



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.12.2021 Patentblatt 2021/49

(51) Int Cl.:
H05B 6/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21176540.9**

(22) Anmeldetag: **28.05.2021**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Egenter, Christian**
75015 Bretten (DE)
• **Müller, Max-Felix**
75038 Oberderdingen (DE)

(74) Vertreter: **Patentanwälte**
Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster & Partner mbB
Kronenstraße 30
70174 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **05.06.2020 DE 102020207103**

(71) Anmelder: **E.G.O. Elektro-Gerätebau GmbH**
75038 Oberderdingen (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES INDUKTIONSKOCHFELDS UND INDUKTIONSKOCHFELD**

(57) - wobei das Induktionskochfeld (100) aufweist:
- einen Wechselrichter (1), der aus einer Speisespannung (US) versorgt ist,
- mindestens einen Kondensator (2, 3), und
- eine Induktionsheizspule (4),
- wobei der mindestens eine Kondensator (2, 3) und die Induktionsheizspule (4) derart verschaltet sind, dass sie einen Schwingkreis (5) bilden, und
- wobei der Wechselrichter (1) dazu ausgebildet ist, aus der Speisespannung (US) eine pulsweitenmodulierte Anregungsspannung (UA) für den Schwingkreis (5) zu erzeugen,
- wobei das Verfahren die Schritte aufweist:
a) Erzeugen der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung (UA) mit einem vorgegebenen Spannungsverlauf,
b) Messen eines sich ergebenden Schwingkreisstromes (iS), insbesondere durch die Induktionsheizspule (4),
c) Bestimmen von elektrischen Schwingkreis-Parametern in Abhängigkeit von dem Spannungsverlauf der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung (UA) und dem gemessenen Schwingkreisstrom (iS),
d) n-maliges Wiederholen der Schritte a) bis c) bei einem geänderten Spannungsverlauf der Anregungsspannung (UA) zum Bestimmen von elektrischen spannungsverlaufsabhängigen Schwingkreis-Parametern, und
e) Ermitteln von Betriebsgrößen des Induktionskochfelds (100) aus den spannungsverlaufsabhängigen elektrischen Schwingkreis-Parametern.

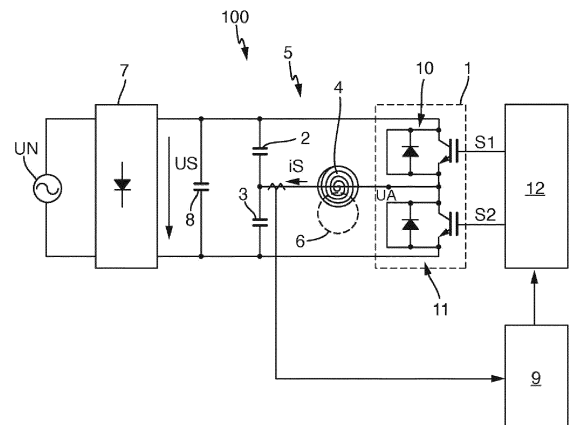


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Induktionskochfelds und ein Induktionskochfeld.

[0002] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Induktionskochfelds und ein Induktionskochfeld zur Verfügung zu stellen, die eine möglichst zuverlässige Bestimmung von Betriebsgrößen des Induktionskochfelds ermöglichen.

[0003] Das Verfahren dient zum Betreiben eines Induktionskochfelds.

[0004] Das Induktionskochfeld weist mindestens einen herkömmlichen Wechselrichter auf, der aus einer Speisespannung versorgt ist. Die Speisespannung ist bevorzugt eine Gleichspannung. Der Wechselrichter kann beispielsweise einen herkömmlich verschalteten Wechselrichterzweig mit zwei Halbleiterschaltmitteln aufweisen. Insoweit sei auch auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

[0005] Das Induktionskochfeld weist weiter mindestens einen Kondensator auf.

[0006] Das Induktionskochfeld weist weiter mindestens eine Induktionsheizspule bzw. einen Induktor auf, die bzw. der einer Kochstelle zugeordnet ist und dazu vorgesehen ist, ein magnetisches Wechselfeld in einem zu erhitzenden Topfboden zu erzeugen. Insoweit sei auch auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

[0007] Der mindestens eine Kondensator und die Induktionsheizspule sind derart verschaltet, dass sie einen Schwingkreis bilden, beispielsweise einen Parallel- oder Serienschwingkreis.

