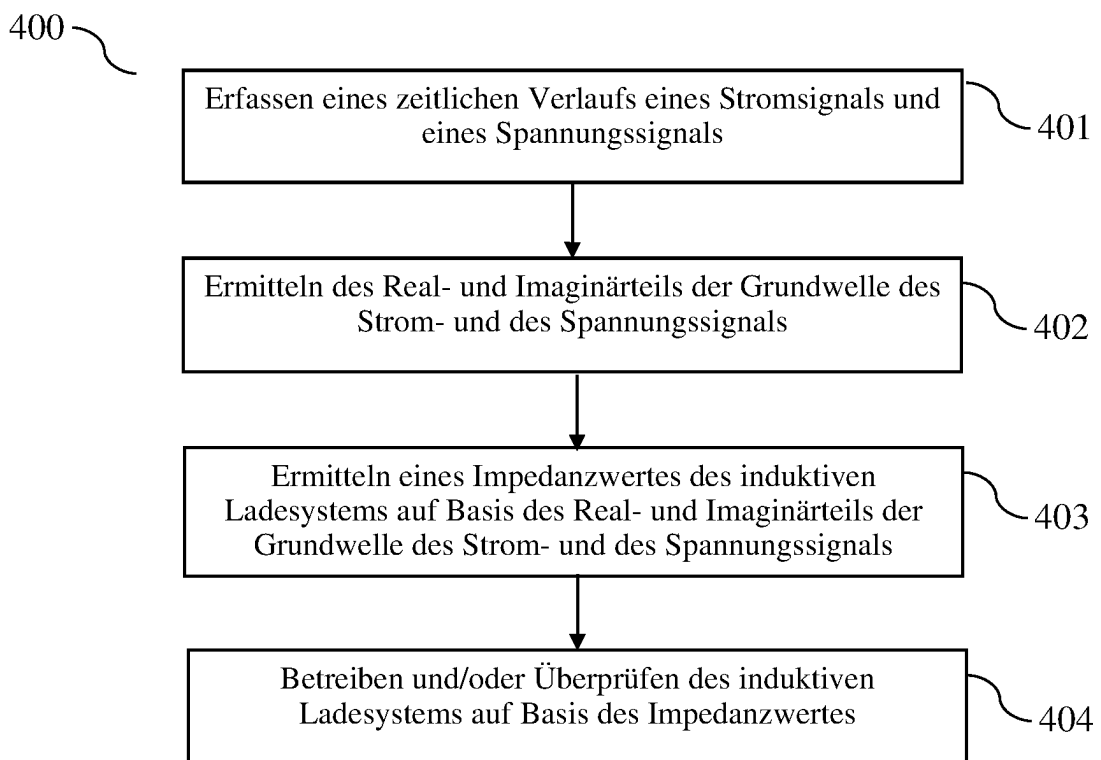


Fig. 3b





**Fig. 3c**



**Fig. 4**