

(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
02. Januar 2020 (02.01.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/002223 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: *G01R 21/00* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/066655
- (22) Internationales Anmeldedatum: 24. Juni 2019 (24.06.2019)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2018 115 887.4
29. Juni 2018 (29.06.2018) DE
- (71) Anmelder: **BRUSA ELEKTRONIK AG** [CH/CH]; Neudorf 14, 9466 Sennwald (CH).
- (72) Erfinder: **BÖHLER, Lukas**; Rietbrüelweg 2, 7323 Wangs (CH). **BOSCH, Marc**; Widenstrasse 7, 9466 Sennwald (CH).
- (74) Anwalt: **RÖSLER, Frank**; Rösler Rasch van der Heide & Partner Bodenseestr. 18, 81241 München (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, 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.

(54) Title: PRIMARY MEASURING DEVICE FOR MEASURING A CURRENT EFFECTIVE POWER

(54) Bezeichnung: PRIMÄRMESSVORRICHTUNG ZUM MESSEN EINER AKTUELLEN WIRKLEISTUNG

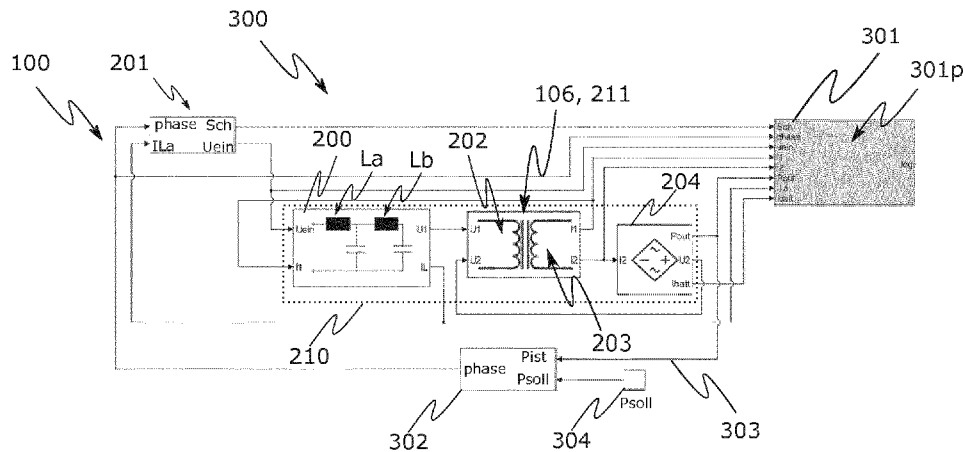


Fig. 3

(57) Abstract: A primary measuring device (301p) for measuring a current effective power (P, P1) in a primary circuit(202) of an energy transmission system (100) is described, having an evaluation device (1101) and a calibration device(1102), wherein the evaluation device (1101) has a measuring connection for measuring a current (I_{mess}), a voltage (U_{mess}) and a measured phase shift (ϕ_{mess}) between the current (I_{mess}) and the voltage (U_{mess}) in the primary circuit (202), wherein the evaluation device (1101) and the calibration device (1102) are connected to one another, wherein the evaluation device (1101) is also configured to carry out a power measurement by evaluating the measured current (I_{mess})and the measured voltage (U_{mess}), wherein the calibration device (1102) is configured to correct the measured current (I_{mess}) and/or the measured voltage (U_{mess}) by means of the $\cos()$ value of the measured phase shift (ϕ_{mess}) between the measured current (I_{mess}) and the measured voltage (U_{mess})

WO 2020/002223 A1

(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)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

and/or by means of a holding time (T_{cal}), wherein the evaluation device (1101) is configured to calculate a power value with the corrected value (I_{korrr}) of the measured current and/or the corrected value (U_{korrr}) of the measured voltage, and wherein the calibration device (1102) is configured to make available the calculated power value as a current effective power (P_{korrr}).

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird eine Primärmessvorrichtung (301p) zum Messen einer aktuellen Wirkleistung (P , P_1) in einem Primärkreis (202) eines Energieübertragungssystems (100), aufweisend eine Auswerteeinrichtung (1101), eine Kalibriereinrichtung (1102), wobei die Auswerteeinrichtung (1101) einen Messanschluss zum Erfassen eines Stroms (I_{mess}), einer Spannung (U_{mess}) und einer gemessenen Phasenverschiebung (ϕ_{mess}) zwischen Strom (I_{mess}) und Spannung (U_{mess}) in dem Primärkreis (202) aufweist, wobei die Auswerteeinrichtung (1101) und die Kalibriereinrichtung (1102) miteinander verbunden sind, wobei die Auswerteeinrichtung (1101) weiter zum Durchführen einer Leistungsmessung durch Auswerten des erfassten Stromes (I_{mess}) und der erfassten Spannung (U_{mess}) eingerichtet ist, wobei die Kalibriereinrichtung (1102) zum Korrigieren des erfassten Stroms (I_{mess}) und/oder der erfassten Spannung (U_{mess}) über den $\cos(\phi)$ -Wert der erfassten Phasenverschiebung (ϕ_{mess}) zwischen erfasstem Strom (I_{mess}) und erfasster Spannung (U_{mess}) und/oder über eine Haltezeit (T_{cal}) eingerichtet ist, wobei die Auswerteeinrichtung (1101) zum Berechnen eines Leistungswertes mit dem korrigierten Wert (I_{korrr}) des erfassten Stroms und/oder dem korrigierten Wert (U_{korrr}) der erfassten Spannung eingerichtet ist und wobei die Kalibriereinrichtung (1102) zum Bereitstellen des berechneten Leistungswertes als aktuelle Wirkleistung (P_{korrr}) eingerichtet ist.

Primärmessvorrichtung zum Messen einer aktuellen Wirkleistung

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft das technische Gebiet des induktiven Ladens. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Primärmessvorrichtung und ein Verfahren zum Kalibrieren eines Messwerts.

Hintergrund der Erfindung

Zum elektrischen Laden eines reinen Elektrofahrzeugs (EV, Electric Vehicle) oder eines Hybridfahrzeugs (PHEV, Plug-in Hybrid-Electric Vehicle), welches mit einer Kombination aus Treibstoff und elektrischer Energie betrieben wird, kann ein System für die induktive Energieübertragung genutzt werden, wenn das Laden kontaktlos erfolgen soll. In einem solchen System wird ein magnetisches Wechselfeld im Frequenzbereich von 25...150kHz erzeugt. Dabei muss beachtet werden, dass außerhalb dieses Frequenzbandes die Grenzwerte für die Emission elektromagnetischer Wellen durch international gültige Normen festgelegt sind. Denn obwohl prinzipiell ein Magnetfeld zur Energieübertragung genutzt wird, handelt es sich jedoch aufgrund der Tatsache, dass sich das Magnetfeld ändert inhärent um eine elektromagnetische Welle. Wegen der langsamen Veränderungen der Feldstärken weist die beim induktiven Laden genutzte elektromagnetische Welle allerdings eine Wellenlänge von mehreren Kilometern auf.

Um diese Grenzwerte für die Emission einzuhalten ist darauf zu achten, dass das zur Energieübertragung genutzte magnetische Wechselfeld mit einer Grundschwingung im Bereich 25...150kHz arbeitet und nur sehr geringe Oberwellen enthält. Daher kommen Filter zum Einsatz, die störende Oberwellen möglichst entfernen. Außerdem muss, um die international gültigen Normen und Richtlinien einzuhalten, dafür gesorgt werden, dass eine Energieübertragung nur dann erfolgt, wenn eine bestimmte Qualität der Kopplung zueinander erreicht ist, indem eine bestimmte Ausrichtung der Koppellemente zueinander eingestellt wird, beispielsweise durch ein Positionierungssystem wie beispielsweise in der Druckschrift EP 3 103 674 A1 beschrieben ist.

Die Druckschrift EP 2 868 516 A1 beschreibt ein Verfahren zur Regelung der zwischen zwei Resonatoren eines Systems zur kontaktlosen Energieübertragung übertragenen Energie, sowie Resonanzanordnung.

Als Koppellement für die Energieübertragung wird auf der stationären Seite ein GPM (Ground Pad Module) mit einer Primärspule und fahrzeugseitig ein CPM (Car Pad Module) mit einer Sekundärspule genutzt. GPM und CPM bilden für die Koppelung und Energieübertragung einen Transformator. Die physikalische Ausrichtung der Koppellemente zueinander wird über ein Positioniersignal z.B. RKS (Remote Keyless Entry System) gemessen und eingestellt. Für die Energieübertragung und die Übertragung des Positionierungssignals kommen unterschiedliche Übertragungsstrecken und unterschiedliche Übertragungstechniken zum Einsatz.

Es mag als eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung angesehen werden, eine effektive Übertragung von Energie zu ermöglichen.

Zusammenfassung der Erfindung

Dementsprechend wird eine Primärmessvorrichtung und ein Verfahren zum Kalibrieren eines Messwerts angegeben.

Der Gegenstand der Erfindung wird von den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche angegeben. Ausführungsbeispiele und weitere Aspekte der Erfindung werden von den abhängigen Ansprüchen und der folgenden Beschreibung angegeben.

Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Primärmessvorrichtung zum Messen einer aktuellen Wirkleistung in einem Primärkreis eines Energieübertragungssystems beschrieben, aufweisend eine Auswerteeinrichtung und eine Kalibriereinrichtung, wobei die Auswerteeinrichtung einen Messanschluss zum Erfassen eines Stroms, einer Spannung und einer gemessenen Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in dem Primärkreis aufweist. Die Auswerteeinrichtung und die Kalibriereinrichtung sind miteinander verbunden und die Auswerteeinrichtung ist weiter

zum Durchführen einer Leistungsmessung durch Auswerten des erfassten Stromes und der erfassten Spannung eingerichtet. Die Kalibriereinrichtung ist zum Korrigieren des erfassten Stroms und/oder der erfassten Spannung über den $\cos(\cdot)$ -Wert der erfassten Phasenverschiebung zwischen erfasstem Strom und erfasster Spannung und/oder über eine Haltezeit eingerichtet. Außerdem ist die Auswerteeinrichtung zum Berechnen eines Leistungswertes mit dem korrigierten Wert des erfassten Stroms und/oder dem korrigierten Wert der erfassten Spannung eingerichtet. Die Kalibriereinrichtung ist auch zum Bereitstellen des berechneten Leistungswerts als aktuelle Wirkleistung eingerichtet.

Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Bestimmen eines Kalibrierungsfaktors für eine Messung einer Wirkleistung in einem Primärkreis eines Energieübertragungssystems angegeben. Dieses Verfahren weist das Einstellen eines vorgebbaren Arbeitspunktes durch Einstellen einer vorgebbaren Eingangsspannung und einer vorgebbaren Arbeitsfrequenz, das Erzeugen in diesem Arbeitspunkt eines Leistungsverhältnisses mit einer geringen Wirkleistung und einer hohen Scheinleistung und das Bestimmen des Kalibrierungsfaktors als Phasenverschiebung und/oder als Haltezeit zur bekannten Referenz auf.

Ferner wird gemäß einem Aspekt ein Verfahren zum Kalibrieren eines Messwerts angegeben. Das Verfahren weist das Erfassen eines Stroms, einer Spannung und einer gemessenen Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in einem Primärkreis auf. Außerdem weist das Verfahren das Durchführen einer Leistungsmessung durch Auswerten des erfassten Stromes und der erfassten Spannung, das Korrigieren des erfassten Stroms und/oder der erfassten Spannung über den $\cos(\cdot)$ -Wert der erfassten Phasenverschiebung zwischen erfasstem Strom und erfasster Spannung und/oder über eine Haltezeit auf. Ferner weist das Verfahren das Berechnen eines Leistungswertes mit dem korrigierten Wert des erfassten Stroms und/oder dem korrigierten Wert der erfassten Spannung und das Bereitstellen des berechneten Leistungswerts als aktuelle Wirkleistung auf.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein computerlesbares Speichermedium angegeben, in dem ein Programm gespeichert ist, das, wenn es von einem Prozessor ausgeführt wird, eines der erfinderischen Verfahren ausführt.

Eine Steuereinrichtung oder ein Controller kann solch einen Prozessor nutzen.

Als ein computerlesbares Speichermedium mag eine Floppy Disc, eine Festplatte, ein USB (Universal Serial Bus) Speichergerät, ein RAM (Random Access Memory), ein ROM (Read Only Memory) oder ein EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) genutzt werden. Als Speichermedium kann auch ein ASIC (application-specific integrated circuit) oder ein FPGA (field-programmable gate array) genutzt werden sowie eine SSD (Solid-State-Drive) Technologie oder ein Flash-basiertes Speichermedium. Ebenso kann als Speichermedium ein Web-Server oder eine Cloud genutzt werden. Als ein computerlesbares Speichermedium mag auch ein Kommunikationsnetz angesehen werden, wie zum Beispiel das Internet, welches das Herunterladen eines Programmcodes zulassen mag. Es kann eine funkbasierte Netzwerktechnologie und/oder eine kabelgebundene Netzwerktechnologie genutzt werden.

Ferner wird ein Programm-Element angegeben, das, wenn es von einem Prozessor ausgeführt wird, eines der erfinderischen Verfahren ausführt.

Gemäß noch einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ergibt sich der korrigierte Wert des erfassten Stroms aus dem erfassten Wert des Stroms unter der Berücksichtigung eines Verzögerungswertes, der von der erfassten Phasenverschiebung abgeleitet worden ist.

Gemäß noch einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die Kalibrierung für einen bereitgestellten Sollwert einer Leistungsregelung vorgenommen.

Gemäß noch einem Aspekt der vorliegenden Erfindung weist die Primärmessvorrichtung eine Sample-Hold-Einrichtung auf, wobei die Sample-Hold-Einrichtung zur Berücksichtigung des Verzögerungswertes eingerichtet ist. Beispielsweise ist die Sample-Hold-Einrichtung eingerichtet, eine Laufzeit in der Hardware der Primärmessvorrichtung zu berücksichtigen.

Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Ground Pad Modul mit einer Primärmessvorrichtung angegeben.

Kurze Beschreibung der Figuren

Im Folgenden werden weitere exemplarische Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit Verweis auf die Figuren beschrieben.

Fig. 1 zeigt ein induktives Ladesystem gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild eines induktiven Ladesystems gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dargestellt.

Fig. 3 zeigt das induktive Ladesystem als einen Regelkreis gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 4 zeigt eine vereinfachte Darstellung der Regelstrecke aus Fig. 3 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Die Fig. 5 zeigt ein Diagramm einer frequenzabhängigen Leistung während eines Startvorgangs gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 6 zeigt ein Flussdiagramm für einen induktiven Ladevorgang gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 7 zeigt ein Flussdiagramm für die Ladephase einschließlich des Startups gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 8 zeigt ein Diagramm einer dreidimensionalen Darstellung einer übertragenen Leistung über einer Frequenz und dem Tastverhältnis gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 9 zeigt ein Diagramm einer dreidimensionalen Darstellung des Wirkungsgrades über der Frequenz und dem Tastverhältnis gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 10 zeigt ein linearisiertes Ersatzschaltbild des ICS Systems aus Fig. 2 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 11 zeigt eine Detailansicht der Messvorrichtung mit der Primärmessvorrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 12 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Bestimmen eines Kalibrierungsfaktors für eine Messung einer Wirkleistung in einem Primärkreis eines Energieübertragungssystems gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 13 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Kalibrieren eines Messwerts gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 14 zeigt ein Zeitdiagramm für die Ansteuerung eines Wandlers zur Erzeugung einer PWM am Eingang eines Filters gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Detaillierte Beschreibung von Ausführungsbeispielen

Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch und nicht maßstäblich. In der folgenden Beschreibung der Fig. 1 bis Fig. 14 werden die gleichen Bezugsziffern für gleiche oder sich entsprechende Elemente verwendet.

In diesem Text mögen die Begriffe „Kondensator“ und „Kapazität“ sowie „Spule“ oder „Drossel“ und „Induktivität“ gleichbedeutend verwendet werden und sollen, sofern nichts weiter angegeben ist, nicht einschränkend interpretiert werden.

Fig. 1 zeigt ein induktives Ladesystem 100 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Hierbei ist eine Seitenansicht für ein System zum kontaktlosen Laden eines Elektrofahrzeugs dargestellt. Unterhalb eines Fahrzeugchassis 102 befindet sich ein Car Pad Modul (CPM) 104, welches dazu dient, das Fahrzeug 102 mit Strom zu versorgen. Für die Übertragung der Energie wird ein Magnetfeld genutzt, welches induktiv die Energie von einem an einem Boden 103 fix montierten Ground Pad Modul (GPM) 105 bereitgestellt wird. Die für das Laden notwendige Energie wird dem Hauptanschluss 107 entnommen, der sowohl Wechselstrom (AC) als auch Gleichstrom (DC) sein kann. Zur Kommunikation zwischen CPM 104 und GPM 105 wird eine separate Verbindung 101 genutzt, welche beispielsweise ein Funkprotokoll wie WLAN (Wireless LAN) oder NFC nutzen kann. Diese Verbindung kann als Feedback-Kanal 101 genutzt werden oder als Kommunikationskanal 101, über den CPM 104 und GPM 105 Informationen austauschen kann. Sowohl das Magnetfeld zur Energieübertragung 106 als auch das Funksignal 101 sind elektromagnetische Wellen, die jedoch unterschiedliche Frequenzen aufweisen.

In Fig. 2 ist ein Blockschaltbild eines induktiven Ladesystems 100 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dargestellt. Betrachtet wird ein System für die induktive Energieübertragung zum kontaktlosen Laden eines Elektrofahrzeugs. In einem solchen System wird ein magnetisches Wechselfeld 106 im Frequenzbereich von beispielsweise 25...150kHz erzeugt. Dabei muss beachtet werden, dass außerhalb dieses Frequenzbandes die Grenzwerte für die Emission elektromagnetischer Wellen durch international gültige Normen festgelegt sind. Um diese Grenzwerte einzuhalten ist es entscheidend, dass das magnetische Wechselfeld 106 mit der Grundschiwingung im Bereich 25...150kHz arbeitet und nur sehr geringe Oberwellen enthält.

Andererseits soll aber der Wirkungsgrad der Leistungsübertragung möglichst hoch sein und deshalb wird mit elektronischen Schaltern innerhalb eines Wechselrichters 201,

beispielsweise mittels MOSFETs, IGBTs, ein Rechtecksignal mit der Grundfrequenz des magnetischen Wechselfeldes erzeugt, denn so ergeben sich sehr geringe Verluste. Das Rechtecksignal enthält aber beträchtliche Oberwellen. Diese Oberwellen lassen sich sehr gut mit einem Filter 200, beispielsweise einem LC-Filter 200 ausfiltern. Das Filter 200 kann dabei unterschiedlich ausgeführt sein. Beispielhaft ist in Fig. 2 ein Filter 4. Ordnung 200 dargestellt, aber es sind auch andere Anordnungen von Kondensatoren und Spulen möglich. An dem Eingang 206 des Filters 200 liegen der Eingangsstrom I_{in} und die Eingangsspannung U_{ein} oder U_{in} an. Das Filter 200 weist zwei in Serie geschaltete Eingangsspulen $La1$ und $La2$ und den Filter-Eingangskondensator Ca sowie die in Serie geschalteten Ausgangsspulen $Lb1$ und $Lb2$ und den Filter-Ausgangskondensator Cb auf. Statt der zwei in Serie geschalteten Eingangsspulen $La1$ und $La2$ kann auch eine einzige Eingangsspule La genutzt werden. Statt der zwei parallel geschaltete Eingangsspulen $Lb1$ und $Lb2$ kann auch eine einzige Eingangsspule Lb genutzt werden.

Zwei (zweipolige) Bauteile sind in Serie geschaltet, wenn sie nur einen Anschluss gemeinsam haben und sie sind parallelgeschaltet, wenn sie an beiden Anschlüssen miteinander verbunden sind.