[0008] Der Wechselrichter ist dazu vorgesehen, aus der Speisespannung eine pulsweitenmodulierte Anregungsspannung für den Schwingkreis zu erzeugen. Die pulsweitenmodulierte Anregungsspannung ist typisch eine Rechteckspannung mit einem konstanten oder veränderlichen Tastgrad bzw. Tastverhältnis und einer konstanten oder veränderlichen Periodendauer bzw. Frequenz. Insoweit sei auch auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

[0009] Das Verfahren weist die nachfolgenden Schritte auf.

[0010] Schritt a), nämlich Erzeugen der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung mit einem vorgegebenen Spannungsverlauf.

[0011] Schritt b), nämlich Messen eines sich ergebenden bzw. einstellenden Schwingkreisstromes, insbesondere durch die Induktionsheizspule.

[0012] Schritt c), nämlich Bestimmen von elektrischen Schwingkreis-Parametern, insbesondere in Form einer Schwingkreis-Impedanz, in Abhängigkeit von dem Spannungsverlauf der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung und dem gemessenen Schwingkreisstrom. Die elektrischen Schwingkreis-Parameter bzw. die Schwingkreis-Impedanz kann beispielsweise die elektrischen Ersatzparameter R und L der Induktionsheizspule mit aufgestelltem Topf bezeichnen oder daraus ableitba-

re elektrische Impedanzen oder Größen der Schwingungsdifferentialgleichung, wie beispielsweise Güte bzw. Dämpfung oder Eigenfrequenz. Zum Bestimmen der elektrischen Schwingkreis-Parameter kann beispielsweise grundsätzlich die hinlänglich bekannte Zeigerrechnung verwendet werden, d.h. es werden Betrag und Phase der Spannung und Betrag und Phase des Stroms zueinander in Beziehung gesetzt.

[0013] Schritt d), nämlich n-maliges Wiederholen der Schritte a) bis c) bei einem geänderten Spannungsverlauf der Anregungsspannung zum Bestimmen von spannungsverlaufsabhängigen Schwingkreis-Parametern. Zum Ändern des Spannungsverlaufs der Anregungsspannung wird bevorzugt lediglich eine Spannungsdifferenz zwischen einem Low-Pegel der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung und einem High-Pegel der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung verändert. Eine Frequenz und ein Tastverhältnis der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung bleiben bevorzugt unverändert. Die Zahl n ist eine natürliche Zahl und liegt beispielsweise in einem Zahlenbereich zwischen 1 und 400. Die Zahl n kann beispielsweise von einer Periodendauer der Pulsweitenmodulation abhängen oder die Zahl n kann derart gewählt sein, dass die Schritte für die Dauer einer gesamten Netzhalbwellen wiederholt werden.

[0014] Schritt e), nämlich Ermitteln (Messen) von Betriebsgrößen des Induktionskochfelds aus den spannungsverlaufsabhängigen Schwingkreis-Parametern.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform wird zum Verändern des Spannungsverlaufs der Anregungsspannung, insbesondere ausschließlich, die Speisespannung des Wechselrichters verändert, wodurch beispielsweise die Spannungsdifferenz zwischen High-Pegel und Low-Pegel der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung entsprechend verändert wird.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform bleibt/bleiben ein Tastgrad der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung und/oder eine Periodendauer der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung während der Schritte a) bis e) konstant.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform sind die zu bestimmenden Betriebsgrößen ausgewählt aus: Grad der Überdeckung der Induktionsheizspule durch ein zu erheizendes Kochgefäß, insbesondere mit einem ferromagnetischen Boden, Material des die Induktionsheizspule überdeckenden Kochgefäßes bzw. Material des Bodens des Kochgefäßes, und Temperatur des Bodens des die Induktionsheizspule überdeckenden Kochgefäßes. Der Grad der Überdeckung kann beispielsweise davon abhängen, ob das Kochgefäß die Induktionsheizspule vollständig überdeckt, teilweise überdeckt oder gar nicht überdeckt.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform weist das Induktionskochfeld weiter auf: einen Gleichrichter, der dazu ausgebildet ist, aus einer Netzwechselspannung die Speisespannung zu erzeugen, und einen Zwischenkreis-kondensator, der dazu ausgebildet ist, die Speisespannung zu puffern und die Wechselrichterrückwirkungen