Die Eingangsspulen $La1$ und $La2$ sind direkt mit dem Ausgang des Wechselrichters 201 verbunden. Hierbei mag direkt bedeuten, dass kein weiteres Bauelement dazwischengeschaltet ist. Ein in Serie geschalteter Kondensator soll dabei eine direkte Verbindung nicht zu einer indirekten Verbindung machen. Die Ausgangsspulen $Lb1$ und $Lb2$ am Ausgang 207 des Filters 200 sind direkt mit den Spulen $La1$ und $La2$, sowie dem Primärresonanzkreis 202 verbunden. Der Primärresonanzkreis 202 wird mit der Spannung $U1$ und dem Strom $I1$ oder IL versorgt, der aus der von dem Wechselrichter 201 erzeugten Wechselstrom hervorgegangen ist. Aufgrund der Filterwirkung des Filters 200 weisen der Primärstrom $I1$ und die Primärspannung $U1$ einen sinusförmigen Verlauf auf.

Der Primärresonanzkreis 202 weist die Primär-Resonanzspule $L1$ und den Primär-Resonanzkondensator $C1$ auf. Der Primärresonanzkreis 202 wandelt den Strom $I1$ und die Spannung $U1$ in das magnetische Wechselfeld 106. Das magnetische Wechselfeld 106 koppelt mit einem Koppelfaktor k in den Sekundärresonanzkreis 203 und überträgt

die Energie aus dem Primärkreis durch eine resonante und induktive Energieübertragung an den Sekundärkreis 203.

Der Sekundärresonanzkreis 203 weist die sekundär-Resonanzspule L2 und den Sekundärresonanzkondensator C2 auf. Da der Sekundärresonanzkreis 203 auf die Resonanzfrequenz des Primärresonanzkreises 202 eingestellt ist, wird der Sekundärresonanzkreis 203 durch das Magnetfeld 106 so weit zu einer Schwingung angeregt, dass sich der Sekundärstrom I2 und die Sekundärspannung U2 ergeben. Diese werden dem Gleichrichter 204 zugeführt, der einer Last 205, beispielsweise einer Batterie 205, einem Zwischenkreis 205, einem Traktionskreis 205 oder einer HV-DC 205 auf der Seite des CPM 104 eine Gleichspannung zur Verfügung stellen kann.

Versorgt wird das induktive Ladesystem 100 über eine Gleichspannungsquelle 107 oder HV-DC (High Voltage-Direct Current) bzw. über eine Wechselspannung 107.

Fig. 3 zeigt das induktive Ladesystem 100 als einen Regelkreis gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Mit diesem Regelkreis ist ein sicherer Start eines drahtlosen Leistungsübertragungssystems (WPT, wireless power transfer) möglich. Dieser Regelkreis erlaubt es die Ladeleistung des induktives Ladesystems 100 zu regeln, sowohl beim induktiven Laden als auch beim Start-up, Einschalten oder in der Aufstartphase.

Fig. 4 zeigt eine vereinfachte Darstellung der Regelstrecke 210 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Die Regelung eines ICS Systems 100 kann dazu beitragen, die funktionale Sicherheit in einem ICS-System sicherzustellen. Aufgrund der starken Magnetfelder 106, die zur Leistungsübertragung genutzt werden mag es Vorschriften geben, um die Umgebung von einer zu starken magnetischen Strahlung zu schützen. Diese Vorschriften können beispielsweise vorsehen, dass ein Feld 106, das von einem GPM 105 erzeugt wird, ohne dass ein CPM 104 vorhanden ist oder, dass, wenn ein CPM 104 ungünstig mit dem GPM

gekoppelt ist, spätestens nach 2s das Feld 106 abgeschaltet wird. Es ist also sicherzustellen, dass innerhalb eines Zeitfensters von 2s festgestellt werden kann, dass das GPM 105 und das CPM 104 vorschriftsmäßig über das Feld 106 gekoppelt sind. Ansonsten ist das Feld 106 abzuschalten. Ähnliches gilt für den Kommunikationskanal. Kann über den Kommunikationskanal 101 für 2s kein Signal empfangen werden, wird das System 100 abgeschaltet, da angenommen wird, dass die Übertragung nicht funktioniert.

Ein WLAN 101, das für die Kommunikation zwischen GPM 105 und CPM 104 genutzt wird, kann eine Zykluszeit bis zu 300ms haben. Um ein schnelles Reagieren innerhalb der vorgegebenen Zeit zu ermöglichen mag es wünschenswert sein, im Wesentlichen ohne die Rückmeldung über die Feedbackstrecke 101 auszukommen und daher ein System einzusetzen, welches im Wesentlichen Parameter nutzt, welche alleine auf dem GPM 105 vorhanden sind und daher im Wesentlichen keine Rückmeldung von dem CPM 104 benötigen. Gemäß Regelkreis 300 mag vorgesehen sein, auf dem GPM 105 die P1 Leistung zu messen und diese zu regeln. Beim Start Up oder Einschalten des GPM 105 wird ein Arbeitspunkt gesucht, an dem sich an P1 eine Leistung von 500W einstellt. Danach wird die Reaktion des CPM 104 auf diese Leistung P1 abgewartet, welche auf dem CPM 104 gemessen wird und über den Feedbackkanal 101 an das GPM 105 zurückgemeldet wird. Erst wenn diese zurückgemeldete Leistung einen vorgebbaren Schwellwert überschreitet, wird das GPM 105 weiter hochgefahren, um die funktionale Sicherheit beim induktiven Laden weiter einzuhalten. Durch das Übersteigen des Schwellwertes ist feststellbar, dass ein Arbeitspunkt gefunden ist, mit dem ein im Wesentlicher gefahrloser Betrieb des Ladesystems 100 möglich ist.

So kann auch festgestellt werden, dass das System innerhalb von Normen vorgegebenen Bereichen betrieben wird. Aus normativen Gründen mag es zu vermeiden sein, ein magnetisches und insbesondere ein elektromagnetisches Feld mit einer hohen Energie „unabgeschirmt“ länger als eine vorgegebene Zeit unkontrolliert zu betreiben. Solch ein unkontrollierter Zustand kann vorkommen, wenn z.B. ein zu ladendes Fahrzeug wegrollt und dadurch das CPM 104 im Wesentlichen keine Leistung von dem GPM 105 aufnimmt.

Um die Leistung beim Ladevorgang kontrolliert aufzufahren oder bis zur gewünschten Leistung zu steigern, kann ein Kommunikationskanal 101 genutzt werden, um

Rückmeldungen über die empfangene Leistung von dem CPM 104 zu erhalten. Da der Kommunikationskanal 101 jedoch fehlerhaft sein kann und durch die Fehleranfälligkeit ein Ladevorgang abgebrochen werden kann, sieht das System 100 vor, kommunikationslos die Anwesenheit eines Leistungsabnehmers 104 oder des CPM 104 alleine mithilfe des GPM 104 festzustellen oder zu detektieren und alleine mit dem GPM 105 die Leistung kommunikationslos während des Ladevorgangs konstant zu halten, so dass gilt, dass die Leistung P_1 im Primärresonanzkreis 202 konstant ist. Wenn die Leistung im Primärresonanzkreis 202 konstant ist gilt auch, dass die Ausgangsleistung P_{out} am Ausgang des Gleichrichters 204 und/oder am Ausgang 220 des Energieübertragungssystems 100 konstant ist.

Sämtliche Ausgangsgrößen des ICS Systems 100 werden in der Messvorrichtung 301 erfasst. Bei den Ausgangsgrößen handelt es sich um die Phase ϕ , die Eingangsspannung $U_{e,in}$ oder U_{in} des Filters 200, den Eingangsstrom I_1 Eingangskreises 202, den Ausgangsstrom I_2 des Sekundärkreises 203 die Ausgangsleistung P_{out} des Gleichrichters 204 und/oder des Ausgangs 220 des Energieübertragungssystems 100, den Strom I_{La} durch die Eingangsspule L_a des Filters 200 und den Strom I_{batt} durch die Last 205 in dem Zwischenkreis.

Die Stelleinrichtung 201 speichert für die Steuereinheit die Information der Stellspannung. So ist beispielsweise in Fig 3. der Ausgang Sch vorgesehen, der die positive Flanke der gesteuerten bipolaren Spannung oder PWM am Inverter 201 vorgibt und die X-Phase der PWM steuert, d.h die Schalterpaare A, C des Inverters 201 für den Übergang von Low nach High angibt. Das Schaltverhalten, insbesondere der Schaltpunkt Sch wird vorgegeben, indem das Schaltzeitsignal T_{schalt} und das Zeitsignal des Strom-Nulldurchgangs $T_{StromNullDurchgang}$ einer Nulldurchgangsmessung des Stromes I_a oder I_{La} durch die Spule L_a ausgewertet wird, um das Schaltverhalten auszuwerten und festzustellen, ob es induktiv oder kapazitiv ist.

Die Regeleinrichtung 302 ist als Phasenregler eingerichtet und nutzt einen Suchalgorithmus, welcher in einem Frequenz-Duty Raum die multidimensionalen Begrenzungen umgeht oder ausschließt und einen Arbeitspunkt anhand P_1 Leistung sucht.

Auf dem GPM 105 kann eine Wirkleistungsmessung der Leistung P1 durchgeführt werden und mit Hilfe der Messung der Wirkleistung kann der Feldaufbau des Feldes 106 detektiert werden, ohne dass ein CPM 104 dazu benötigt wird. Für die Messung der Wirkleistung ist die Kalibrierung der Blindleistung S1 eine nützliche Maßnahme.

Der Aufstart vom induktiven Laden wird mit einem konstanten Duty-Zyklus und einer variablen Frequenz von dem Wechselrichter 201 oder PWM (Puls-Weiten-Modulation) Generator 201 durchgeführt, wobei es sich bei der variablen Frequenz um eine Frequenzverschiebung handelt. Die Startfrequenz, bei der der PWM-Generator 201 beginnt, wird bei der maximal-möglichen Frequenz gesetzt, um eine möglichst große Dämpfung zwischen der Eingangsgröße, d.h. dem Duty-Zyklus (Dutycycle) und der Ausgangsgröße von der Primärkomponente 202 der GPM 105 einzustellen. In einem Beispiel beträgt die normale Arbeitsfrequenz für das Magnetfeld 85kHz und dort wird die Resonanz mit der geringsten Dämpfung erwartet. Um nicht der Gefahr ausgesetzt zu sein gleich bei Beginn in einem Bereich mit Resonanzüberhöhung zu starten, wird bei einer Frequenz gestartet, die von der Arbeitsfrequenz entfernt ist.

Diese Regelvorschrift, um eine möglichst große Dämpfung zwischen Duty-Zyklus und Ausgangsgröße herzustellen, bedeutet gleichzeitig, dass die Regeleinrichtung 302 oder der Phasenregler 302 so eingerichtet ist, ein möglichst kleines Verhältnis von Wirkleistung zu Scheinleistung P1/S1 im Primärkreis 202 einzustellen.

Ausgehend von der beim Starten eingestellten maximalen Frequenz nähert sich beim Reduzieren der Frequenz die variable Frequenz an die Resonanzfrequenz der Primärkomponente 202 oder der Resonanzfrequenz der Sekundärkomponente 203, insbesondere an die Resonanzfrequenz des Primärschwingkreis 202 oder der Resonanzfrequenz des Sekundärschwingkreis 203 an. Dabei befindet sich die Primärkomponente 202 auf dem GPM 105 und die Sekundärkomponente 203 auf dem CPM 104 und bei Annäherung bilden die Primärkomponente 202 und die Sekundärkomponente 203, insbesondere der Primärresonanzkreis 202 und der Sekundärresonanzkreis 203, einen lose gekoppelten Transformator 211, zwischen dem sich das zeitlich variierende magnetische Feld 106 ausbildet.

Bildet sich in der Primärkomponente 202 und Sekundärkomponente 203 Resonanz aus, kann über das Feld 106 zwischen Primärkomponente 202 und Sekundärkomponente 203 eine Energie übertragen werden. In anderen Worten stellt sich, wie in Fig.5 dargestellt ist, eine Betriebsfrequenz, Arbeitsfrequenz oder eine optimale Betriebsfrequenz ein, die nahe an einer der zwei resultierenden Resonanzfrequenzen des gekoppelten Schwingkreises inkl. Last liegt und die die Energieübertragung zwischen Primärresonanzkreis 202 und Sekundärresonanzkreis ermöglicht. Es sind sozusagen zwei einzelne Schwingkreise 202, 203 vorhanden, die sich durch die Koppelung beeinflussen. Es ist folglich der primäre Schwingkreis mit seiner Resonanzfrequenz f_{GPM} und der sekundäre Schwingkreis mit seiner eigenen Resonanzfrequenz f_{CPM} vorhanden, die miteinander gekoppelt sind. Somit sind zwei Schwingkreise vorhanden, die sich durch die Kopplung gegenseitig beeinflussen und eine neue gemeinsame Resonanzfrequenz aufweisen, die es aufzufinden gilt und die von einigen Faktoren abhängig sind, im Wesentlichen dem Abstand und der Ausrichtung der Spulen L1, L2, und der Ausgangslast. Dementsprechend bildet sich eine Gesamtübertragungsfunktion über die gesamte Strecke 210 oder den gesamten Regelkreis 210 aus. Die Gesamtübertragungsfunktion des Energieübertragungssystems 100 über die Strecke 210 kann als Stromverstärkung und/oder Spannungsverstärkung sowie durch einen Phasengang beschrieben werden.

Je nach Arbeitspunkt und oder der Kopplung k der Resonanzkreise 202, 203 untereinander stellt sich in einem Beispiel die Arbeitsfrequenz, Betriebsfrequenz oder Resonanzfrequenz zwischen 81.35kHz und 90kHz ein. Da diese zunächst unbekannt ist, muss sie innerhalb dieses Wertebereiches der Frequenz aufgefunden werden. Zum Auffinden wird mit einer Startfrequenz begonnen. Die Startfrequenz kann aus dem Bereich [90 kHz; 81.35 kHz] gewählt werden, bis sie eine Endfrequenz erreicht, die aus dem Bereich [81.5 kHz; 90 kHz] gewählt werden kann. Oder anders ausgedrückt, kann die Frequenz in der Startphase zum Auffinden des Arbeitspunktes beispielsweise von 90kHz bis 81.35 kHz erniedrigt werden. Sollte der Arbeitspunkt aufgefunden worden sein, bevor einen Bereichsgrenze erreicht ist, mag die Frequenz in dem Arbeitspunkt konstant gehalten werden.

Wird nach dem Durchlaufen eines dieser Frequenzbänder bei einem konstanten Duty-Zyklus oder Tastverhältnis eine vorgebbare Mindestleistung nicht erfasst, dann ist das Laden nicht möglich. Wenn also das GPM 105 zwar Leistung überträgt, die von dem CPM 104 empfangene Leistung nicht über einem Mindest-Schwellwert liegt, wird der Aufstartvorgang des induktiven Ladens abgebrochen. Folglich wird bei einer geringen Kopplung zwischen GPM 105 und CPM 104 das Laden gesperrt oder blockiert. Solch eine geringe Kopplung kann sich bei einer großen Verschiebung zwischen GPM 105 und CPM 104 ergeben. Mit einer Vorsteuerungskennlinie wird dafür gesorgt, dass das Zeitintervall des Aufstartvorgangs einen vorgebbaren Wert von beispielsweise 2,0s nicht überschreitet, also des Zeitabschnitts beim induktiven Laden, bevor mit der eigentlichen Leistungsübertragung begonnen wird, insbesondere des Zeitabschnitts, während dem der Arbeitspunkt gesucht wird. Dieses sofortige Abbrechen des Ladevorgangs während der Startphase beim Nichterreichen der vorgebbaren Mindestleistung kann für die Sicherheit beim Aufstart vom ICS sorgen, ohne dass Kommunikation zwischen GPM 105 und CPM 104 nötig ist. Es gibt zwei Vorsteuerungskennlinien. Die erste Vorsteuerungskennlinie variiert die Phasenverschiebung zwischen PWMx 1401 und PWMy 1402 bei einer konstanten Schaltfrequenz und die zweite Vorsteuerungskennlinie sorgt für die Frequenzänderung bei konstanter Phasenverschiebung bis die Mindestleistung erfasst wird unter Berücksichtigung der maximalen Zeitdauer von 2s für das Auffinden des Arbeitspunktes. Nach einem erfolgreichen Auffinden eines gültigen Arbeitspunktes durch die beiden Vorsteuerungskennlinien startet die Leistungsregelung mit Hilfe der Feedback-Loop 101 oder mit Hilfe des Rückkanals 101 unter Einbeziehung des CPM 104.

Je grösser der Abstand zwischen GPM 105 und CPM 104 ist, desto geringer wird die Frequenz, bei der die Leistung oder Energie übertragen werden kann. D.h. je grösser der Abstand zwischen GPM 105 und CPM 104 ist, desto geringer wird ist die Resonanzfrequenz, oder in anderen Worten ausgedrückt ist die Resonanzfrequenz vom Abstand zwischen GPM 105 und CPM 104 abhängig.

Die Fig. 5 zeigt ein Diagramm einer frequenzabhängigen Leistung P1 während eines Startvorgangs gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In dem Diagramm 500 ist ein Frequenzbereich 501 eingezeichnet, in dem die variable Frequenz des Wechselrichters 201 oder des PWM Generators 201 ausgehend von einer oberen Frequenz 502, beispielsweise 90kHz, zu einer unteren Frequenz 503

erniedrigt werden kann, beispielsweise bis zu 36 kHz. Im Diagramm 500 ist an der Abszisse 504 die Frequenz f in kHz und an der Ordinate 505 ist die Wirkleistung P_1 in W angetragen, die auf der Seite des GPM 105 gemessen wird. Während die Frequenz f reduziert wird bleibt das Tastverhältnis (Dutycycle) Θ der PWM konstant. Wird ein Arbeitspunkt AP gefunden, bei dem zwischen Primärkreis 202 und Sekundärkreis 203 Resonanz hergestellt ist, d.h. ist die gekoppelte Resonanzfrequenz des lose gekoppelten Transformators 211 gefunden, kann das Tastverhältnis (Dutycycle) Θ erhöht werden und somit eine höhere Leistung zwischen GPM 105 und CPM 104 ausgetauscht werden. In Fig. 5 liegt die Resonanzfrequenz 506 des aus Primärkreis 202 und Sekundärkreis 203 gebildeten Transformators an der Stelle 506, beispielsweise 85kHz. Die Resonanzfrequenz des Primärkreises 202 alleine, ohne Koppelung mit dem Sekundärkreis 203, liegt bei f_{GPM} und die Resonanzfrequenz des Sekundärkreises 203 alleine, ohne Koppelung mit dem Primärkreis 202, liegt bei f_{CPM} . Der Schwellwert der im gefundenen Arbeitspunkt AP geforderten Mindestwirkleistung ist durch Bezugszeichen 507 gekennzeichnet. Der Arbeitspunkt AP stellt sich nur ein, wenn auch das CPM 104 in der Nähe des GPM 105 angeordnet ist.

Das GPM 105 kann auch als Basisstation 105 bezeichnet werden. Die Basisstation 105 wird für das Energieübertragungssystem 100 oder das ICS (inductive charging system) 100 genutzt. Die Basisstation 105 weist die Generatoreinrichtung 201 auf, welche zum Generieren einer zeitabhängigen Leistung P_1 mit einem vorgebbaren Tastverhältnis Θ oder Dutycycle Θ und einer vorgebbaren Frequenz f eingerichtet ist. Darüber hinaus weist die Basisstation 105 einen Primärkreis 202 mit einer Primärspule L_1 , L_{prim} und eine Primärmessvorrichtung 301p zum Messen einer Wirkleistung P_1 und/oder einer Scheinleistung S_1 in dem Primärkreis 202 auf. Zur Bestimmung von P_1 und/oder S_1 misst die Messvorrichtung 301 den Eingangsstrom I_1 und die Eingangsspannung U_{ein} des Filters 200. Außerdem weist die Basisstation 105 eine Steuereinrichtung 302 und/oder eine Regeleinrichtung 302 auf der Primärseite auf.

Der Primärkreis 202 ist mit der Generatoreinrichtung 201 und der Messvorrichtung, verbunden. Die Messvorrichtung 301 weist ein Submodul 301p auf, das für die Bestimmung von Messwerten des Primärkreises 202 zuständig ist. Dieses Submodul mag als Primärmessvorrichtung 301p bezeichnet werden und ist ebenfalls mit der Generatoreinrichtung verbunden. Die Steuereinrichtung 302 und/oder die

Regeleinrichtung 302 ist mit der Primärmessvorrichtung 301p und der Generatoreinrichtung 201 verbunden, wobei die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 dazu eingerichtet ist, das vorgebbare Tastverhältnis Θ konstant zu halten, während sie die vorgebbare Frequenz f 504 ausgehend von einer Startfrequenz 502 variiert. Die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 ist auch dazu eingerichtet, mit der Primärmessvorrichtung 301p die Wirkleistung P_1 und/oder die Scheinleistung S_1 zu messen während sie die vorgebbare Frequenz variiert.

Die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 ist dazu noch so eingerichtet, dass beim Überschreiten eines vorgebbaren Wirkleistungsgrenzwertes P_{1x} 504 und/oder Scheinleistungsgrenzwertes S_{1x} 507 die vorgebbare Frequenz 506 konstant zu halten und das vorgebbare Tastverhältnis zu variieren und eine vorgebbare Kombination von Werten für die vorgebbare Frequenz f und das vorgebbare Tastverhältnis Θ beim Variieren der Frequenz f und/oder beim Variieren des Tastverhältnisses Θ auszuschließen. In anderen Worten mag die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 eine vorgebbare Anzahl von Wertpaaren aus Frequenzwerten und Tastverhältniswerten gespeichert haben, die beim Durchlaufen der variablen Frequenz f und dem konstanten Tastverhältnis Θ nicht eingenommen werden.

Ein Ausschlusskriterium zum Ausschließen oder zum „Umfahren“ einer vorgebbaren Kombination von Werten für die vorgebbare Frequenz f und das vorgebbare Tastverhältnis Θ beim Variieren der Frequenz und/oder beim Variieren des Tastverhältnisses kann beispielsweise aus der Gruppe der Ausschlusskriterien ausgewählt sein, wobei die Gruppe aus dem kapazitivem Schalten, der Auslegungsgrenze elektrischer Bauteile, dem Ausschlusskriterium dass die vorgebbare Mindestausgangsleistung P_{out} unterschritten ist, dem Ausschlusskriterium, dass Mindestausgangsleistung P_{out} zu volatil ist und dass ein vorgebbarer Mindestwirkungsgrad η unterschritten wird besteht. Die Auslegungsgrenze eines elektrischen Bauteils kann in einem Beispiel die Stromtragfähigkeit und/oder die Spannungsfestigkeit des elektrischen Bauteils aufweisen. Das Schaltverhalten, also ob kapazitives Schalten und/oder induktives Schalten des Wandlers 201 vorliegt, kann mit dem Zeitpunktsignal Sch der Steuervorrichtung, Messvorrichtung 301 und/oder des Wandlers 201 und der Zeitpunkt der Stromnulldurchgangsmessung vom Signal I_{in} entsprechend Fig 2 überprüft werden.

Die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 kann zum Ausschließen der vorgebbaren Kombination von Werten für die vorgebbare Frequenz f und das vorgebbare Tastverhältnis Θ eine Liste zulässiger Arbeitspunkte und/oder eine multidimensionale Begrenzung in einem Frequenz-Tastverhältnis-Diagramm nutzen.

Die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 der Basisstation 105 weist einen Feedbackanschluss 303 auf, um ein Feedbacksignal 303 einer Remoteeinrichtung 104, insbesondere einer CPM 105 des Energieübertragungssystems 100 zu erhalten, welches die Größe einer Empfangsleistung P_{ist} angibt, die über das Energieübertragungssystem 100 bei der vorgebbaren Frequenz f und dem vorgebbaren Tastverhältnis Θ übertragen wird. Dieser Feedbackanschluss 101, 303 mag zumindest ein Übertragungsprotokoll aus der Gruppe der Übertragungsprotokolle WLAN, Bluetooth und NFC (near field communication) unterstützen.

Die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 mag einen Anschluss aufweisen über den die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 ein Signal schicken kann, mit dem das Generieren der zeitabhängigen Leistung in der Generatoreinrichtung 201 gestoppt werden kann, wenn die Größe der Empfangsleistung P_{ist} innerhalb einer vorgebbaren Zeitdauer einen vorgebbaren Wert 507 unterschreitet. Die vorgebbare Zeitdauer kann 2 s betragen. Zur Messung dieser Zeitdauer können die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 einen Timer aufweisen. Beim Stoppen werden sämtliche Treiber des Primärkreises 202 deaktiviert, beispielsweise Wandler 201 und Filter 200. Insbesondere wird die H-Brücke mit den Schaltern A, B, C, D des Wandlers 201 in den Zustand versetzt, dass alle Schalter offen sind, d.h. in den Zustand $A=B=C=D=open$. Das ist auch der Zustand, in dem Wandler 201 in Fig 2 dargestellt ist. Der Ausgang „phase“ der Steuer- und/oder Regeleinrichtung 302 in Fig. 3 ist der Ausgang zur Ansteuerung der Phasen, um die Phasenverschiebung der Signale PWM-X und PWM-Y an der H-Brücke des Wandlers 201 zu beeinflussen. Um die Treiber zu stoppen oder abzuschalten, wird die H-Brücke durch ein Signal $phase = 0$ am entsprechenden Ausgang der Steuer- und/oder Regeleinrichtung 302 angesteuert, der bewirkt, dass die generierte Leistung auf einen Sollwert Null reduziert wird, d.h. $P_{soll} = 0$.

Der Arbeitspunkt AP wird durch ein Parameter-Tupel 506, 507 angegeben, welches einen Koppelfaktor k , die Induktivität der Primärspule L_1 , L_{prim} , eine Versorgungsspannung U_{Batt} , eine erste Kapazität C_a oder eine Eingangskapazität C_a eines Filters 200, eine zweite Kapazität C_b oder eine Ausgangskapazität C_b des Filters 200, das vorgebbare Tastverhältnis Θ und die vorgebbare Frequenz f aufweist.

Die vorgebbare Frequenz f 504 wird absteigend von der Startfrequenz 502 aus dem Bereich [90 kHz; 85 kHz] bis zu einer Endfrequenz 503 variiert, wobei die Endfrequenz aus dem Bereich [81 kHz; .36 kHz] gewählt wird.

Die Primärmessvorrichtung 301p kann so eingerichtet sein, dass sie Messwerte, die beim Messen der Wirkleistung P_1 und/oder der Scheinleistung S_1 ermittelt worden sind, mittels eines zuvor bestimmten Kalibrierungsfaktors kalibriert. Beispielsweise kann zum Kalibrieren ein Offsetwert, eine Phasenverschiebung oder eine Haltezeit bestimmt werden, der/die bei künftigen Messungen der Wirkleistung P_1 und/oder der Scheinleistung S_1 hinzuaddiert oder subtrahiert wird und oder als zusätzliche Haltezeit eines Sample-and-Hold Glieds. Mit dem Sample-and-Hold Glied kann die Phasenverschiebung verstellt werden, insbesondere bei einer der Messungen von U_1 oder I_1 , um einen kalibrierte Leistung zu ermitteln. Die Multiplikation von $U \cdot I$ beinhaltet ein zeitverzögertes Spannungs- und/oder Stromsignal, zB. $P(t) = U(t-t_{\text{cal}U}) \cdot I(t-t_{\text{cal}I})$.

Die Steuereinrichtung 302 und/oder die Regeleinrichtung 302 kann als FPGA, ASIC, Prozessor oder Mikrocontroller ausgebildet sein.

Das Energieübertragungssystem 100, beispielsweise ein ICS-System 100, weist eine Basisstation 105 oder GPM 105, eine Remoteeinrichtung 104 oder CPM 104 auf, wobei die Basisstation 105 und die Remoteeinrichtung 104 über eine induktive Kopplung und den Feedbackanschluss 303 miteinander lose koppelbar sind. Die Basisstation 105 weist den Primärkreis 202 und die Remoteeinrichtung 104 weist den Sekundärkreis 203 auf. Der Primärkreis 202 weist die Spule L_1 und der Sekundärkreis weist die Spule L_2 auf. Werden die Spule L_1 und L_2 aneinander angenähert, können sich Magnetfelder 106, die von den Spulen erzeugt werden, die jeweils andere Spule L_1 , L_2 durchsetzen. Der Teil des Magnetfeldes, der die jeweils andere Spule L_1 , L_2 durchsetzt bildet die induktive

Kopplung mit dem Koppelfaktor k oder dem Kopplungsfaktor k . Diese Kopplung bildet einen lose gekoppelten Transformator 211. Der Teil des Magnetfeldes 106, der außerhalb der jeweils anderen Spule L1, L2 liegt bildet eine Streukapazität. Je geringer der Teil der gebildeten Streukapazität ist, desto größer ist der Koppelfaktor k . Da jedoch wegen der Beweglichkeit des GPM 105 und CPM 104 zueinander kein Transformator mit einem Kern gebildet werden kann, bei dem der Koppelfaktor k im Wesentlichen konstant ist, ist bei dem lose gekoppelten Transformator der Koppelfaktor variabel und beispielsweise von der relativen Lage des GPM 105 und CPM 104 zueinander abhängig.

Fig. 6 zeigt ein Flussdiagramm für einen induktiven Ladevorgang gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Hierbei wird ausgehend von dem Idle-Zustand S601 erkannt, dass ein Ladevorgang gestartet werden soll. Ein auslösendes Ereignis kann beispielsweise sein, dass die Regeleinrichtung 302 oder die Messvorrichtung 301 erkennt, dass sich GPM 105 und CPM 104 zueinander in einen vorgebbaren Abstand bewegt haben. In einem anderen Beispiel kann der Ladevorgang auch von einem CPM 104 gestartet werden.

Es wird in dem Funktionsblock S602 oder Zustand S602 zunächst eine Kalibrierung des ICS Systems 100 und insbesondere der Bauteile des GPM 105 durchgeführt. In diesem Kalibrierungsprozess werden variable und systemspezifische Parameter ermittelt, um die Messvorrichtung 301 zu kalibrieren.

Nach der Kalibrierung wird in den Funktionsblock S603 das induktive Laden einschließlich dem Startup des ICS Systems 100 durchgeführt, wobei der Startup, der Aufstart- oder Startvorgang im Wesentlichen das Auffinden des Arbeitspunktes AP aufweist. Abhängig, von der Erfüllung der funktionalen Sicherheit erfolgt dann im Zustand S603 das Laden mittels des ICS Systems 100 oder das Abschalten des ICS Systems und der Ladevorgang kehrt in den Idle-Zustand S604 zurück. Das Abschalten erfolgt beispielsweise, wenn nicht innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls oder Zeitfenster mit dem Laden begonnen werden kann. Dieses Zeitintervall kann 2s betragen.

Sowohl bei dem Startup als auch bei dem Ladevorgang in der Ladephase S603 können die während der Kalibrierungsphase S602 aufgefundenen Parameter oder der aufgefundenen Kalibrierungsfaktor berücksichtigt werden. Die Kalibrierungsphase S602 wird bei jedem Start eines Ladevorgangs durchlaufen.

Fig. 7 zeigt ein Flussdiagramm für die Ladephase S603 einschließlich des Startups gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Die Ladephase S603 umfasst ein Verfahren zum Steuern und/oder Regeln einer Basisstation 105 oder eines Energieübertragungssystems 100. Für die Startup-Phase wird ausgehend von einem Idle-Zustand S701 zunächst im Zustand S702 eine zeitabhängige Leistung mit einem vorgebbaren Tastverhältnis Θ und einer vorgebbaren Frequenz f generiert. Im Zustand S703 wird dann begonnen, die vorgebbare Frequenz f ausgehend von einer Startfrequenz 502 zu variieren und gleichzeitig wird das vorgebbare Tastverhältnisses Θ konstant gehalten. Während des Variierens der Frequenz f bei konstantem Tastverhältnis Θ wird die Wirkleistung P_1 und/oder die Scheinleistung S_1 in einem Primärkreis 202 der Basisstation 105 mittels der Messvorrichtung 301 gemessen.

Der Startup-Vorgang S702, S703 kann man durch folgende Abläufe zusammenfassen. Es wird bei der maximalen Frequenz gestartet und ein erster Duty-cycle wird gestellt. Dann wird Frequenz reduziert bis $P=P_{\text{start}}$. P_{start} ist Regelungsstartleistung. Das ist die Mindestleistung, bei der der Feedback-loop 101 initialisiert wird.

Falls kein Arbeitspunkt AP zu finden ist wird bei niedrigen Frequenzen in die andere Richtung gesucht. Es kann vorkommen, dass bei einem Aufstart mit $f_{\text{start}} = f_{\text{max}}$ der Arbeitspunkt aufgrund von einer Zustandsüberschreitung, wenn $zB \ I_{\text{lin}} > I_{\text{linmax}}$ d.h. der Strom I_{lin} durch das Filter 200 überschreitet einen Schwellwert bei einer Frequenz $f_{\text{min}} < f < f_{\text{max}}$ nicht gefunden werden kann. I_{lin} ist der Strom durch L_a und I_b ist der Strom durch L_b . Der Strom I_{lin} über L_a wird gemessen. Der Strom I_b über L_b kann über den anderen Parameter berechnet werden oder auch erfasst oder gemessen werden. In einem Beispiel kann die Vorsteuerungsrichtung umdrehen und bei der kleinen Frequenz starten, mit einem anderen Default-Duty-cycle und dann kann die Frequenz erhöht

werden, so dass ein stabiler Arbeitspunkt AP bei einer Frequenz f_{AP} 506 bei $f_{AP} < f(\text{linmax})$ gefunden werden kann.

Falls nach dem Durchlaufen des Frequenzbandes 501 in beiden Richtungen kein Arbeitspunkt AP gefunden wird, werden die Filterkapazitäten C_a , C_b umgeschaltet. Die Verstellung von C_a , C_b verstellt auch die Eingangsimpedanz und somit die Phasenlage von U_{in} zu U_{out} über dem Frequenzband [80 - 90kHz]. Die kapazitiven Bereiche mit einer ersten Konfiguration, die ausgeschlossen werden sollen, sind mit anderen Konfigurationen unter Umständen nicht mehr kapazitiv und damit brauchbar. Das Wegschalten von einem halben Ausgangskondensator $C_b/2$ und Zuschalten von weiteren Eingangskondensatoren C_a des Filters 200 führt zu einer Erhöhung der Phasenreserve und somit zu induktivem Schaltverhalten. Dieses Zu- und Wegschalten mag jedoch zu höheren Verlusten und/oder zu einer Leistungsreduktion führen und deswegen wird in einem Beispiel immer mit der Konfiguration gestartet, die die „größten kapazitiven Bereiche“ beinhaltet.

Falls trotz Suche in beide Richtungen und Umschalten der Kapazitäten C_a , C_b immer noch kein AP gefunden ist wird im Zustand S704 die Auffstartphase abgebrochen und das ICS System 100 abgeschaltet. Es wird folglich ausgehend von einem oberen Frequenzbereich und dann ausgehend von einem unteren Frequenzbereich immer wieder bewertet, ob ein gültiger Arbeitspunkt AP bereits gefunden ist und wenn dieser gefunden ist wird gestartet. Ansonsten wird abgebrochen.

Nachdem das Überschreiten eines vorgebbaren Wirkleistungsgrenzwertes P_{1x} 507 und/oder Scheinleistungsgrenzwertes S_{1x} 507 in dem Funktionsblock S704 erkannt worden ist, erfolgt im Zustand S705 ein Variieren des vorgebbaren Tastverhältnis Θ bei gleichzeitigem konstant Halten der vorgebbaren Frequenz f , 506. Während die vorgebbare Frequenz und/oder das vorgebbare Tastverhältnis Θ variiert wird, also während der Zustände S703 und S704 erfolgt ein Überwachen oder Ausschließen einer vorgebbaren Kombination von Werten für die vorgebbare Frequenz f und das vorgebbare Tastverhältnis Θ . Es wird der Ladevorgang gestartet.

Wird jedoch der Arbeitspunkt AP, der durch den vorgebbaren Wirkleistungsgrenzwert $P_{1x} 507$ und/oder Scheinleistungsgrenzwert $S_{1x} 507$ gekennzeichnet ist, nicht innerhalb einer vorgebbaren Zeit von beispielsweise 2s erkannt, wird der Funktionsblock S705 übersprungen und der Ladevorgang nicht gestartet oder abgebrochen.

Das Verfahren endet in dem Idle-Zustand S706.

Im Folgenden soll auf weitere Einzelheiten der in Fig. 3 dargestellten Steuereinrichtung 302 und/oder Regeleinrichtung 302 eingegangen werden. Die Steuereinrichtung 302 und/oder Regeleinrichtung 302 ist als Phasenregler ausgeführt. Er erhält einen Leistungs-Sollwert P_{soll} und einen Leistungs-Istwert P_{ist} . Die lose Kopplung des Primärkreises 202 und des Sekundärkreises 203 bei Annäherung bildet einen Resonanztransformator 211 oder einen Resonanzkonverter 211. Das Ziel des Frequenzreglers 302 im Resonanzkonverter 211 ist die Suche oder Einstellung eines Arbeitspunktes AP bei dem der Wirkungsgrad η möglichst groß ist, also bei dem die Bedingung $\eta \rightarrow 1$ und bei dem ein induktives Schalten stattfindet. In diesem Zusammenhang bedeutet induktives Schalten, dass der PWM Generator 201 das Filter 200 als eine induktive Last sieht, d.h. der Strom soll der Spannung so weit nacheilen, dass die Kommutierung der Spannung im Generator 201 oder Wechselrichter 201 beim Öffnen der Schalter erfolgt.

Das Filter 200 dient im Wesentlichen dazu, Oberwellen, die bei der Erzeugung des Rechtecksignals der PWM des Generators 201 entstehen auszufiltern, um dem Primärkreis 202 ein möglichst sinusförmiges Signal bereitzustellen. Das Filter 200 kann beispielsweise um das Einstellen des induktiven Schaltverhaltens zu ermöglichen einstellbar sein. Gleichzeitig kann ein ZVS Schalten (Zero Voltage Switching) der Schalter des Generators 201 ermöglicht werden, um Verluste zu reduzieren. Das Filter 200 kann an den jeweiligen Arbeitspunkt angepasst werden.

Der Arbeitspunkt AP ist definiert als der Punkt, bei dem die geforderte Sollleistung P_{soll} stabil und konstant übertragen werden kann. Nachdem der Arbeitspunkt AP erreicht ist sorgt der Regler 302 oder die Regeleinrichtung 302 dafür, dass zumindest drei Randbedingungen eingehalten werden. Eine erste Randbedingung ist das induktive

Schaltverhalten des Generators 201 und die Strombegrenzung. Die Strombegrenzung, insbesondere die Schaltstrombegrenzung begrenzt den Filterstrom I_{in} durch L_a . Induktives Schalten wird über die Zeitmessung des Nulldurchgangs vom Strom I_{in} festgestellt und, durch Verändern des Schaltzeitpunkts der Eingangsspannung $U_{e,in}$ oder U_{in} oder durch verschieben der Ansteuerfrequenz eingestellt.

Diese Strombegrenzung und das induktive Schaltverhalten dient der Sicherheit. Eine weitere durch den Regler 302 einzuhaltende Randbedingung ist dafür zu sorgen, dass nach der Aufstartphase S703 ein konstantes Laden mit einer konstanten Ladeleistung P_{soll} erfolgt. Außerdem soll der Regler als weitere Randbedingung dafür sorgen, dass während des Ladevorgangs im Zustand S705 Wirkungsgrad Maximieren η maximiert wird, um einen optimalen Betrieb zu gewährleisten. Da nicht immer alle drei Randbedingungen gleich gut erfüllt werden können, kann der Regler 302 eine Priorisierung der Randbedingungen vornehmen. Dabei erhält die sicherheitsrelevante Randbedingung eine höhere Priorität als die Randbedingung, die die Ladeleistung P_{soll} betrifft. Diese zweite Randbedingung hat jedoch wiederum eine höhere Priorität als die Randbedingung, die den optimalen Betrieb betrifft.