zu filtern. Das Verfahren weist dann die weiteren Schritte auf: vor dem Schritt a), bei abnehmendem Betrag der Netzwechselspannung, d.h. abnehmender Halbwelle, fortlaufendes Entladen des Zwischenkreiskondensators bis auf einen Spannungswert, der in einem vorgegebenen Spannungsbereich um den Betrag der momentanen Netzwechselspannung liegt, indem der Wechselrichter geeignet angesteuert wird. Der vorgegebene Spannungsbereich kann beispielsweise wenig Volt, beispielsweise zwischen 3 V bis 10 V über dem Betrag der momentanen Netzwechselspannung liegen. Dies wird so lange durchgeführt, bis die Netzwechselspannung einen Nulldurchgang aufweist und/oder die Speisespannung einen Wert unter 10V, insbesondere unter 5V aufweist. Dann, anschließendes Wiederholen der Schritte a) bis c) bei zunehmendem Betrag der Netzwechselspannung. Die Schritte a) bis c) können beispielsweise in einem Spannungsbereich der Netzwechselspannung zwischen ca. 5 V und 80 V, insbesondere zwischen 10 V und 50 V, wiederholt werden.

[0019] Gemäß einer Ausführungsform wird der Wechselrichter während der Schritte a) bis e) heizleistungseinstellungsunabhängig angesteuert und vor und/oder nach den Schritten a) bis e) heizleistungseinstellungsabhängig angesteuert, indem beispielsweise ein Tastverhältnis der Pulsweitenmodulation und/oder eine Periodendauer der Pulsweitenmodulation der Anregungsspannung entsprechend heizleistungsabhängig eingestellt wird.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform wird im Schritt a) zusätzlich die erste Harmonische und/oder höhere Harmonische der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung oder einer davon abhängigen Spannung ermittelt, im Schritt b) zusätzlich die erste Harmonische und/oder höhere Harmonische des gemessenen Schwingkreisstromes ermittelt, und im Schritt c) werden die Schwingkreis-Parameter in Abhängigkeit von der ermittelten ersten Harmonischen und/oder den ermittelten höheren Harmonischen der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung oder der davon abhängigen Spannung und der ermittelten ersten Harmonischen und/oder den ermittelten höheren Harmonischen des gemessenen Schwingkreisstromes bestimmt.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform werden die ersten Harmonischen und/oder die höheren Harmonischen mittels Tiefpassfiltern und/oder durch Fourier-Analyse ermittelt.

[0022] Wenn erforderlich, können auch die höher harmonischen Spannungen und Ströme durch Fourier-Analyse ermittelt und die entsprechend höher harmonischen Impedanzen berechnet werden.

[0023] Gemäß einer Ausführungsform wird eine Periodendauer der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung derart gewählt, dass sie kleiner ist als eine Periodendauer einer eigenresonanten Schwingung des Schwingkreises. Mit anderen Worten ist die Frequenz der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung höher als die Resonanzfrequenz des Schwingkreises für das

Gros der marktüblichen Kochgeschirre. Ist die Periodendauer der gewählten Anregungsspannung zu nahe an der Eigenresonanz, kann die Periodendauer verkürzt werden, um den Schwingkreisstrom auf ein relevantes Niveau zu begrenzen.

[0024] Gemäß einer Ausführungsform weist das Induktionskochfeld weitere Induktionsheizspulen auf, wobei die weiteren Induktionsheizspulen ebenfalls aus der gleichgerichteten Netzwechselspannung unter Zwischenschaltung zugehöriger Wechselrichter gespeist werden, wobei während der Schritte a) bis e) in einem zeitlichen Bereich um den Nulldurchgang der Netzwechselspannung die weiteren Induktionsheizspulen nicht aus der gleichgerichteten Netzwechselspannung gespeist werden. Der zeitliche Bereich um den Nulldurchgang kann sich beispielsweise 1 ms vor dem Nulldurchgang beginnen und 2 ms nach dem Nulldurchgang enden.

[0025] Das Induktionskochfeld ist zur Durchführung des oben beschriebenen Verfahrens ausgebildet und weist auf: mindestens einen Wechselrichter, der aus einer Speisespannung versorgt ist, mindestens einen Kondensator, eine Induktionsheizspule, wobei der mindestens eine Kondensator und die Induktionsheizspule derart verschaltet sind, dass sie einen Schwingkreis bilden, und wobei der Wechselrichter dazu ausgebildet ist, aus der Speisespannung eine pulsweitenmodulierte Anregungsspannung für den Schwingkreis zu erzeugen, und eine Steuereinheit, die dazu ausgebildet ist, den Wechselrichter derart anzusteuern, dass ein oben beschriebenes Verfahren ausgeführt wird.