Als Stellparameter kann der Regler 302 die Betriebsparameter des Generators 201 beeinflussen. Die Betriebsparameter des Generators 201 weisen die Frequenz f und/oder Periode der PWMx/y Signale T , sowie die Phasenverschiebung θ der beiden Signale PWMx und PWMy zueinander auf.

Fig. 14 zeigt ein Zeitdiagramm oder Ansteuerschema für die Ansteuerung des Wandlers 201 zur Erzeugung einer PWM am Eingang 206 des Filters 201 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Das erste Zeitdiagramm 1401 zeigt das erste Ansteuersignal PWMx 1401 für die erste Schaltergruppe A, C und das zweite Ansteuersignal PWMy 1402 für die zweite Schaltergruppe B, D als Zeitdiagramm. Dabei bedeutet ein High-Wert oder 1, dass der Schalter eingeschaltet ist und 0 oder „Low“, dass der Schalter ausgeschaltet ist. Aus dem Angegebenen Schaltmuster ergibt sich als Ergebnis ein Spannungsverlauf U_{in} , $U_{e,in}$ 1403 der zwischen einem positiven und negativen Spannungswert schwankt. Als positive Flanke wird ein Signalwechsel von 0 nach 1 und als negative Flanke wird ein Signalwechsel von 1 nach 0

verstanden. Die Positiven Flanken des ersten Ansteuersignal PWMx 1401 und des zweiten Ansteuersignal PWMy 1402 sind um eine Zeitverschiebung τ verschoben. Diese Zeitverschiebung entspricht einer Phasenverschiebung der PWM Signale. Die Zeitverschiebung zeigt sich in dem resultierenden Spannungsverlauf als eine

Impulsbreite, die in das Tastverhältnis $\theta = 2\pi \frac{\tau}{T}$ umgerechnet werden kann. Die

Periodendauer des resultierenden Spannungsverlaufs ergibt sich als zeitlicher Abstand zwischen zwei gleichen Signalzuständen und ist mit T gekennzeichnet. Bei dem Signal PWMx 1401 und PWMy 1402 handelt es sich um Rechtecksignale mit denen der Generator 201 die Schaltergruppe A, C bzw. B, D einer Vollbrückenschaltung oder H-Brücke über die Periodendauer T ansteuert. Die Frequenz f gibt die Zahl der Zustandswechsel innerhalb von T an. Dadurch entsteht das Tastverhältnis θ .

Die Konfiguration des Systems 100 wird durch den inneren Parameter des Systems festgelegt. Die Systemparameter, die je nach Position von GPM 105 und CPM 104 zueinander und Batteriespannung $UBatt$ den Raum aller möglichen Arbeitspunkte aufspannen, sind der Koppelfaktor k , die Induktivität der Primärspule $L1$ oder $Lprim$, die Ausgangsspannung oder Zwischenkreisspannung $UBatt$ und die schaltenden Kapazitäten Ca , Cb die über Schalter verstellbar sind, so dass sich die Kapazitäten aus einer Vielzahl CaX , CbX von Kapazitäten ergeben, deren Kapazitäten addiert werden $Ca = \{Ca0, Ca0+CaX\}$, $Cb = \{Cb0, CbX\}$. Somit weist das Filter 200 ein Array von parallel und/oder seriell geschalteten Kapazitäten auf, die bei Bedarf zu- und weggeschaltet werden können. Es ist auch möglich ein Array von parallel und/oder wegschaltbaren Spulen entsprechend zu nutzen. Davon sind $UBatt$, Ca , Cb durch die Vorgaben bei der Herstellung bekannt. Das heißt, dass ein Arbeitspunkt AP durch die folgende Parameterkombination oder das Parameter-Tupel definiert wird:

$$k, Lprim, UBatt, Ca, Cb, \theta, f$$

Bei einer Analyse von Kurvenscharen für variable Frequenz f , variables Tastverhältnis θ oder variablem Duty cycle θ und pro Kurve konstantem Koppelfaktor k sowie konstanter Induktivität der Primärspule $L1$ oder $Lprim$ als auch konstanter Ausgangsspannung $UBatt$,

hat sich gezeigt, dass, um die Leistung $P1$ konstant zu halten, die Steilheit der Kurve vergrößert mit sinkender Kopplung k . Es handelt sich somit bei dem Auffinden eines Arbeitspunktes um eine Steuer- und/oder Regelaufgabe, die ein hoch sensitives System beherrschen muss. Der Regler 302 sollte daher so dimensioniert werden, dass ein Kompromiss zwischen Regler-Dynamik, Auflösung und Robustheit gefunden werden. Da die Auflösung vom Messsystem und Hardwarekomponenten und den verwendeten Bauelementen festgelegt wird, basiert die für das Verfahren für die Arbeitspunktsuche, das für den Regler 302 genutzt wird, auf einem Verfahren, bei dem die Dynamik der Arbeitspunktssuche beschränkt wird, so dass die Arbeitssuche in sehr kleinen Schritten gemacht werden kann, d.h. mit sehr kleinen Frequenzänderungen. Durch diese kleinen Schritte wird vermieden, dass auch bei den Arbeitspunkten AP, in denen eine kleine Arbeitsfrequenzvariation in einem Zeitintervall ΔT zu einer relativ großen Leistungsänderung führt, keine Stabilitätsprobleme oder Überschwinger entstehen. Die Arbeitsfrequenzvariation ist als Verhältnis der Änderung der Arbeitsfrequenz zu dem Zeitintervall $\Delta f / \Delta T$ und die Leistungsänderung ist als Verhältnis der Leistungsänderung zu dem Zeitintervall definiert $\Delta P1 / \Delta T$.

Fig. 8 zeigt ein Diagramm einer dreidimensionalen Darstellung der übertragenen Leistung P_{out} über der Frequenz f und dem Tastverhältnis θ gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Abszisse 801 gibt die Frequenz f in kHz von 82 kHz bis 89 kHz und die Ordinate 802 gibt das Tastverhältnis θ oder die Phasenverschiebung in Prozent % von 10 % bis 100% an, wobei gemäß Fig. 14 das Tastverhältnis θ oder die Phasenverschiebung auf die Periodendauer bezogen ist, so dass sich der Prozentwert als $\frac{\theta}{T} \cdot 100$ ergibt. Die Farbwerte geben die gemessene Wirkleistung $P1$ im Primärkreis 202 an.

Die Leistung P_{out} variiert zwischen 0 kW und 3,3 kW. Es zeigen sich im Wesentlichen 3 Bereiche. Im Leistungsbereich 803 liegt die Leistung in der Größenordnung 3,3 kW. Im Leistungsbereich 804 liegt die Leistung in der Größenordnung 0 kW. In den Bereichen 803 und 804 ist ein induktives Schalten möglich, d.h. das Filter 200 verhält sich wie eine induktive Last oder die Randbedingung des induktiven Verhaltens ist erfüllt. In den Bereichen 805 zeigt sich ein kapazitives Verhalten. Daher wird die Regeleinrichtung 302

so eingerichtet, dass sie das Auftreten entsprechender Wertekombinationen der Frequenz f und dem Tastverhältnis θ vermeidet.

Fig. 9 zeigt ein Diagramm einer dreidimensionalen Darstellung des Wirkungsgrades η über der Frequenz f und dem Tastverhältnis θ gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Der Wirkungsgrad ist in Fig. 9 qualitativ aufgetragen. Im Bereich 904 ist der Wirkungsgrad gering und im Bereich 905 ist der Wirkungsgrad hoch.

Aus Fig. 8 lässt sich ableiten, dass eine hohe Leistungen P_{out} oft bei kleinen Frequenzen mit einem kleineren Duty erreicht werden können im Vergleich zu hohen Frequenzen. Aus dem Wirkungsgrad-Diagramm der Fig. 9 lässt sich ableiten, dass hohe Wirkungsgrade sowohl in den tiefen als auch in den hohen Frequenzbereichen auftreten können, wobei ein guter Wirkungsgrad für die meisten Konfigurationen im Frequenzbereich 81...85kHz, d.h. im Bereich [81kHz; 85 kHz] auftritt. Dieser Frequenzbereich ist mit Bezugszeichen 806 gekennzeichnet und ist ein Teil des zugelassenen Frequenzbereichs 501. Es kann sich somit ein Hinweis darauf entnommen werden, dass eine beispielhafte Systemkonfiguration (Ca, Cb, La, L1, C1, L2, C2) in diesem unteren Band 806 von 501 aufgrund von der Konfiguration des Gesamtsystems, die höchsten Wirkungsgrade erreicht. Für eine andere Systemkonfiguration kann sich ein anderes Bild ergeben.

Daher wird der Regler 302 so eingerichtet, dass bei einer hohen Frequenz als Startpunkt bei der Suche des Arbeitspunktes AP startet. Bei hohen Frequenzen verursacht eine kleine Änderung der Frequenz f oder eine kleine Änderung des Dutys θ oder der Phasenverschiebung θ wegen der geringeren Sensibilität in diesem Bereich, eine geringere Änderung der Leistung wie bei kleinen Frequenzen. Folglich ist die Änderungsrichtung von hohen Frequenzen zu geringen Frequenzen der Änderungsrichtung von geringen Frequenzen zu hohen Frequenzen vorzuziehen, obwohl beide Regelverhalten des Reglers 302 möglich sind. In einer Einstellphase sollte der Regler 302 dahingehend überprüft werden, dass eine spezielle Konfiguration des Reglers 302 auch die Bedingung erfüllt, dass eine Verringerung der Frequenz zu einer lokalen Verbesserung des Wirkungsgrads führt. Oder anders ausgedrückt, dass

$\frac{\partial P_{out}}{\partial f}(f_{gro\beta}) < \frac{\partial P_{out}}{\partial f}(f_{klein})$ gilt, wobei $f_{gro\beta}$ eine große Frequenz und f_{klein} eine kleine Frequenz bezeichnet. Denn nicht für jede Konfiguration mag diese Bedingung erfüllt sein. In den Diagrammen nach Fig. 8 und 9 können in anderen Konfigurationen und bei anders gewählten Parametern auch lokale Optima des Wirkungsgrads η bei hohen Frequenzen auftreten. P_{out} gibt die Ausgangsleistung des CPM 104 am Ausgang 220 an. Das GPM 105 erhält die Information über die Ausgangsleistung P_{out} über den Kommunikationskanal 101, beispielsweise WLAN, von der CPM 104 alle 100ms.

Es gilt jedoch immer, dass bei kleinen Leistungen wie im Bereich 804 auch der Wirkungsgrad sinkt, wie der Bereich 904 zeigt. Es wäre deswegen denkbar je nach Sollleistung einen Sollwert η_{soll} (P_{soll}) für den Wirkungsgrad zu setzen, um kleine Schwankungen um den Arbeitspunkt zu verhindern. Ist die Verbesserung des Wirkungsgrads aber besser als $\delta\eta$ soll die Frequenz immer noch variiert werden.

Der Regler 302 kann auch so eingerichtet sein, zu erkennen, dass sich das Schaltverhalten des ICS Systems 100 in Richtung eines kapazitiven Verhaltens bewegt, dass also Parameterkombinationen auftreten können, die zu einer Leistung führen, die in dem kapazitiven Bereich 805 liegt, kann der Regler 302 Schaltmaßnahmen an dem Filter 200 durchführen, die die physikalische Konfiguration des Filters 200 so ändern, dass wieder ein induktiver Betrieb möglich ist. Beispielsweise könnte ein zusätzlicher Kondensator zu dem Eingangskondensator C_a und/oder zu dem Ausgangskondensator C_b parallelgeschaltet werden oder ein Array von Filtern, um ein umschaltbares Filter zu bilden.

In einem Betrieb des Reglers ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Frequenz-Duty Bereiche, die durch Frequenz-Duty-Tupel angegeben werden können, nicht zulässig ist und daher von dem Regler 302 zu vermeiden oder zu umfahren sind oder durch andere geeignete Maßnahmen, wie dem Schalten des Filters 200, zu umgehen sind.

Insbesondere können solche verbotenen Bereiche vor allem bei kleinen Kopplungen k groß ausfallen. Dies hat zur Folge, dass der Regler 302 im Wesentlichen ständig die Grenzen zwischen induktivem und kapazitiven Bereich überwachen muss und dass eine geeignete Aufstartstrategie oder ein Regelverhalten für den Regler 302 für den Startup

gefunden werden muss um in die gewünschten Arbeitspunkte reinzukommen. Eine Umschaltung von Kapazitäten C_a , C_b ist auch nötig, um bei kleiner und großer Kopplung die volle Leistung, in Fig. 8 $P_{out} = 3.3kW$, Bereich 803 übertragen zu können. Der Leistungsregler in 302 ist als PI-Regler ausgeführt.

Fig. 10 zeigt ein linearisiertes Ersatzschaltbild des ICS Systems 100 aus Fig. 2 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Dieses linearisierte System reicht vom Inverter 201 oder Generator 201 zu der Batterie oder Last 205. Dieses linearisierte System kann bei einer sinusförmigen Anregung Durch Generator 201 angenommen werden.

Der Gleichrichter 204 wurde durch ein RC-Glied 205' ersetzt, welches das System aus Gleichrichter und Batterie für ein vorgegebenes Parameter-Tupel k , U_{batt} , P_{out} im linearisierten Modell abbildet. Die Frequenzabhängigkeit wurde aufgrund des kleinen Einflusses für die Berechnung nicht berücksichtigt. Für eine maximale Leistung ist der Strom im Sekundärkreis $I_{2eff} = 16.67A$. Aus diesem Wert kann man alle anderen Effektivwerte im System für k , $L1$, U_{batt} , P_{out} für die Systemdimensionierung berechnen

Diese Effektivwerte k , $L1$, U_{batt} , P_{out} wurden für eine Batteriespannung von $U=350V$ und eine Ausgangsleistung $P_{out}=3.3kW$ berechnet. Die Bedingungen im Arbeitspunkt lauten wie folgt:

- $U_{in} < 350V_{eff}$
- $U_{in}/\cos(\phi) < 350V_{eff}$
- Induktiv
- $I_a, I_b < 35A_{eff}$
- $I_1 < 28A_{eff}$

werden diese Bedingungen eingehalten, so wird parallel mithilfe vom Frequenzregler (nicht gezeigt in Fig. 3) der optimale Arbeitspunkt, in dem die Verluste minimal sind, für die Konfiguration $\{P, U_{\text{batt}}, k, L1, L2\}$ gesucht, geometrisch und lastabhängig. Diese Bedingungen sind harte Bedingungen, also Bedingungen, die für ein spezifisches System eingehalten werden müssen.

Es gibt in Kontinuum unendlich vieler Arbeitspunkte. stationäre Arbeitspunkte sind definiert als Arbeitspunkte, bei denen die Leistung insbesondere die Sollleistung konstant gehalten wird. Arbeitspunkte, die anfahrbar sind, d.h. von $P = P_{\text{start}} = 500\text{W}$ bis $P = P_{\text{soll}}$ sind mögliche Arbeitspunkte. Auch Punkte, die so nah wie möglich an P_{soll} liegen sind mögliche Arbeitspunkte. Zusätzlich werden lokale Wirkungsgradmaxima gesucht, von denen es auch mehrere im anfahrbaren Bereich geben kann. Um einen stationären Arbeitspunkt AP zu erhalten muss auch dessen Anfahrbarkeit während der Startup-Phase sichergestellt werden. Die Arbeitspunkte AP, die sich innerhalb des gleichen abgeschlossenen Gebietes wie der Startpunkt befinden, können mit einer kontinuierlichen Änderung der Frequenz und des Dutycycles erreicht werden. Arbeitspunkte AP, die sich außerhalb dieses Gebietes befinden, können nur erreicht werden, indem der Regler einen Frequenz- / Dutyssprung durch die verbotenen Gebiete durchführt. Zusätzlich ist es zu bedenken, dass bei mehreren lokalen Optima der Arbeitspunkt AP gewählt wird, der am nächsten zum Ausgangspunkt ist (lokaler Frequenzoptimierer) AP. In anderen Worten bedeutet das, dass die Betriebsstrategie die Leistung von 500W bis $P = P_{\text{soll}}$ hochfährt und dabei den Dutycycle Θ , insbesondere die Phasenverschiebung τ , nach oben limitiert, um Strom- und Spannungsgrenzen einzuhalten, und nach einer Frequenz sucht, die erlaubt, dass der Dutycycle wieder erhöht werden kann, so dass die Leistung hochgefahren wird. Dieser Prozess wird iterativ durchgeführt anhand von Vorzugsrichtungen durch die Entscheidung, ob die Frequenz inkrementiert oder dekrementiert werden soll. Die Entscheidung über die Vorzugsrichtung wird wiederum abhängig von den elektrischen Zuständen gemacht. In einem Beispiel wird nach einem Optimum mithilfe eines maximalen Power-Point-Trackers gesucht und eine Indikation eines hohen Stromes I_a genutzt, um die Frequenz zu reduzieren und ein kapazitives Schaltverhalten als Indikator genutzt, um die Frequenz zu inkrementieren.

Durch Einhalten der Randbedingungen kann der Regler im Resonanzkonverter des GPM 105 zusätzlich mit L2 und C2 für eine stabile Energieübertragung sorgen, dass im

Wesentlichen Pout konstant bleibt, obwohl sich evtl Parameter wie der Koppelfaktor k ändern, beispielsweise wenn sich bei einem Laden eines Autos während der Energieübertragung ein Abstand zwischen GPM 105 und CPM 104 verringert. Da die Effizienz maximiert wird und zugleich die Zustände des Systems überwacht werden müssen, kann man die Integration vom Regler mit der Maximierung der Effizienz und die Limitierung der Zustände als Optimierungsproblem beschreiben.

Im Folgenden soll weiter auf die im Zustand S602 durchgeführte Kalibrierungsphase eingegangen werden, die spezifische Parameter oder einen Kalibrierungsfaktor bestimmt, um die Messvorrichtung 301 korrekt betreiben zu können.

In dem ICS (Inductive charging system) 100 wird die Primärleistung $P1$ von dem Regler 302 geregelt. Den Wert der Primärleistung $P1$ erhält der Regler 302, wie in Fig. 3 dargestellt, von der Messvorrichtung 301 über die Verbindung 303, 101, die mit dem Ausgang Pout der Messvorrichtung 301 verbunden ist. Pout ist die Leistung am Ausgang 220 der CPM 104 über dem Widerstand 205.

Aufgrund von Toleranzen, beispielsweise durch die Streuung des Magnetfelds 106 und verschiedene Gerätekonfigurationen, z.B. dem Einsatz eines Filters 4. Ordnung für das Filter 200, ändert sich die von der Messvorrichtung 301 erfasste Phasenverschiebung von Strom zu Spannung im Primärfeld, d.h. in dem Feld, welches von der Primärspule $L1$ erzeugt wird. Diese Phasenverschiebung betrifft die Phasenverschiebung der Messung, nicht die Phasenverschiebung der realen Zustände. Das bedeutet, dass obwohl das System 100 und insbesondere der Primärkreis 202 mit einer realen oder tatsächlichen Phasenverschiebung arbeitet und so tatsächlich eine Leistung $P1$ erzeugt wird, geht der Regler 302 und/oder die Messvorrichtung 301 von falschen Werten für die Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung und somit auch von einer falschen Leistung $P1$ oder P_{ist} aus. Obwohl demnach in dem System 100 tatsächlich eine Leistung $P1$ vorhanden ist, geht der Regler 302 von einer verfälschten Leistung P_{ist} aus. Zu der Verfälschung der Leistung kommt es, da durch die Phasenverschiebung Winkelfehler entstehen. Denn das eingesetzte Verfahren zur Leistungsmessung in der Messvorrichtung 301 berechnet die Leistung $P1$ aus der Bewertung der Phasenlage zwischen Strom $I1$ und Spannung $U1$.

Zur Behebung der aufgrund der Winkelfehler hervorgerufenen Messfehler kann bei der Leistungserfassung eine Sample-Hold-Einrichtung 1103 in der Messvorrichtung 301 vorgesehen werden, welche eine Korrekturvorrichtung aufweist, die dazu eingerichtet ist, eine Zeitverzögerung oder einen Group-Delay einzusetzen, um die Winkelfehler auszugleichen und/oder zu beheben. Dabei wird das „kontinuierliche Messsignal“, d.h. der sinusförmige Strom I1 oder die sinusförmige Spannung U1 digital erfasst und auch über ein Halteglied verzögert, bevor dieses Signal wiederum mit U1 oder I1 multipliziert wird, somit kann eine positive Phasenverschiebung zu einem der zwei Zeitsignale hinzugefügt werden.

Die Regelung im Regler 302 basiert auf einer Leistungsmessung S1 des Schwingkreises 202, der mit einer Frequenz des Wandlers 201 im Bereich von 80-90kHz und mit einer entsprechend kurzen Periodendauer arbeitet. Die Scheinleistung S1, die gemessen werden soll, ist sehr hoch und kann in der Größenordnung von 1100kVA liegen. Während bei einer Leistungsmessung einer Leistung von 50 W bis 500W bei 50Hz ein Phasenfehler oder eine Totzeit in der Größenordnung 0,1 μ s, der/die durch die Messfehler der Hardware in das Ergebnis eingerechnet wird, nur eine geringe Auswirkung hat, macht sich eine Totzeit von 0,1 μ s bei einer entsprechend kurzen Periodendauer einer Schwingung im Bereich von 80kHz bis 90 kHz wesentlich stärker bemerkbar und die Verfälschung des Messergebnisses gegenüber den tatsächlichen Werten der Leistung kann nicht toleriert werden, insbesondere nicht, wenn Arbeitspunkte des ICS Systems eingestellt werden sollen und der Regler 302 eine hohe Sensibilität hat.

Weiter erschwerend bei der Berücksichtigung des Phasenfehlers ist, dass der Phasenfehler von der Messvorrichtung 301 abhängt und daher von Messvorrichtung zu Messvorrichtung unterschiedlich sein kann und sich selbst bei Messvorrichtungen der gleichen Bauart unterscheiden kann. Da sich somit die Gruppenlaufzeit / Phasendrehung von ICS-System 100 zu ICS System 100 unterscheiden kann, wird das Kalibrieren der Leistung P1 in jeder Aufstartphase S602 vor dem induktiven Laden in der Phase S603 durchgeführt Sie kann parallel mit der Arbeitspunktfindung in der Phase S702, S703 des Ladevorgangs stattfinden. In der Aufstartphase ist die Wirkleistung P1=0W oder Primärfeld-Leistung P1 = 0W bei einem geringen Dutycycle, da während der

Aufstartphase noch keine Leistung übertragen werden soll, sondern nur der Arbeitspunkt bestimmt werden soll. Die Kalibrierung auf genau 0W ist sehr schwierig und kann nicht sichergestellt werden, ohne das zugelassene Frequenzband zu verlassen. Man kann aber mit wenig Fehler $P_1 = 0W$ annehmen. Obwohl die Wirkleistung P_1 im Wesentlichen nicht vorhanden ist, ist allerdings eine hohe Scheinleistung vorhanden. Es gilt $P_1 \ll S_1$. Ist ein zu kleines Frequenzband vorhanden, wird die Leistungsmessung über den $\cos(\phi) = \frac{P}{S} = 0$ zwischen I_1 und U_1 kalibriert. In der Regel reicht aber aus, dass $P_1 \ll S_1$ ist, um eine Kalibrierung auf 0W erfolgreich durchzuführen. Auch wenn z.B. $P_1 = 100W$ real hätte aber $S_1 = 5000VA$ wäre, wäre bei einer Kalibrierung von ϕ auf $\pi/2$ (90Grad) bei einem realen Winkel von 88,85Grad in diesem Arbeitspunkt den Winkel auf 1.3% rel. Fehler kalibriert, was immer noch sehr genau ist.

Dieses Prinzip, das in Formeln (K7) und (K8) dargelegt wird, sorgt für eine Kalibrierung der Leistung bei geringen Leistungen. Bei großen Leistungen können die Abweichungen grösser sein. Die Regelung der kleinen Leistungen ist aber eine Herausforderung beim ICS da es schwer ist festzustellen, ob ein Arbeitspunkt gefunden ist. Außerdem ist es schwer die Mindestleistung an der Ausgangsseite 220 zu regeln. Oder in anderen Worten ausgedrückt, können mit dieser Winkelanpassungsmethode auch die kleinen Leistungen, d.h. Leistungen mit einem kleinen Verhältnis Wirkleistung zu Scheinleistung P_1/S_1 . autonom sehr gut gestellt und/oder gesteuert werden, was den autonomen Leistungsaufstart, also ohne CPM 104 Nutzung, garantiert und zu einer genaueren Leistungserfassung führt. Somit kann auch die Ausgangsleistung P_{out} am Ausgang 220 sehr genau eingestellt und gesteuert werden

Mit Bezug zu Fig. 4 werden die folgenden Abkürzungen aus Tabelle 1 genutzt.

Tabelle 1

Variable/ Definition	Bezeichnung	Beschreibung
P_{mess}	Gemessene Wirkleistung	Ermittelte Wirkleistung vom

		Primärschwingkreis
ϕ_{UI}	Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung	Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung
$\phi_{U,mess}$	Phasenverschiebung zwischen reale und gemessene Spannung	Phasenverschiebung zwischen reale und gemessene Spannung
$\phi_{I,mess}$	Phasenverschiebung zwischen realer und gemessener Strom	Phasenverschiebung zwischen realer und gemessener Strom
ϕ_{mess}	Gemessene Phasenverschiebung	Gemessene Phasenverschiebung
ϕ_{CAL}	Kalibrierungswert Phasenlage	
$\phi_{CAL,def}$	Default Kalibrierungswert Phasenlage	
P	Reale Wirkleistung	Reale Leistungsmessung
u(t)	Realer Strom	Zeitsignal der realen Strommessung
i(t)	Reale Spannung	Zeitsignal der realen Spannungsmessung
$I_{mess}(t)$	Gemessener Strom	Analog / Digital gemessener Strom (dargestellt im Kontinuum). Bezogen auf I1.
$U_{mess}(t)$	Gemessene Spannung	Analog / Digital gemessener Spannung (dargestellt im Kontinuum). Bezogen auf U1.
U_{rms}	Effektivspannung	Effektivspannungsmessung. Bezogen auf U1
I_{rms}	Effektivstrom	Effektivstrommessung. Bezogen auf I1.
ϕ_{Fehler}	Fehler der Phasenlagenerfassung	Fehler der Phasenlagenerfassung
CPM	Car Pad Modul	Car Pad Modul
GPM	Ground Pad Modul	Ground Pad Modul
S1	Crowbar	Kurschlusschalter
f_{sw}	Ansteuerfrequenz	Ansteuerfrequenz oder Arbeitsfrequenz des GPMs
T_{CAL}	Delay für die Leistungserfassung	Wert, der exklusiv für die Kalibrierung verwendet wird

Im Folgenden wird die Leistungsberechnung P1, S1 im Primärkreis aus dem Primärstrom I1 und der Primärspannung U1 betrachtet. Die Herleitung wird jedoch der Einfachheit halber ohne den für den Primärkreis geltenden Indizes durchgeführt. Trotz der allgemeinen Herleitung ist klar, sich diese auch auf den Primärkreis bezieht.

Die Leistungsmessung erfolgt im Primärkreis 202 auf GPM Seite mittels Messvorrichtung 301. Die Wirkleistungsmessung P_{real} oder P_{real} wird mithilfe von dem Effektivstrom I_{rms} , U_{rms} und der Phasenlage ϕ von dem Strom zur Spannung ϕ_{UI} ermittelt

$$P_{\text{real}} = P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) * i(t) \quad (\text{K1})$$

$$S_{\text{real}} = S = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T u^2(t) \cdot \int_0^T i^2(t)} = U \cdot I \quad (\text{K2})$$

$$\cos(\phi) = \frac{P}{S} = \frac{P}{U_{\text{rms}} I_{\text{rms}}} \quad (\text{K3})$$

Bei Koppelung von GPM 105 und CPM 104 wird ein zeitvariantes magnetisches Feld 106 aufgebaut. Um das Feld 106 für die induktive Kopplung zeitvariant zu machen, erzeugt die Ansteuerung 201 oder der PWM-Generator 201 ein PWM-Signal mit einem Tastverhältnis Θ . Das PWM-Signal ist ein Spannungsverlauf, wobei das Tastverhältnis Θ in die Höhe einer Spannung umgerechnet werden kann, die wiederum eine zu übertragene Leistung ergibt deren Größe mit dem Tastverhältnis in Verbindung steht. Auf diese Art und Weise lässt sich über das Tastverhältnis Θ die übertragene Leistung eines ICS-Systems steuern. Die Eingangsspannung U_{ein} oder U_{in} ist die Spannung, die der Generator 201 erzeugt und die dem Filter 200 zur Verfügung gestellt wird. Das Filter 200 generiert die Primärspannung U_1 und den Primärstrom I_1 für den Primärkreis 202. Der Primärstrom I_1 und die Primärspannung U_1 werden durch den sich bildenden lose gekoppelten Transformator 211 in den Sekundärstrom I_2 und die Sekundärspannung U_2 für den Sekundärkreis 203 transformiert. Um die Konvertierung der verschiedenen Spannungen und Ströme ineinander zu beschreiben, lassen sich verschiedene Übertragungsfunktionen definieren.

Die Übertragungsfunktion $G_{U_1, I_1}(s)$ ist die Übertragungsfunktion von Eingangsspannung U_{in} oder U_{ein} zu Primärstrom I_1 .

Die Übertragungsfunktion $G_{U_1, U_1}(s)$ ist die Übertragungsfunktion von Eingangsspannung U_{in} oder U_{ein} zu Primärspannung U_1 .

Die Übertragungsfunktion $G_{I1U1}(s)$ ist eine Übertragungsfunktion von Primärstrom I1 zu Primärspannung U1.

Die Übertragungsfunktion $G_{I1I2}(s)$ ist die Übertragungsfunktion von Primärstrom I1 zu Sekundärstrom I2.

Diese Randbedingungen und Übertragungsfunktionen zeigen wie ein großes P1/S1 Verhältnis eingestellt werden kann. Mit den Übertragungsfunktionen kann ein P1/S1 erzeugt werden kann.

Es soll gelten, dass $\|G_{I1I2}(s)\|_2 \geq 0,5$, d.h. bei maximalem Sekundärstrom I2. Ist der Betrag der Verstärkung von Primärstrom I1 zu Sekundärstrom I2 größer oder gleich dem Wert 0,5. Das Verhältnis $\|G_{I1I2}(s)\|_2$ wird für den Normalbetrieb genutzt und wird bei der Kalibrierung nicht genutzt.

$0,5 \leq \cos(\angle G_{I1U1}(s)) \leq 1$, d.h. während eine Energieübertragung des ICS-Systems 100 stattfindet, liegt der Cosinus des Winkels der Übertragungsfunktion von Primärstrom I1 zu Primärspannung U1 zwischen den Werten 0,5 und 1.

$\cos(\angle G_{I1U1}(s)) \rightarrow 0$, d.h. wenn keine Leistung auf die Sekundärseite übertragen werden kann geht der Cosinus des Winkels der Übertragungsfunktion von Primärstrom I1 zu Primärspannung U1. Fälle in denen keine Leistung auf die Sekundärseite übertragen werden kann treten beispielsweise auf wenn keine oder nur eine schlechte Kopplung zwischen GPM 105 und CPM 104 existiert, also wenn $k \rightarrow 0$ gilt oder, wenn der Ausgangswiderstand gering ist, beispielsweise bei einem Ausgangskurzschluss, also wenn $R_o \rightarrow 0$ gilt. Sollte ein solcher Zustand existieren, in dem keine Leistung auf die Sekundärseite übertragen werden kann, gilt gleichzeitig, dass die Beträge $\|G_{UinU1}(s)\|_2$ und $\|G_{UinI1}(s)\|_2$ sehr groß sind. In anderen Worten bedeutet das, dass mit einem kleinen Duty-cycle (und somit eine kleine Eingangsspannung U_{in}) sowohl ein sehr hoher RMS

(Root Mean Square) Wert im Effektivwert des Stromes I1 wie auch in der Spannung U1 erreicht wird, was zu einem sehr hohen S1 führt.

Die Regeleinrichtung 302 muss mittels der Messvorrichtung 301 die Ansteuerungsspannung U1 und den Ansteuerstrom I1 überwachen. Dieser Zustand, in dem keine Leistung auf die Sekundärseite übertragen werden kann, darf nicht lang betrieben werden, vor allem für den Fall des Ausgangskurzschlusses, insbesondere den Fall, dass $R_o = 0$. Zur Detektion solch eines Zustandes ist eine Überstromüberwachung im System 100 vorgesehen. Wenn ein Kurzschluss bei geringer Ansteuerung entsteht, wird diese Schutzfunktion umgangen und unter Umständen wird die Hardware des CPM 104 beschädigt.

Um nun vor der Startup-Phase S702 eine Kalibrierung durchführen zu können, werden mittels Messvorrichtung 301 die sinusförmigen Signale am Ausgang des Filters 200 gemessen, wenn die durch das Rechtecksignal des Generators 201 erzeugten Oberwellen mittels Filter 200 im Wesentlichen entfernt worden sind. Die Messvorrichtung 301 stellt die sinusförmigen Messsignale im Zeitbereich dar. Diese Darstellung im Zeitbereich dient im Wesentlichen nur als Beschreibung der Abhängigkeit der Messung mit den Phasenverschiebungen zwischen Strom I1 und Spannung U1. Im Zeitbereich macht sich eine Phasenverschiebung als eine Totzeit bemerkbar.

$$\begin{aligned}
 U_{mess}(t) &= U_{rms}\sqrt{2} \sin(\omega t + \phi_{U,mess}), & \phi_{U,mess} > 0 \\
 I_{mess}(t) &= I_{rms}\sqrt{2} \sin(\omega t + \phi_{I,mess} + \phi_{UI}), & \phi_{I,mess} > 0
 \end{aligned}
 \quad (K4); (K5)$$

In anderen Worten bedeutet das, dass aufgrund der Messung ein Phasenfehler oder eine fälschlich ermittelte Phasenverschiebung zwischen der realen Spannung U1 und der gemessenen Spannung U_{mess} bzw. zwischen realem Strom I1 und dem gemessenen Strom besteht. Allein durch die Messvorrichtung 301 und die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Messvorrichtung 301 wird eine Phasenverschiebung $\phi_{U,mess}$ bzw. $\phi_{I,mess}$ beobachtet, die in der Realität gar nicht existiert. Die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, welche durch das Filter 200 verursacht wird beträgt ϕ_{UI} .

Die Phasenverschiebung ϕ_{UI} zwischen $U_1(t) = U_{rms} \sqrt{2} \sin(\omega t)$ und $I_1(t) = I_{rms} \sqrt{2} \sin(\omega t + \phi_{UI})$ kann unter der Annahme, dass kein Messfehler $\phi_{U,mess}, \phi_{I,mess}, \phi_{Fehler}$ vorhanden ist, von der Messvorrichtung 301 mit zwei verschiedenen Verfahren ermittelt werden. Die Messvorrichtung kann mittels der O-Durchgangserkennung oder der Nulldurchgangserkennung vom Strom I_1 und von der Spannung U_1 die Phasendifferenz mit einem analogen Messverfahren ermitteln, indem die Messvorrichtung 301 die Zeiten der Nulldurchgänge von I_1 und U_1 bestimmt und daraus die Phasenverschiebung als Zeitdifferenz der Nulldurchgänge ermittelt. Alternativ oder zusätzlich kann die Messvorrichtung 301 die Phasendifferenz zwischen U_1 und I_1 aus dem Verhältnis aus einer kontinuierlichen Wirkleistungsmessung und Scheinleistungsmessung als $\cos(\phi_{mess})$ ermitteln, vgl. Formel (K3). In anderen Worten wird die Wirkleistung P und die Scheinleistung S gemessen und daraus der Wert für $\cos(\phi_{mess})$ ermittelt. Dieser kann nach der Phase aufgelöst werden und man erhält einen Wert für die Phase ϕ_{mess} .

Bei einer real mit der Messvorrichtung 301 durchgeführten Messung wird sich jedoch ein Messfehler der Phase gegenüber der tatsächlichen Phasenlage ergeben. Dieser Messfehler tritt in der Form von $\phi_{U,mess}, \phi_{I,mess}, \phi_{Fehler}$ auf. Unabhängig von der Wahl des Messsystems 301 oder der Messvorrichtung 301 sind bei der Erfassung der Phasenlage Verfälschungen der Phasenlage $\phi_{U,mess}, \phi_{I,mess}, \phi_{Fehler}$ durch den Einfluss der digitalen Filterung, aufgrund von Einflussfaktoren der Analog-Messtechnik, wie Bauteilstreuung oder Bauteiletoleranz, aufgrund von Einflussfaktoren der Systemkonfiguration und/oder weiteren Einflussfaktoren wie Temperatur, und Alterungseffekte möglich.

Wenn also ϕ_{mess} gemessen wird setzt sich dieser Wert zusammen aus der tatsächlichen Phasenverschiebung ϕ_{UI} zwischen Strom und Spannung, dem Phasenfehler $\phi_{I,mess}$ zwischen tatsächlicher Phase des Stromes und gemessener Phase des Stromes, dem Phasenfehler $\phi_{U,mess}$ zwischen tatsächlicher Phase der Spannung und gemessener Phase

der Spannung und einem Fehler ϕ_{Fehler} der Phasenlagenerfassung. So ergibt sich als Wert für die gemessene Phasenlage der Wert

$$\phi_{mess} = \phi_{UI} + (\phi_{I,mess} - \phi_{U,mess}) + \phi_{Fehler} \quad (K6)$$

Damit kann das Ziel erreicht werden $(\phi_{I,mess} - \phi_{U,mess}) + \phi_{Fehler} = 0$, d.h. das Kompensieren des Gesamtfehlers über $\phi_{I,mess}$ und $\phi_{U,mess}$

Einigen der Einflüsse, die zu einer fehlerhaften Phasenmessung führen, kann entgegengewirkt werden. Beispielsweise kann der Einfluss der digitalen Filterung im Wesentlichen deterministisch entfernt werden, indem beispielsweise ein Korrekturfilter eingesetzt wird. Die Einflussfaktoren der Analog-Messtechnik können geschätzt werden und dadurch entfernt werden, sie unterliegen aber einer stochastischen Streuung und können daher nicht so gut wie die Einflussfaktoren der digitalen Filterung entfernt werden. Die Einflussfaktoren der Systemkonfiguration, z.B. Impedanzänderungen bei durch nicht beabsichtigt herbeigeführte Änderungen von C_b , aber auch Änderungen in L_1 , sind schwierig zu entfernen, denn Impedanzen ändern sich bei verschiedenen Systemkonfigurationen. Durch Temperatur und Alterung können sich u.U. die Tiefpasscharakteristik der Messschaltung, die Kapazität C_b des Filters 200 und auch die Induktivität L_1 ändern. Diese Einflussfaktoren der Systemkonfiguration können sich von ICS-System 100 zu ICS-System 100 unterscheiden, selbst wenn die ICS-system 100 gleicher Bauart sind. Diese Einflussfaktoren der Systemkonfiguration können jedoch mittels Kalibrierungsmaßnahmen weitestgehend eliminiert werden. Unabhängig von der Fehlerquelle wird über bekannte Systemzusammenhänge der Gesamtfehler korrigiert.

Diese Einflüsse sind geschätzt und werden in einer gerätunabhängigen Konstante „Default Kalibrierungswert Phasenlage“ ϕ_{cal} , charakterisiert. Hierbei gibt es einen Default-Wert als Referenz, der für alle Systeme 100 gleich ist. Die Systeme 100 kalibrieren sich bei jedem Ladestart in der Kalibrierungsphase S602 von selbst mit der erwähnten Methodik und zwar rekursiv, d.h. immer anhand vom letzten eingestellten Kalibrierungswert aus dem letzten Ladezyklus S603.