[0026] Herkömmlich wird bei einer Topferkennung geprüft, ob ein passender Topf auf einer Kochstelle aufgestellt ist oder nicht. D.h. es wird geprüft, ob sich kein bzw. ein ungeeigneter bzw. ein zu kleiner Topf auf der Induktionsheizspule befindet.

[0027] Bei Flächenkochfeldern oder zur Topfgrößenerkennung wird als Betriebsgröße zusätzlich die Bedeckung der Kochstelle benötigt, vorzugsweise kontinuierlich aufgelöst von 0% bis 100% Bedeckung der aktiven Fläche der Induktionsheizspule. Zur Bestimmung der Bedeckung können beispielsweise die Impedanz bzw. die elektrischen (Ersatz-) Parameter R und L der Induktionsheizspule mit aufgestelltem Topf gemessen werden, da diese sich stark bei Veränderung der Bedeckungen verändern.

[0028] Diese Ersatzparameter sind aber - neben der Abhängigkeit von der Bedeckung der Kochstelle - auch abhängig von verwendeten Topfmaterialien sowie abhängig von der Topfbodentemperatur. Diese Parameter sind weiter abhängig von der magnetischen Anregung, bzw. dem Strom durch den Induktor und der Anregungsfrequenz, weshalb man die Messung herkömmlich vorzugsweise mit konstanter Anregung durchführt.

[0029] Erfindungsgemäß erfolgt die Bestimmung der Schwingkreis-Parameter bei unterschiedlich hohen Anregungen, also beispielsweise bei unterschiedlichen Speisespannungen einer Halbrücke eines Serien-

schwingkreises bzw. bei unterschiedlichen Stromhöhen bei einem Parallelschwingkreis.

[0030] Vorzugsweise kann die Messung der Schwingkreis-Parameter vor oder nach dem Netz nulldurchgang einer speisenden Netzwechselspannung erfolgen, wobei man die ansteigende oder abfallende Netzwechselspannung zur variablen Anregung nutzen kann und man den spannungsverlaufsabhängigen bzw. eingangsspannungsabhängigen Unterschied der Schwingkreis-Parameter als zusätzliche Information für die Topferkennung nutzen kann, wodurch sich Topfmaterialien besser unterscheiden lassen. Im Besonderen bei Anregungen bzw. Speisespannung von kleiner als 80 V sind unterschiedliche Veränderungen der Schwingkreis-Parameter anhängig vom Topfmaterial erkennbar. Oberhalb dieser Spannung kann vom Messbetrieb der Schwingkreis-Parameter auf den Leistungsabgabebetrieb umgestellt werden, so dass die Messung während des Betriebs erfolgen kann und die Leistungsabgabe nicht wesentlich für die Messung unterbrochen werden muss. Die Spannungsgrenze zur Umschaltung auf den Heizbetrieb kann variabel, abhängig vom Strom durch das Induktionsheizelement bestimmt werden.

[0031] Bei herkömmlichen Verfahren lässt sich nur eingeschränkt unterscheiden, ob die Werte der Impedanz bzw. der Schwingkreis-Parameter durch eine (Minder-)Bedeckung oder durch eine (niederohmigere) Leitfähigkeit des Topfmaterials verursacht wird, d.h. einige Messfälle sind mehrdeutig, insbesondere da sich die Temperatur des aufgestellten Topfes zusätzlich verändert.

[0032] Erfindungsgemäß werden für eine erweiterte Topferkennung die Impedanz bzw. die Schwingkreis-Parameter mit dem (zumindest partiell) aufgestellten Topf bestimmt, indem der elektrische Schwingkreis bestehend aus Induktionsheizspule und zumindest einem Schwingkreiskondensator definiert angeregt wird und man elektrische Schwingkreis-Parameter wie Scheinwiderstand Z, Wirkwiderstand R, Blindwiderstand X, die Schwingkreisinduktivität L oder der Phasenwinkel zwischen R und X aus der Messung von Strom durch die Induktionsheizspule und der Anregungsspannung bestimmt wird. Exemplarisch seien im Folgenden die grundlegenden Berechnungsformeln angegeben:

f_{op} bezeichne die Arbeitsfrequenz des Wechselrichters
 $u(t)$ bezeichne den zeitlichen Verlauf der Ansteuerungsspannung
 $i(t)$ bezeichne den zeitlichen Verlauf des Stroms durch die Induktionsheizspule