Aufgrund der Fehler bei der Bestimmung der Phasenlage, kann man sich nicht sicher sein, ob die Werte mit denen die Messvorrichtung 301 und die Regeleinrichtung 302 arbeiten, auch den tatsächlichen Werten entspricht, und dies sowohl in den Phasen des Startup-Vorgangs S702, S703 als auch der daran anschließenden Übertragungsleistungsregelung in der Phase S705 also während der Phase des induktiven Ladens S603. Das Voranstellen der Kalibrierungshase S602 kann daher ein genaues induktives Laden ermöglichen, da es im Wesentlichen dazu beiträgt Messfehler zu vermeiden.

Fig. 11 zeigt eine Detailansicht der Messvorrichtung 301 mit der Primärmessvorrichtung 301p oder Primärmesseinrichtung 301p gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Die Primärmessvorrichtung 301p zum Messen einer aktuellen Wirkleistung P , P_1 in einem Primärkreis 202 eines Energieübertragungssystems 100 weist eine Auswerteeinrichtung 1101 und eine Kalibriereinrichtung 1102. Die Auswerteeinrichtung 1101 weist einen Messanschluss zum Erfassen eines Stroms I_{mess} , einer Spannung U_{mess} und einer gemessenen Phasenverschiebung ϕ_{mess} zwischen Strom I_{mess} und Spannung U_{mess} in dem Primärkreis 202 auf. Der Strom I_{mess} wird über den Eingang i_1 der Messvorrichtung 301 gemessen. Die Auswerteeinrichtung 1101 und die Kalibriereinrichtung 1102 sind miteinander verbunden und die Auswerteeinrichtung 1101 ist weiter zum Durchführen einer Leistungsmessung durch Auswerten des erfassten Stromes I_{mess} und der erfassten Spannung U_{mess} eingerichtet. Die Kalibriereinrichtung 1102 ist ferner zum Korrigieren des erfassten Stroms I_{mess} und/oder der erfassten Spannung U_{mess} über den $\cos(\cdot)$ -Wert der erfassten Phasenverschiebung ϕ_{mess} zwischen erfasstem Strom I_{mess} und erfasster Spannung U_{mess} eingerichtet. Die Auswerteeinrichtung 1101 ist zum Berechnen eines Leistungswertes mit dem korrigierten Wert I_{korr} des erfassten Stroms und/oder mit dem korrigierten Wert U_{korr} der erfassten Spannung eingerichtet und die Kalibriereinrichtung 1102 ist zum Bereitstellen des berechneten Leistungswerts als aktuelle Wirkleistung P_{korr} eingerichtet. P_{korr} ergibt sich aus ϕ_{korr} . Wenn die Phase korrigiert ist, dann ist auch die Leistung korrigiert; $P_{\text{korr}} = I_{\text{rms}} * U_{\text{rms}} * \phi_{\text{korr}}$

Die Spannung $U(t)$ und der Strom $I(t)$, insbesondere $U_1(t)$ und $I_1(t)$ im Primärkreis 202, werden mit einer hohen Abtastrate von beispielsweise 1MHz gesampelt. Die Frequenzen der Signale $U(t)$ und $I(t)$ liegen in einem zulässigen Bereich zwischen 81.35kHz bis 90kHz, dem zugelassenen Frequenzband für ICS-Systeme. Die Phasenverschiebung

ϕ_{mess} wird gemäß Formel (K3) aus $\cos(\phi) = \frac{P}{S}$ ermittelt. Diese Phasenverschiebung ϕ_{mess}

beinhaltet alle Phasenverschiebungen des Systems nämlich die Phasenverschiebung zwischen realer und gemessener Spannung $\phi_{U,\text{mess}}$, die Phasenverschiebung zwischen realem und gemessenem Strom $\phi_{I,\text{mess}}$ und die tatsächlich vorhanden

Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung ϕ_{UI} . Bei diesen

Phasenverschiebungen handelt es sich um Verzögerungen verursacht durch die

Hardware des ICS-Systems 100, insbesondere um Verzögerungen durch die digitalen und analogen Baugruppen (Analoge und Digitale Group Delays) des ICS-Systems 100.

Die gemessene Leistung P_{mess} ist von diesen Group-Delays abhängig und wird durch die Group-Delays verfälscht. Diese Verfälschung soll durch die Kalibriereinrichtung 1102 korrigiert werden. Mit den Group-Delays werden ϕ und damit P auch korrigiert.

Die Primärmessvorrichtung 301p berechnet den korrigierten Wert I_{korr} des erfassten Stroms aus dem erfassten Wert des Stroms I_{mess} unter der Berücksichtigung eines Verzögerungswertes T_{CAL} , der von der erfassten Phasenverschiebung ϕ_{mess} abgeleitet worden ist.

ϕ_{mess} ist die gemessene Phasenverschiebung zwischen gemessenem Strom I_{mess} und gemessener Spannung U_{mess} in dem Primärkreis 202.

$$I_{\text{korr}} = I_{\text{mess}} - \frac{\Delta T_{\text{PhaseShift}}}{50 \text{ ns}} \quad (\text{K7})$$

$$\Delta T_{PhaseShift} = \frac{\left(\cos^{-1}(\cos \phi) - \frac{\pi}{2} \right) * 11,11 \mu s}{2\pi} \quad (K8)$$

$\Delta T_{PhaseShift}$ wird iterativ zu T_{cal} hinzugefügt, d.h. $T_{cal,k} = \Delta T_{PhaseShift} + T_{cal,k-1}$

Dieses Prinzip sorgt für eine Kalibrierung der Leistung bei geringen Leistungen. Bei großen Leistungen können die Abweichungen grösser sein. Jedoch ist die Regelung der kleinen Leistungen schwieriger in einem ICS System 100, wobei festgestellt werden muss, ob ein Arbeitspunkt gefunden ist und die Mindestleistung an der Ausgangsseite 220 geregelt werden muss.

In den Gleichungen (K7) und (K8) sind Randbedingungen gewählt, die die Systemausführung des ICS-Systems 100 charakterisieren. Eine Kalibrierung, also die Bestimmung und Berücksichtigung eines Verzögerungswertes T_{CAL} einer Phasenverschiebung, kann bei jeder Frequenz des zulässigen Frequenzbereichs zwischen 81.35kHz bis 90kHz durchgeführt werden. In einem Beispiel wird zur Bestimmung des Wertes der Kalibrierung mittels Regler 302 ein Arbeitspunkt des ICS-Systems 100 eingestellt, bei dem die Wirkleistung sehr viel kleiner als die Scheinleistung ist, in dem also gilt $P \ll S$, insbesondere $P1 \ll S1$. In diesem spezifischen Arbeitspunkt

beträgt der Cosinus-Wert der Phasenverschiebung Null $\cos(\phi) = \frac{P}{S} = 0$, so dass

angenommen werden kann, dass die erfassten Messwerte I_{mess} , U_{mess} auch den realen Messwerten entsprechen.

Es kann somit als eine Idee der Kalibrierung angesehen werden, alle Phasendrehungen oder Phasenverschiebungen, die innerhalb eines gemessenen $\cos(\phi_{mess})$ vorhanden sind, dadurch zu kompensieren, dass eine Gruppenlaufzeit zu einem Messwert von I oder zu einem Messwert von U hinzugefügt wird, um die fehlerhafte Phasendrehung auszugleichen. Für diesen Ausgleich wird in einem digitalen Teil der Messvorrichtung 301 eine Sample-Hold-Einrichtung 1103 vorgesehen.

Diese Kalibrierung kann für einen bereitgestellten Sollwert einer Leistungsregelung 302 vorgenommen werden. In anderen Worten ausgedrückt kann dem Regler 302 durch die Soll-Wert-Vorgabeeinrichtung 304 ein Sollwert P_{soll} vorgegeben werden, indem bereits die Kalibrierung berücksichtigt ist. Alternativ kann aber auch der Messwert in der Messvorrichtung mittels der Kalibrierung bereinigt werden, so dass die Soll-Wert-Vorgabeeinrichtung 304 mit realen Werten arbeiten kann und keine Phasenfehler berücksichtigen muss.

Die Sample-Hold-Einrichtung 1103 der Primärmessvorrichtung 301p kann zur Berücksichtigung des Verzögerungswertes T_{CAL} eingerichtet sein, um die fehlerhafte Phasendrehung in einem Messsignal auszugleichen.

Die Sample-Hold-Einrichtung 1103 kann eine Laufzeit in der Hardware der Primärmessvorrichtung 301p berücksichtigen, also eine Laufzeit, die durch die Laufzeit eines Signals durch die Hardware der Primärmessvorrichtung 301p entsteht. Die Phasenverschiebungen entstehen aufgrund von der Messtechnik, insbesondere aufgrund der Laufzeit durch die Messmodule der Primärmessvorrichtung 301p. Diese Phasenverschiebungen werden in eine Gruppenlaufzeit umgerechnet und als Kalibrierungswert in Form einer Gruppenlaufzeit bereitgestellt. Die Gesamtgruppenlaufzeit T_{cal} oder gesamte Phasenverschiebung ϕ_{cal} des gemessenen Signals zum realen Signal beinhaltet eine systematische Phasendrehung durch die Schaltungsauslegung, z.B. Trafos und durch zusätzliche Systemkorrekturen.

Die Primärmessvorrichtung 301p kann in einem Ground Pad Modul 105 integriert sein. Das GPM 105 arbeitet als autonomes System und kann die Kalibrierung ohne ein CPM 103 vorzunehmen. Es ist aber alternativ auch möglich, mit einem CPM 103 für die Bestimmung eines Kalibrierungswertes zu kooperieren. Die Komponenten der Messvorrichtung 301, die für die Kalibrierung genutzt werden, sind auf dem GPM 105 vorhanden. Die Kalibrierung basiert nur auf primärseitigen Messungen von den Messgrößen, die auf der Primärseite vorhanden sind, P1, S1, I1, U1. Die Größen R0 und

Pout werden von der Kalibrierung nicht genutzt, dienen nur zur Veranschaulichung des Kalibrierungsverfahrens

Fig. 12 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Bestimmen eines Kalibrierungsfaktors für eine Messung einer Wirkleistung in einem Primärkreis 202 eines Energieübertragungssystems 100 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Dieses Verfahren wird im Wesentlichen bei jedem Ladevorgang bevor mit dem Laden begonnen zum Ermitteln des Kalibrierungsfaktors ausgeführt. Das Auffinden des Kalibrierungsfaktors erfolgt in der Kalibrierungsphase S602 eines Ladevorgangs. Es kann auch ein Schalter vorgesehen sein, mit dem das Durchführen der Kalibrierungsphase S602 ab- und angeschaltet werden kann.

Das Verfahren zum Bestimmen eines Kalibrierungsfaktors für eine Messung einer Wirkleistung in einem Primärkreis 202 eines Energieübertragungssystems 100 startet in einem Idle-Zustand S1201. Es sieht im Zustand S1202 das Einstellen eines vorgebbaren Arbeitspunktes durch Einstellen einer vorgebbaren Eingangsspannung und einer vorgebbaren Arbeitsfrequenz vor. Das Verfahren weist ferner im Zustand S1203 das Erzeugen eines Leistungsverhältnisses mit einer geringen Wirkleistung und einer hohen Scheinleistung in diesem Arbeitspunkt auf. Bevor das Verfahren im Idle-Zustand S1205 endet, erfolgt im Zustand S1204 das Bestimmen des Kalibrierungsfaktors als Phasenverschiebung ϕ_{cal} und/oder als Haltezeit T_{cal} . Dieser Kalibrierungsfaktor kann dann in der nachfolgenden Ladephase S603 des ICS-Systems berücksichtigt werden, um Messfehler auszugleichen.

Fig. 13 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Kalibrieren eines Messwerts gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Dieses Verfahren kann genutzt werden einen Kalibrierungsfaktor während einer nachfolgenden Messphase, beispielsweise in der nachfolgenden Ladephase S603, zu nutzen, um Messfehler zu eliminieren. Wenn der Kalibrierungsfaktor eingestellt ist, kann er während sämtlicher nachfolgender Messungen berücksichtigt werden. Auf diese Art und Weise kann ein GPM 105 und/oder ein ICS-System 100 kalibriert werden.

Das Verfahren zum Kalibrieren eines Messwerts beginnt im Idle-Zustand S1301. Im nachfolgenden Zustand S1302 erfolgt das Erfassen eines Stroms I_{mess} , einer Spannung U_{mess} und einer gemessenen Phasenverschiebung ϕ_{mess} zwischen Strom I_{mess} und Spannung U_{mess} in einem Primärkreis 202. Im Zustand S1303 erfolgt das Durchführen einer Leistungsmessung durch Auswerten des erfassten Stromes I_{mess} und der erfassten Spannung U_{mess} . Im Zustand S1304 erfolgt das Korrigieren des erfassten Stroms I_{mess} und/oder der erfassten Spannung U_{mess} über den $\cos()$ -Wert der erfassten Phasenverschiebung ϕ_{mess} zwischen erfasstem Strom I_{mess} und erfasster Spannung U_{mess} und/oder über eine Haltezeit T_{cal} und das Berechnen eines Leistungswertes mit dem korrigierten Wert I_{korr} des erfassten Stroms und/oder dem korrigierten Wert U_{korr} der erfassten Spannung. Im Zustand S1305 erfolgt das Bereitstellen des berechneten Leistungswerts als aktuelle Wirkleistung $P_{\text{korr}^{\text{bevor}}}$ das Verfahren im Idle-Zustand S1306 endet.

Die Kalibrierung der Leistung wird mithilfe der Erfassung des Kalibrierungsfaktors in der Form der Phasenlage bei einem Arbeitspunkt mit dem folgenden prinzipiellen Vorgehen ermittelt.

Mittels der Regeleinrichtung 302 wird eine vordefinierte Eingangsspannung und eine Arbeitsfrequenz eingestellt. Hierzu wird eine Vorsteuerung ohne Feedback-Loop 101 genutzt. In anderen Worten wird bei einer Vorsteuerung ohne Feedback Loop eine Einstellung der Steuerkurven PWM x/y 1401, 1402 über die Parameter der Phasenverschiebung von x zu y und gemeinsamer PWM Frequenz, d.h. gleiche Frequenz für PWMx/y mit 50% PWM-X Duty-cycle und 50% PWM-Y Duty-cycle vorgenommen, wie in Fig. 14 durch die Signale 1401 1402 dargestellt. Die Frequenz und die Phase werden gestellt, gesteuert oder variiert, bis eine Mindestleistung am Eingang 206 des Filters für die Regelung gemessen werden kann. Somit ergibt sich der Verlauf der Eingangsspannung $U_{\text{e,in}}$ 1403 oder U_{in} .

Das mag bedeuten, dass hierfür das GPM 105 autark arbeiten kann, ohne dass ein CPM 104 benötigt wird. Es ist somit ausreichend zum Einstellen der vordefinierten Eingangsspannung und einer Arbeitsfrequenz das GPM 105 mittels Regeleinrichtung 302 lokal zu definieren, ohne einen Einfluss des CPM 104 berücksichtigen zu müssen.

Die Wirkleistung des Primärkreises 202 wird dann mittels Regeleinrichtung 302 so eingestellt, dass die Wirkleistung gering oder im Bereich von 0 W liegt mit einer wesentlich größeren Scheinleistung gegenüber der Blindleistung, so dass gilt $P \ll S$. Dieser große Unterschied zwischen Scheinleistung und Blindleistung kann unter Einbeziehung des CPM 104 aber auch autark von dem GPM 105 alleine durch eine Systemkonfiguration des GPM 105 eingestellt werden.

Das Einstellen der Eigenschaft, dass im Primärkreis 202 der GPM 105 gilt, dass $P \ll S$ lässt sich mithilfe des CPM erreichen, indem das CPM 104 einen Zustand einstellt, in dem die Last 205, d.h. R_0 oder R_{Last} minimiert wird, so dass gilt $R_{Last} \rightarrow 0\Omega$.

Zum Minimieren der Last an dem CPM 104 kann das CPM 104 die Last 205 auf der Sekundärseite kurzschließen, so dass $R_0 = 0$ gilt, insbesondere dass die Impedanz Z_0 eine reelle Last ist und diese gegen Null geht. Ein Kurzschluss der Last 205 kann mittels der in der CPM 104 vorhandenen Crowbar 401 herbeigeführt werden, welche den Schalter S1 aufweist. Wird die Crowbar 401 gesperrt, d.h. S1 wird geschlossen, ist die Last am Ausgang des CPM 104 im Wesentlichen kurzgeschlossen und liegt nahe Null. Wenn keine Wirkleistung P2 auf der Sekundärseite 203 fließen kann, dann ist die Leistung im Primärkreis 202 $P1 = 0$ bei einer beliebigen Scheinleistung S1. Außerdem sind Strom I und Spannung U im Primärkreis um 90° phasenverschoben. Diese Methode der Reduktion der Wirkleistung gegenüber der Scheinleistung so dass $P \ll S$ gilt unter Einbeziehung des CPM 104 ist unabhängig von den Eigenschaften vom Schwingkreis 211 und dessen Parameter k, L1, L2 sowie von den Spannungen $U_{e,in}$ oder U_{in} am Eingang des Filters 200 und U1 bzw. U_{Batt} des Systems 100.

Das Einstellen der Eigenschaft, dass im Primärkreis 202 des GPM 105 gilt: $P \ll S$, lässt sich alternativ auch im Wesentlichen ohne Einstellungen an dem CPM 104 vornehmen zu müssen erreichen, indem in dem GPM 105 eine spezifische Systemkonfiguration vorgenommen wird. Hierfür stellt die Regeleinrichtung 302 eine Phasenverschiebung zwischen den Signals PWMx 1401 und PWMy 1402 des PWM Generators 201 ein, woraus sich ein Tastverhältnis des resultierenden PWM Signals 1403 ergibt, so ein, dass

sich eine Eingangsspannung $U_{e_{in}}$ oder U_{in} einstellt, aber sich noch keine Wirkleistung aufbauen kann. Die Eingangsspannung wird somit nur durch die Phasenverschiebung gestellt und durch Tastverhältnis Θ von resultierende PWM Signal. Die Frequenzverstellung sorgt für eine hohe Scheinleistung zu Wirkleistung. Das System wird mit einer Frequenz eingestellt, die weitem über der Resonanzfrequenz liegt. Durch diese Verschiebung ergibt sich eine hohe Scheinleistung zu Wirkleistung.

Das System, insbesondere das GPM 105, braucht bei sehr geringen Leistungen einen sehr hohen Anteil an Blindleistung und man kann $P \rightarrow 0$ bzw. $P \ll S$ annehmen. Das ist systembedingt durch die Ansteuerung dieses Wandlers in der ICS Topologie, gemäß Fig. 4. Eine geringe Leistung wird bei einer hohen Frequenz gestellt.

Durch die Eingangsspannung $U_{e_{in}}$ oder U_{in} und die Frequenz wird ein Arbeitspunkt bestimmt. Dieser Arbeitspunkt ist systemspezifisch oder konfigurationsspezifisch zu wählen. Dazu kann man u.U. den CPM-Strom (Batteriestrom) als Feedbackquelle nutzen.

Da bei einem ICS-System der Ladevorgang erst nach Koppelung von CPM und GPM gestartet wird, ist eine weitere Möglichkeit um $P \ll S$ zu erfüllen nicht implementiert. Diese Methode sieht die Manipulation des Schwingkreises vor, wobei der Schwingkreis so manipuliert wird, dass der Koppelfaktor k sehr klein wird und dass gilt $k \rightarrow 0$. Um diese Manipulation vorzunehmen müsste die Lage von CPM und GPM nicht vom Fahrzeug definiert werden und müsste beim Laden beeinflussbar sein.

Es wäre eine denkbare Anwendung für andere Systeme. Beispielsweise könnte durch ein bewegtes System das CPM von der GPM weit weg verschoben werden und in dem GPM ein Strom gestellt werden. Die Kopplung nimmt mit dem Abstand in der Höhe (z-Abstand) von Spule zu Spule ab. Dies könnte für Systeme genutzt werden, die das Auto kontrollieren können und erst ein Feld aufbauen dürfen, wenn ein Auto sich über der Ladekomponente befindet und für die funktionale Sicherheit kein Feldaufbau ohne CPM Anforderung zugelassen ist.

Es ergibt sich bei dem Einstellen eines Arbeitspunktes mit einer konkreten Stellspannung U_{in} und einer Ansteuerfrequenz f_{sw} folgender Zusammenhang für den Kalibrierungswert der Phasenlage ϕ_{cal} :

$$\phi_{cal} = \frac{\pi}{2} - \phi_{mess} - \phi_{cal,DEF} \quad (K9)$$

Wie weiter oben ausgeführt kann die Phasenverschiebung mithilfe einer Nulldurchgangserkennung von Strom und Spannung analog als Zeitwert ermittelt werden

oder als $\cos(\phi) = \frac{P}{S}$ bei einer kontinuierlichen Wirk- und Scheinleistungsmessung gemäß

Formel (K3). Die Phasenverschiebung ϕ_{cal} kann bei einer Nulldurchgangserkennungsmessung additiv hinzugefügt werden. Bei einer Erfassung von der Wirkleistung mithilfe einer kontinuierlichen Messung kann eine Gruppenlaufzeit dynamisch mit einer Haltezeit T_{cal} gesteuert werden. Eine dynamische Gruppenlaufzeit ist durch die Haltezeit bestimmt. Die Haltezeit T_{cal} ist an einer bestimmten Arbeitsfrequenz gerechnet worden z.B. bei der Startfrequenz $f_{start} = 90\text{kHz}$. Da die Phase korrigiert werden soll, muss die Zeit mit der aktuellen Ansteuerfrequenz korrigiert werden. Die untere Rechnung zeigt die Berechnung der Korrektur. Ein System muss diese Korrekturmaßnahme jedoch nicht unbedingt haben, da mit einem konstanten Wert von T_{cal} ($f = 90\text{kHz}$) gerechnet werden kann. Wenn die Korrektur vorgesehen ist, kann die Messung genauer gemacht werden.

In anderen Worten kann je nach eingesetztem Verfahren zur Phasenverschiebungsmessung der Kalibrierungsfaktor T_{cal} oder ϕ_{cal} bestimmt werden:

$$T_{CAL}(i_{mess}(t)) = \phi_{cal} \frac{f_{sw}}{2\pi}, T_{CAL}(u_{mess}(t)) = 0; \phi_{cal} \geq 0$$

$$T_{CAL}(u_{mess}(t)) = \phi_{cal} \frac{f_{sw}}{2\pi}, T_{CAL}(i_{mess}(t)) = 0; \phi_{cal} < 0$$

(K10), (K11)

In den Formeln (K10), (K11) sind die Werte, auf die Phasenverschiebung bezogen ist 0. So ist in (K10) die Spannung der Bezug für die Phasendifferenz des Stroms und in (K11) der Strom der Bezug für die Phasendifferenz der Spannung.

Zur Bestimmung der einzelnen Messwerte in dem ICS-System 100 und insbesondere in dem GPM 105, werden die GPM Signale oder Trafosignale U1 und I1 mittels der Messvorrichtung 301 abgetastet. In einem Beispiel nutzt die Messvorrichtung 301 eine Abtastrate oder Samplingrate von 1MHz, um die Trafo Signale abzutasten. Diese Abtastrate ist für Signale mit 80kHz – 90kHz ausreichend.

Die Messvorrichtung 301 erfasst durch eine Momentanwerterfassung die Trafo-Signale U1 und I1 des Primärkreises 202 und berechnet daraus die Wirkleistung P1. Die Wirkleistung berechnet sich bei der Momentanwerterfassung durch

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t + T_{CAL}(u)) * i(t + T_{CAL}(i)) \quad (K12)$$

Hierin wird der zuvor ermittelte Kalibrierungsfaktor Tcal berücksichtigt, um Messfehler bei der Berechnung der Leistung zu eliminieren. Für die Kalibrierung wird Sample and Hold oder einfache Addition genutzt. Die Addition von Tcal ist mathematisch in (K12) abgebildet. Die Scheinleistung ist zeitunabhängig oder winkelunabhängig. Die Phasenverschiebung ist nicht relevant, wie aus (K13) hervorgeht.

Die Scheinleistung ergibt sich durch:

$$S = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T u^2(t) \cdot \int_0^T i^2(t)} = U \cdot I \quad (K13)$$

Wie bereits ausgeführt ist für die Ermittlung eines Kalibrierungsfaktors für die Leistungsmessung das Einstellen eines großen Unterschieds zwischen Wirk- und Scheinleistung vorgesehen $P \ll S$. Dieser große Unterschied zwischen Scheinleistung und Blindleistung kann unter Einbeziehung des CPM 104 aber auch autark von dem GPM 105 alleine durch eine Systemkonfiguration des GPM 105 eingestellt werden.

Bei der Variante, bei der das CPM 104 eines Fahrzeugs einbezogen wird, wird ein Kurzschluss auf dem CPM generiert. Für das Einstellen des Kurzschlusses kommuniziert das CPM 104 mit dem GPM 105 über den Kanal 101. Dabei signalisiert das CPM dem GPM, dass das CPM geladen werden möchte. In einem anderen Beispiel könnte auch die GPM 105 den Ladevorgang starten.

Dieses Signalisieren kann den Ladevorgang durch Leistungsübertragung vom GPM zum CPM auslösen. Um das Laden zu beginnen kann das CPM dem GPM einen Ladebefehl übertragen. Das CPM 104 hält die Crowbar nach Absetzen des Ladebefehls im Zustand „Crowbar geschlossen“, in dem der Schalter S1 geschlossen ist um die Batterie 205 und/oder den Zwischenkreis 205 vom Fahrzeug vom Sekundärschwingkreis 203 mittels eines Kurzschlusses zu trennen. Dieser Zustand wird auch über die Kommunikationsschnittstelle 101 dem GPM 105 zugestellt. Da das GPM noch nicht lädt, meldet es noch einen Zustand „Kalibration-Anhängig“, während dem die Kalibrierung des GPM 105 durchgeführt wird.

Das GPM verwendet eine Vorsteuerungseinrichtung auf dem Regler 302, um einen Arbeitspunkt bei einer definierten Eingangsspannung U_{in} , mit einer definierten Arbeitsfrequenz $f_{sw,cal}$ und in diesem Arbeitspunkt eine Scheinleistung S aufzubauen. Hierbei bedeutet cal im Index, die Ansteuerfrequenz, bei der die Kalibrierung durchgeführt wird, zB. 90kHz.

Das CPM 104 wird mittels einer entsprechenden Signalisierung von dem GPM 105 über Kanal 101 informiert, dass die Kalibrierung der Wirkleistung abgeschlossen ist, d.h. dass die Ermittlung des Kalibrierungsfaktors und Einstellung der Korrekturmaßnahmen in Messeinrichtung 301 erfolgt sind. Nach Erhalt dieser Fertigmeldung öffnet das CPM 104

die Crowbar 401 und wechselt in den Zustand „Crowbar open“ und signalisiert an das GPM zurück, dass die Crowbar 401 geöffnet ist.

Mit den ermittelten Delay-Zeiten oder Kalibrierungsfaktoren können dann in Abhängigkeit von der Ansteuerfrequenz f_{sw} oder Arbeitsfrequenz f_{sw} des GPMs angepasst werden

$$T_{CAL,DYN} = T_{CAL} \frac{f_{sw,CAL}}{f_{sw}} \quad (K17)$$

Das GPM 105 schließt damit die Kalibrierungsphase S602 ab und geht in den Ladebetrieb S603 über. Während des Ladebetriebs S603 stellt das GPM 105 die Wirkleistung P1 des ICS-Systems 100 anhand von der Messung mit den ermittelten zusätzlichen Delays $T_{cal}(i)$ und $T_{cal}(u)$ ein.

Bei der Variante, bei der eine Systemkonfiguration oder eine Systemanalyse vorgenommen wird, um eine Kalibrierung durchzuführen, wird die Steuerung der Crowbar in den Kurzschluss nicht durchgeführt oder weggelassen. Die Crowbar bleibt somit während dieses Kalibrierungsvorgangs außer Betrieb. Da jedoch die Crowbar nicht aktiviert wird, muss der Zustand P<<S auf eine andere Weise hergestellt werden.

Die relevanten Übertragungsfunktionen werden für alle Betriebszustände des Geräts ermittelt. Es wird nach der maximalen Ansteuerungsspannung $U_{ein,max}$ gesucht, bei der bei einem überresonanten Betrieb ($f_{sw} = f_{sw,c}$) weniger als 50W von dem GPM 105 zu dem CPM 104 übertragen werden können unter Berücksichtigung aller Kopplungswerte k , aller Induktivitätswerte und Ausgangsspannungswerte U_{Batt} , welche durch Z_0 definiert werden. Folglich wird die Bedingung P<<S angenähert. Somit wird indirekt der Realanteil von der Ersatzimpedanz Z_0 auch so klein, dass dieses Verhalten einem Kurzschluss der Crowbar gleichgesetzt werden kann und ein ähnliches Verfahren wie bei der Variante, bei der die CPM und insbesondere die Crowbar mitverwendet wird, um die Kalibrierung durchzuführen, ausgeführt werden kann. Die Induktivitätswerte L_1 , L_2 können beispielsweise in einer Parkposition variieren. Diese Vorgaben können bei der

Dimensionierung und Auslegung des ICS-Systems berücksichtigt werden. Die Phasenverschiebung und Ansteuerfrequenz der Kalibrierung wird so gewählt, so dass bei allen Parkpositionen und Batteriespannungen, diese Parameterkombinationen zu einem sehr kleinen P1/S1 Verhältnis führt.

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass „umfassend“ und „aufweisend“ keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließt. Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

Patentansprüche

1. Primärmessvorrichtung (301p) zum Messen einer aktuellen Wirkleistung (P , P_1) in einem Primärkreis (202) eines Energieübertragungssystems (100), aufweisend:
 - eine Auswerteeinrichtung (1101);
 - eine Kalibriereinrichtung (1102);wobei die Auswerteeinrichtung (1101) einen Messanschluss zum Erfassen eines Stroms (I_{mess}), einer Spannung (U_{mess}) und einer gemessenen Phasenverschiebung (ϕ_{mess}) zwischen Strom (I_{mess}) und Spannung (U_{mess}) in dem Primärkreis (202) aufweist;
 - wobei die Auswerteeinrichtung (1101) und die Kalibriereinrichtung (1102) miteinander verbunden sind;
 - wobei die Auswerteeinrichtung (1101) weiter zum Durchführen einer Leistungsmessung durch Auswerten des erfassten Stromes ($I_{1\text{mess}}$) und der erfassten Spannung (U_{mess}) eingerichtet ist;
 - wobei die Kalibriereinrichtung (1102) zum Korrigieren des erfassten Stroms (I_{mess}) und/oder der erfassten Spannung (U_{mess}) über den $\cos()$ -Wert der erfassten Phasenverschiebung (ϕ_{mess}) zwischen erfasstem Strom ($I_{1\text{mess}}$) und erfasster Spannung (U_{mess}) und/oder über eine Haltezeit (T_{cal}) eingerichtet ist;
 - wobei die Auswerteeinrichtung (1101) zum Berechnen eines Leistungswertes mit dem korrigierten Wert (I_{korr}) des erfassten Stroms und/oder dem korrigierten Wert (U_{korr}) der erfassten Spannung eingerichtet ist; und
 - wobei die Kalibriereinrichtung (1102) zum Bereitstellen des berechneten Leistungswertes als aktuelle Wirkleistung (P_{korr}) eingerichtet ist .
2. Primärmessvorrichtung (301p) nach Anspruch 1, wobei sich der korrigierte Wert des erfassten Stroms (I_{korr}) aus dem erfassten Wert des Stroms (I_{mess}) unter der Berücksichtigung eines Verzögerungswertes (T_{CAL}) ergibt, der von der erfassten Phasenverschiebung (ϕ_{mess}) abgeleitet worden ist.
3. Primärmessvorrichtung (301p) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Kalibrierung für einen bereitgestellten Sollwert einer Leistungsregelung vorgenommen wird.

4. Primärmessvorrichtung (301p) nach einem der Ansprüche 2 bis 3, weiter aufweisend:
eine Sample-Hold-Einrichtung (1103);
wobei die Sample-Hold-Einrichtung zur Berücksichtigung des Verzögerungswertes (T_{CAL}) eingerichtet ist.
5. Primärmessvorrichtung (301p) nach Anspruch 4, wobei die Sample-Hold-Einrichtung (1103) eine Laufzeit in der Hardware der Primärmessvorrichtung berücksichtigt.
6. Ground Pad Modul (105) mit einer Primärmessvorrichtung (301p) nach einem der Ansprüche 1 bis 5.
7. Verfahren zum Bestimmen eines Kalibrierungsfaktors für eine Messung einer Wirkleistung in einem Primärkreis (202) eines Energieübertragungssystems (100), aufweisend:
Einstellen eines vorgebbaren Arbeitspunktes durch Einstellen einer vorgebbaren Eingangsspannung und einer vorgebbaren Arbeitsfrequenz;
Erzeugen in diesem Arbeitspunkt eines Leistungsverhältnisses mit einer geringen Wirkleistung und einer hohen Scheinleistung;
Bestimmen des Kalibrierungsfaktors als Phasenverschiebung (ϕ_{cal}) und/oder als Haltezeit (T_{cal}) zur bekannten Referenz. (ϕ_{ref})
8. Verfahren zum Kalibrieren eines Messwerts, aufweisend:
Erfassen eines Stroms (I_{mess}), einer Spannung (U_{mess}) und einer gemessenen Phasenverschiebung (ϕ_{mess}) zwischen Strom (I_{mess}) und Spannung (U_{mess}) in einem Primärkreis (202);
Durchführen einer Leistungsmessung durch Auswerten des erfassten Stromes (I_{mess}) und der erfassten Spannung (U_{mess});
Korrigieren des erfassten Stroms (I_{mess}) und/oder der erfassten Spannung (U_{mess}) über den $\cos()$ -Wert der erfassten Phasenverschiebung (ϕ_{mess}) zwischen erfasstem Strom (I_{mess}) und erfasster Spannung (U_{mess}) und/oder über eine Haltezeit (T_{cal});
Berechnen eines Leistungswertes mit dem korrigierten Wert (I_{kor}) des erfassten Stroms und/oder dem korrigierten Wert (U_{kor}) der erfassten Spannung;

Bereitstellen des berechneten Leistungswerts als aktuelle Wirkleistung (P_{korr}).

9. Computerlesbares Speichermedium, in dem ein Programm gespeichert ist, das, wenn es von einem Prozessor ausgeführt wird, das Verfahren nach Anspruch 7 oder 8 auszuführen.
10. Programm-Element, das, wenn es von einem Prozessor ausgeführt wird, das Verfahren nach Anspruch 7 oder 8 ausführt.