[0033] Es gilt

$$\omega_{op} = 2 \cdot \pi \cdot f_{op}$$

$$u_1 = \widehat{u}_1 \cdot \sin(\omega_{op} \cdot t)$$

ist die erste Harmonische der Spannung

$$I_1 = \widehat{I}_1 \cdot \sin(\omega_{op} \cdot t + \varphi)$$

ist die erste Harmonische des Stroms mit $\varphi = \angle(u_1, I_1)$

[0034] Es gilt:

$$R_1 = \frac{\widehat{u}_1}{\widehat{I}_1} \cdot \cos \varphi$$

$$X_1 = \frac{\widehat{u}_1}{\widehat{I}_1} \cdot \sin \varphi = X_{L1} + X_{C1}$$

mit

$$X_C = -\frac{1}{\omega_{op} \cdot C}$$

$$L_1 = \frac{X_1 - X_{C1}}{\omega_{op}}$$

[0035] Vorzugsweise wird die anregende Ausgangsspannung des Wechselrichters gemessen, alternativ kann aber auch direkt die Spannung über der Induktionsheizspule gemessen werden. Auch können auch Schwingkreis-Parameter wie Güte Q, Dämpfung δ , Eigenfrequenz f_r bzw. Periodendauer T_r bestimmt werden, um daraus die Bedeckung des Topfes auf dem Induktor bestimmen zu können.

[0036] Erfindungsgemäß wird die Eingangsgröße Spannung (oder im allgemeinen Strom durch die Induktionsheizspule) verändert, um so mindestens eine zusätzliche Größe zur Bestimmung der aufgestellten Last (Topferkennung) zu erhalten, beispielsweise das Delta von einer oder mehreren Schwingkreis-Parametern bezogen auf ein Delta der Anregungsspannung oder dem Strom. Auch kann die Lage eines Maximums eines Schwingkreis-Parameters bezogen auf die variable Anregungsspannung als Kriterium verwendet werden. Alternativ können die Schwingkreis-Parameter anstatt über der variablen Anregungsspannung auch als veränderlich über dem Strom durch die Induktionsheizspule ausgewertet werden.

[0037] Die durch die Spannungsänderung verursachten Änderungen der Schwingkreis-Parameter liefern zusätzliche Größen, die eine verbesserte Unterscheidung von Topfmaterialienklassen trotz variabler Topfbede-

ckung auf der Induktionsheizspule erlauben.

[0038] Das Bereitstellen einer variablen Speisespannung bzw. Anregungsspannung kann aufwendig sein, weshalb erfindungsgemäß die Netzwechselspannung als variable Spannung verwendet werden kann, d.h. die Messung der Schwingkreis-Parameter kann in einem Zeitintervall nach oder vor einem Nulldurchgang der Netzwechselspannung erfolgen. Vorzugsweise erfolgt die Messung nach dem Netznulldurchgang, wobei dann darauf geachtet werden sollte, dass zuvor der Zwischenkreis sicher entladen wird, indem die Impedanz auf einen Mindestwert reduziert wird, indem die Steuerparameter für den Wechselrichter entsprechend gewählt werden ($\Rightarrow$ Ansteuerfrequenz wenige kHz oberhalb der Resonanzfrequenz des Schwingkreises und/oder der Tastgrad nahe des Maximalwertes von 50%).

[0039] Vorzugsweise wird zur Berechnung der Schwingkreis-Parameter die erste Harmonische von Anregungsspannung und Strom verwendet. Hierzu kann ein Tiefpass vorgesehen werden, alternativ kann eine entsprechende Fourier-Analyse der Messdaten durch einen Algorithmus durchgeführt werden.

[0040] Die Messung wird beispielsweise kurz nach dem Netznulldurchgang gestartet, beispielsweise bei 8 V Netzwechselspannung und bei 40-50 V wieder beendet und der Wechselrichter auf den herkömmlichen Heizleistungsbetrieb umgestellt. Dieser Spannungsbereich für die Topferkennung erlaubt es, Unterschiede resultierend aus verschiedenen Permeabilitätskurven von Topfmaterialien zu unterscheiden, aber andererseits auch das rechtzeitige Umschalten auf den Heizbetrieb, so dass auch große Leistungen übertragen werden können und die Vorgabe der Begrenzung der Harmonischen des Netzstromes eingehalten werden können.