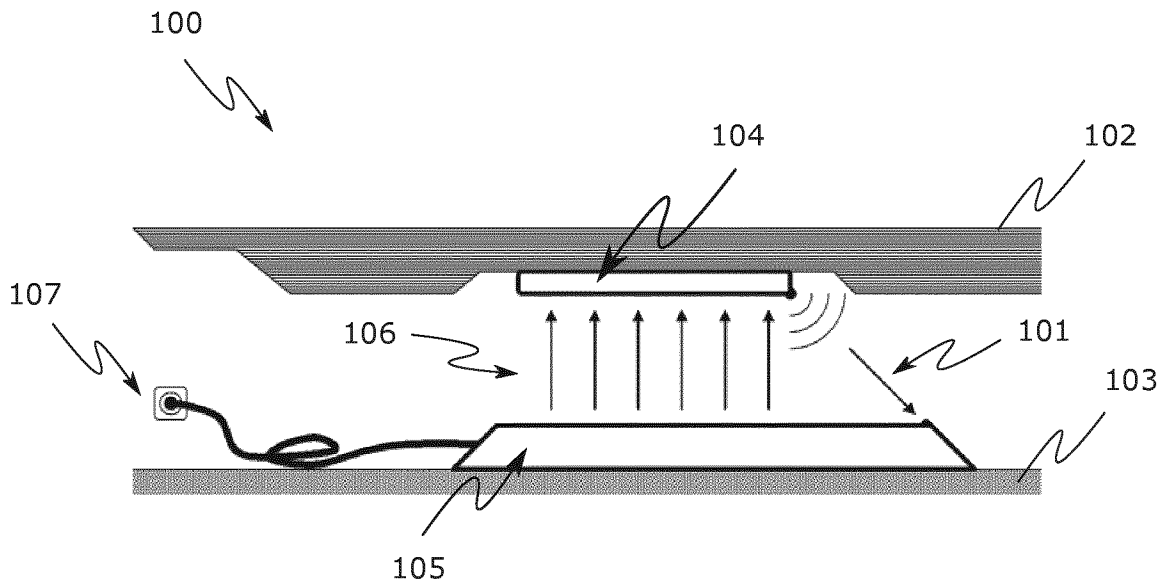


Fig. 1

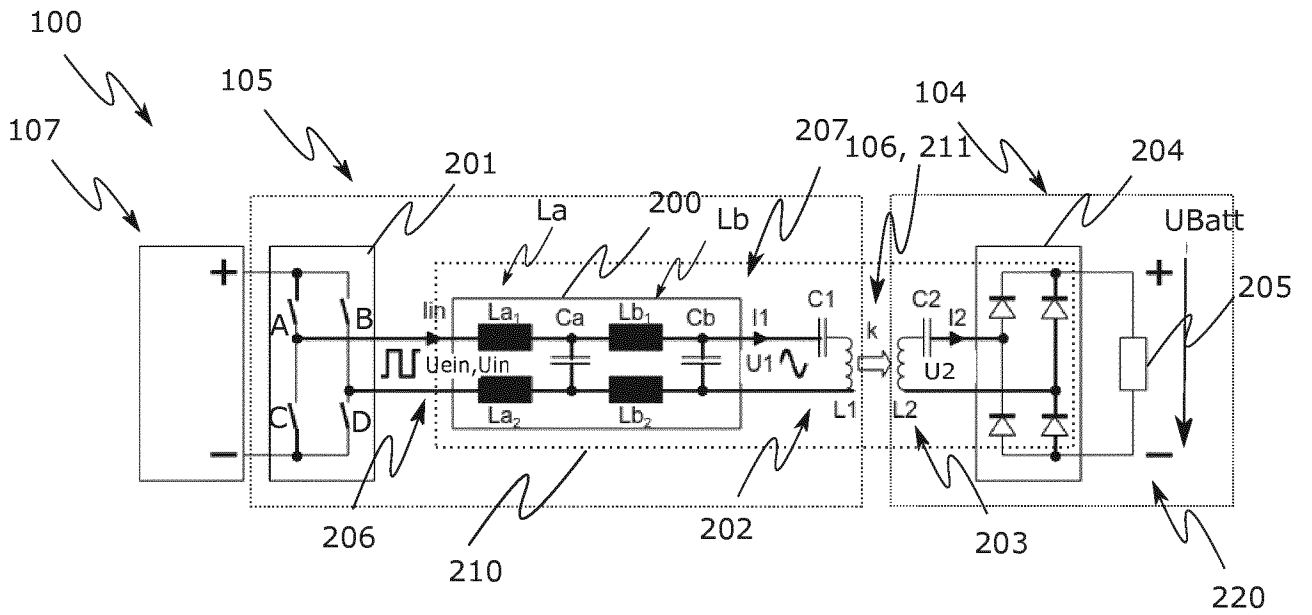


Fig. 2

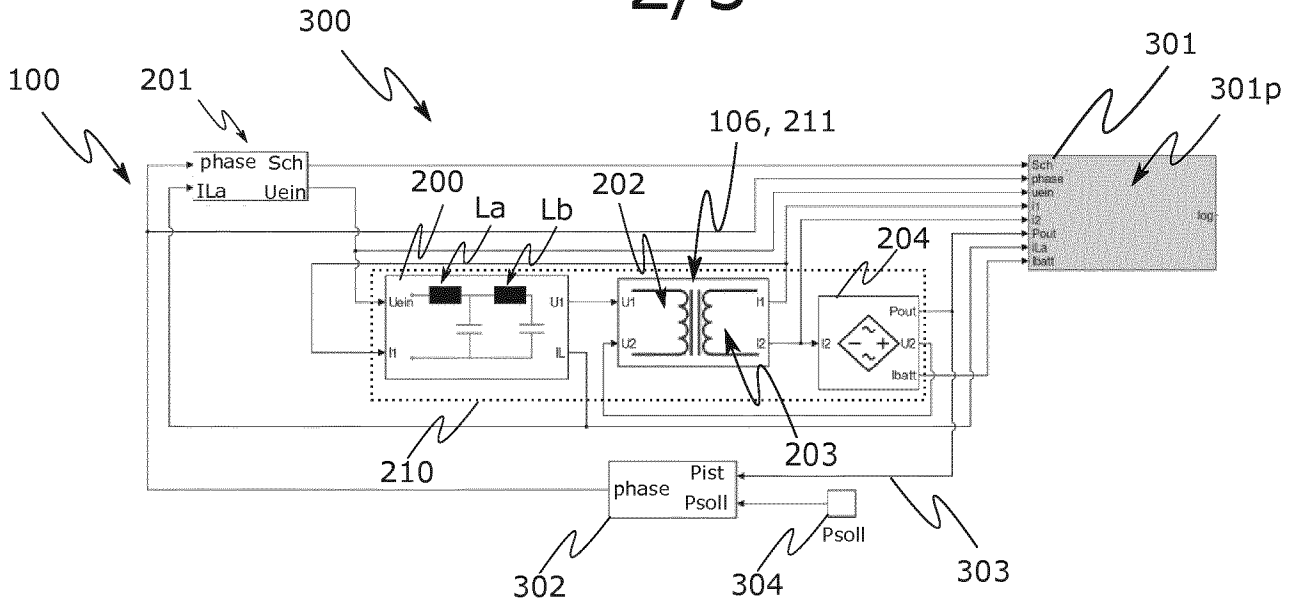


Fig. 3

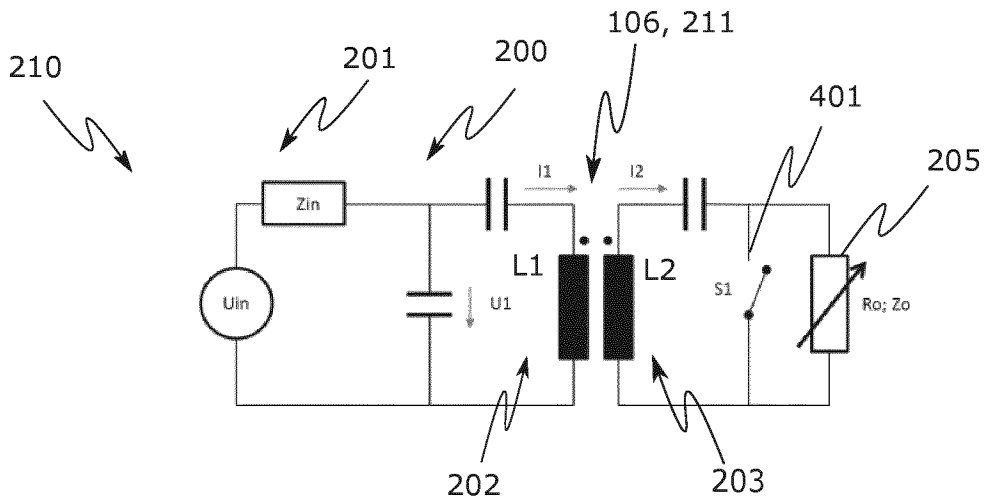


Fig. 4

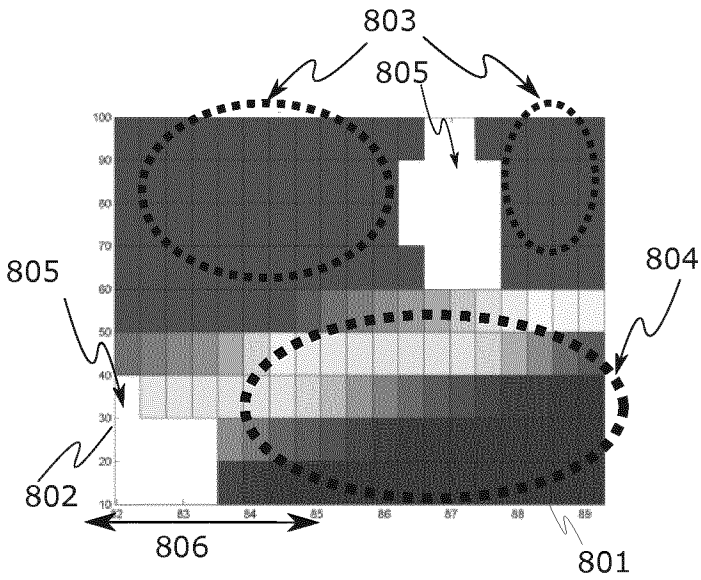


Fig. 8

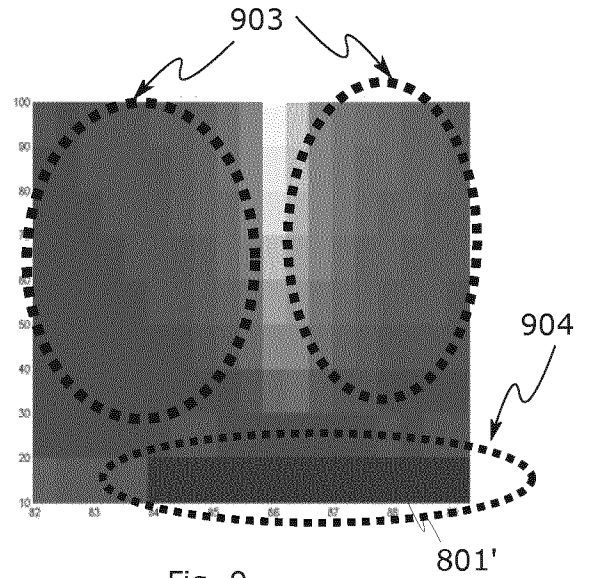


Fig. 9

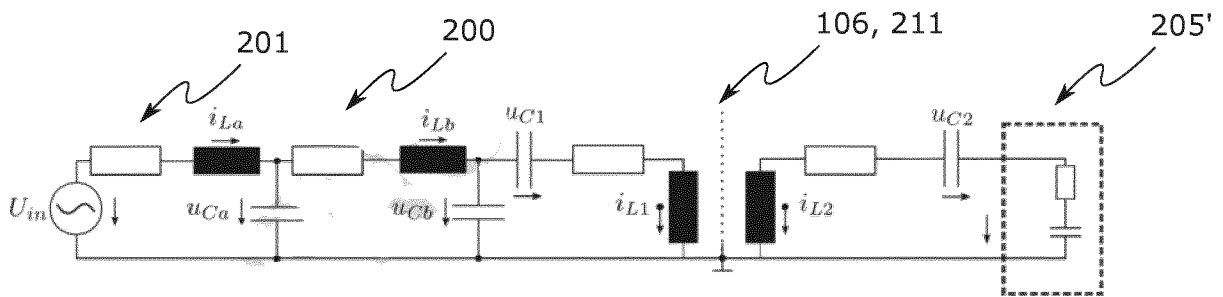


Fig. 10

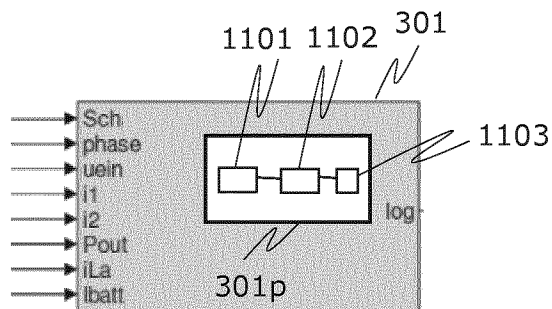


Fig. 11

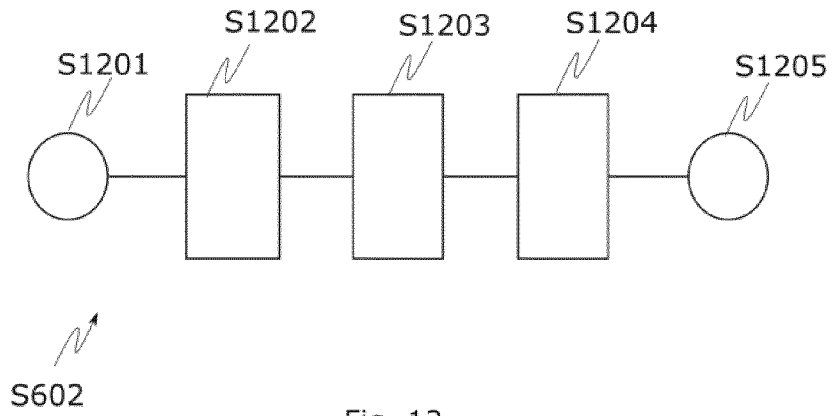


Fig. 12

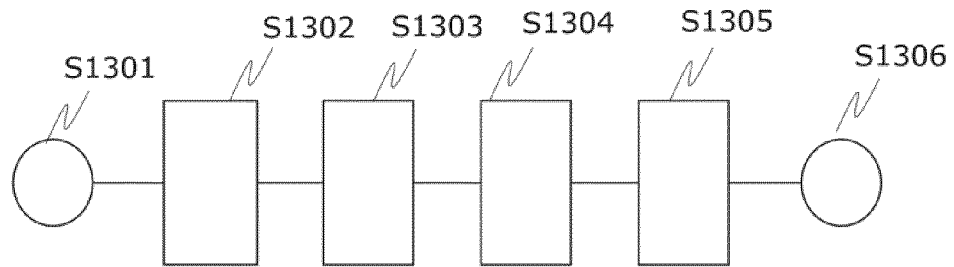


Fig. 13

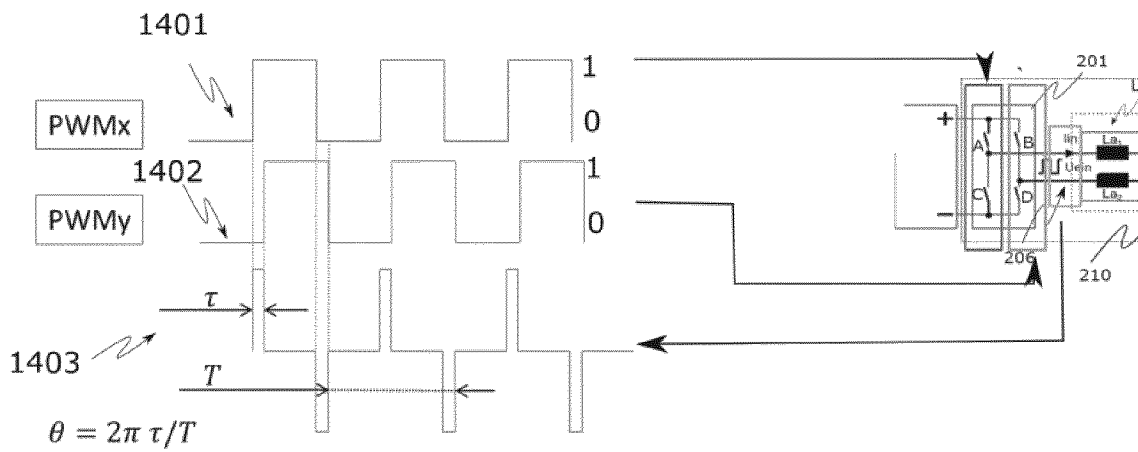


Fig. 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/066655

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01R 21/00 (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; H02J; B60L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2437573 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; MITSUBISHI ELECTRIC HOME APPL [JP]) 04 April 2012 (2012-04-04) paragraph [0037] - paragraph [0083]	1-10
A	US 2015061636 A1 (TSAI KAICHEN [US] ET AL) 05 March 2015 (2015-03-05) paragraph [0013]	7
A	ZUPUNSKI I ET AL. "Power factor calibrator" <i>PRECISION ELECTROMAGNETIC MEASUREMENTS DIGEST, 1996 CONFERENCE ON, IEEE</i> , 17 June 1996 (1996-06-17), pages 554-555 DOI: 10.1109/CPEM.1996.547345 ISBN: 978-0-7803-3376-5. XP032373649 the whole document	7
X	JP 2016086472 A (DAIHEN CORP) 19 May 2016 (2016-05-19) paragraph [0038] paragraph [0052] - paragraph [0055] paragraph [0089] figure 1	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 17 October 2019		Date of mailing of the international search report 25 October 2019
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 Meliani, Chafik Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/066655

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	RU 519 U1 (L. F. DRUZHININ, A. G. KIRILENKO, Y. F. RUBTSOV, V. A. URBAN) 16 June 1995 (1995-06-16) the whole document	1-10
A	JP H03108674 A (HITACHI LTD) 08 May 1991 (1991-05-08) the whole document	1-10
A	WO 03060540 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 24 July 2003 (2003-07-24) the whole document	1-10
A	EP 0899864 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 03 March 1999 (1999-03-03) the whole document	1-10
A	WO 2009007237 A1 (SIEMENS AG [DE]; HOU YONG [CN]) 15 January 2009 (2009-01-15) the whole document	2
A	WO 2017025131 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16 February 2017 (2017-02-16) the whole document	3
A	"IEEE Master Test Guide for Electrical Measurements in Power Circuits;ANSI/IEEE Std 120-1989" <i>IEEE STANDARD, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA</i> , 01 January 1989 (1989-01-01), page _1 ISBN: 978-0-7381-1023-3. XP017602505 the whole document	1,8
A	DE 102015011285 A1 (DAIMLER AG [DE]) 02 March 2017 (2017-03-02) the whole document	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/066655

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2437573	A1	04 April 2012	CN	102428750	A	25 April 2012
				EP	2437573	A1	04 April 2012
				ES	2557329	T3	25 January 2016
				JP	5225465	B2	03 July 2013
				JP	WO2010137498	A1	15 November 2012
				WO	2010137498	A1	02 December 2010
US	2015061636	A1	05 March 2015	NONE			
JP	2016086472	A	19 May 2016	JP	6049669	B2	21 December 2016
				JP	2016086472	A	19 May 2016
RU	519	U1	16 June 1995	NONE			
JP	H03108674	A	08 May 1991	JP	H03108674	A	08 May 1991
				JP	H07109424	B2	22 November 1995
WO	03060540	A1	24 July 2003	AU	2002219566	A1	30 July 2003
				CN	1620613	A	25 May 2005
				JP	4193697	B2	10 December 2008
				JP	WO2003060531	A1	19 May 2005
				WO	03060531	A1	24 July 2003
				WO	03060540	A1	24 July 2003
EP	0899864	A1	03 March 1999	DE	69737351	T2	31 October 2007
				EP	0899864	A1	03 March 1999
				HK	1016361	A1	06 July 2007
				JP	3526876	B2	17 May 2004
				TW	479143	B	11 March 2002
				US	6066934	A	23 May 2000
				WO	9840964	A1	17 September 1998
WO	2009007237	A1	15 January 2009	CN	101339210	A	07 January 2009
				WO	2009007237	A1	15 January 2009
WO	2017025131	A1	16 February 2017	EP	3311481	A1	25 April 2018
				WO	2017025131	A1	16 February 2017
DE	102015011285	A1	02 March 2017	CN	107921881	A	17 April 2018
				DE	102015011285	A1	02 March 2017
				EP	3341237	A1	04 July 2018
				US	2018251035	A1	06 September 2018
				WO	2017032434	A1	02 March 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01R21/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01R H02J B60L		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 2 437 573 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; MITSUBISHI ELECTRIC HOME APPL [JP]) 4. April 2012 (2012-04-04) Absatz [0037] - Absatz [0083] -----	1-10
A	US 2015/061636 A1 (TSAI KAICHIEEN [US] ET AL) 5. März 2015 (2015-03-05) Absatz [0013] -----	7
A	ZUPUNSKI I ET AL: "Power factor calibrator", PRECISION ELECTROMAGNETIC MEASUREMENTS DIGEST, 1996 CONFERENCE ON, IEEE, 17. Juni 1996 (1996-06-17), Seiten 554-555, XP032373649, DOI: 10.1109/CPEM.1996.547345 ISBN: 978-0-7803-3376-5 das ganze Dokument -----	7
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
17. Oktober 2019		25/10/2019
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 Meliani, Chafik

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 2016 086472 A (DAIHEN CORP) 19. Mai 2016 (2016-05-19) Absatz [0038] Absatz [0052] - Absatz [0055] Absatz [0089] Abbildung 1	1-10
A	----- RU 519 U1 (L. F. DRUZHININ, A. G. KIRILENKO, Y. F. RUBTSOV, V. A. URBAN) 16. Juni 1995 (1995-06-16) das ganze Dokument	1-10
A	----- JP H03 108674 A (HITACHI LTD) 8. Mai 1991 (1991-05-08) das ganze Dokument	1-10
A	----- WO 03/060540 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 24. Juli 2003 (2003-07-24) das ganze Dokument	1-10
A	----- EP 0 899 864 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 3. März 1999 (1999-03-03) das ganze Dokument	1-10
A	----- WO 2009/007237 A1 (SIEMENS AG [DE]; HOU YONG [CN]) 15. Januar 2009 (2009-01-15) das ganze Dokument	2
A	----- WO 2017/025131 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16. Februar 2017 (2017-02-16) das ganze Dokument	3
A	----- "IEEE Master Test Guide for Electrical Measurements in Power Circuits;ANSI/IEEE Std 120-1989", IEEE STANDARD, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 1. Januar 1989 (1989-01-01), Seite _1, XP017602505, ISBN: 978-0-7381-1023-3 das ganze Dokument	1,8
A	----- DE 10 2015 011285 A1 (DAIMLER AG [DE]) 2. März 2017 (2017-03-02) das ganze Dokument	6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/066655

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 2437573	A1	04-04-2012	CN 102428750 A	25-04-2012
			EP 2437573 A1	04-04-2012
			ES 2557329 T3	25-01-2016
			JP 5225465 B2	03-07-2013
			JP WO2010137498 A1	15-11-2012
			WO 2010137498 A1	02-12-2010
US 2015061636	A1	05-03-2015	KEINE	
JP 2016086472	A	19-05-2016	JP 6049669 B2	21-12-2016
			JP 2016086472 A	19-05-2016
RU 519	U1	16-06-1995	KEINE	
JP H03108674	A	08-05-1991	JP H03108674 A	08-05-1991
			JP H07109424 B2	22-11-1995
WO 03060540	A1	24-07-2003	AU 2002219566 A1	30-07-2003
			CN 1620613 A	25-05-2005
			JP 4193697 B2	10-12-2008
			JP WO2003060531 A1	19-05-2005
			WO 03060531 A1	24-07-2003
			WO 03060540 A1	24-07-2003
EP 0899864	A1	03-03-1999	DE 69737351 T2	31-10-2007
			EP 0899864 A1	03-03-1999
			HK 1016361 A1	06-07-2007
			JP 3526876 B2	17-05-2004
			TW 479143 B	11-03-2002
			US 6066934 A	23-05-2000
			WO 9840964 A1	17-09-1998
WO 2009007237	A1	15-01-2009	CN 101339210 A	07-01-2009
			WO 2009007237 A1	15-01-2009
WO 2017025131	A1	16-02-2017	EP 3311481 A1	25-04-2018
			WO 2017025131 A1	16-02-2017
DE 102015011285	A1	02-03-2017	CN 107921881 A	17-04-2018
			DE 102015011285 A1	02-03-2017
			EP 3341237 A1	04-07-2018
			US 2018251035 A1	06-09-2018
			WO 2017032434 A1	02-03-2017