[0041] Ist einmal eine Topfklassifizierung erfolgt, dann kann auf die spannungsverlaufsabhängige Bestimmung bzw. die Deltabestimmung der Betriebsgrößen verzichtet werden und bereits bei kleineren Spannungen auf den Heizbetrieb umgeschaltet werden. In diesem Betriebsfall muss nur noch eine Änderung der Bedeckung festgestellt werden.

[0042] Der erfindungsgemäße Ansatz der Implementierung einer Topferkennung mit veränderlicher Anregungsspannung erlaubt es, zusätzliche Schwingkreis-Parameter bzw. Messgrößen für eine Topferkennung (mit Bedeckungsmessung) zu generieren, die im Besonderen durch unterschiedliche Permeabilitätskennlinien von verschiedenen Topfmaterialien verursacht werden, wodurch Mehrdeutigkeiten unterscheidbar gemacht werden können. Die spannungsverlaufsabhängige Analyse bzw. die Deltaanalyse erlaubt eine bessere Unterscheidung der Topfmaterialien, wodurch anschließend in einem zweiten Schritt eine topfmaterialspezifische Bestimmung der Bedeckung der Induktionsheizspule ermöglicht wird.

[0043] Das Ausnutzen der steigenden Netzwechselspannung nach einem Nulldurchgang erlaubt eine kostengünstige Implementierung einer veränderlichen Spei-

sespannung des Wechselrichters und vermeidet die Notwendigkeit von Netzteilen mit unterschiedlichen Ausgangsspannungen zur unterschiedlichen Anregung der Topferkennung.

[0044] Das Umschalten des Wechselrichters für die Messung der relevanten Betriebsgrößen bei nur kleinen, steigenden Spannungen bis maximal 80 V erlaubt die Durchführung einer regelmäßigen Topferkennung im laufenden Heizbetrieb, wobei dadurch auch die Anforderung an die EMV-Begrenzung der Oberschwingungen des Netzstromes eingehalten werden können.

[0045] In einem ersten Schritt kann beispielsweise eine Topfklasse bestimmt werden und in einem folgenden Schritt kann dann spezifisch für das Topfmaterial dieser Topfklasse ein Grad der Überdeckung bestimmt werden.

[0046] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen detailliert beschrieben. Hierbei zeigt:

Fig. 1 ein Induktionskochfeld, das zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet ist,

Fig. 2 Spannungsverläufe und Stromverläufe des in Fig. 1 gezeigten Induktionskochfelds über der Zeit,

Fig. 3 eine Schwingkreisinduktivität mit verschiedenen, marktüblichen Topfmaterialien abhängig von der Bedeckung einer Induktionsheizspule gemessen mit dem in Fig. 1 gezeigten Induktionskochfeld, und

Fig. 4 eine Schwingkreisinduktivität mit verschiedenen, marktüblichen Topfmaterialien abhängig vom Strom durch die Induktionsheizspule gemessen mit dem in Fig. 1 gezeigten Induktionskochfeld.

[0047] Fig. 1 zeigt schematisch ein Blockschaltbild eines Induktionskochfelds 100, das zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet ist.

[0048] Das Induktionskochfeld 100 weist einen herkömmlichen Wechselrichter 1 auf, der aus einer Speisespannung US versorgt ist. Der Wechselrichter 1 weist zwei herkömmliche Halbleiterschaltmittel 10 und 11 auf, die in Reihe zwischen die Speisespannung US eingeschleift sind. An einem Verbindungsknoten der beiden Halbleiterschaltmittel 10 und 11 wird eine Anregungsspannung UA ausgegeben.

[0049] Das Induktionskochfeld 100 weist weiter zwei Kondensatoren 2 und 3 auf, die in Reihe zwischen die Speisespannung US eingeschleift sind.

[0050] Das Induktionskochfeld 100 weist weiter eine Induktionsheizspule 4 (auch als Induktor bezeichnet) auf. Die Induktionsheizspule 4 ist zwischen einen Verbindungsknoten der beiden Kondensatoren 2 und 3 und den Verbindungsknoten der beiden Halbleiterschaltmittel 10

und 11 eingeschleift. Die beiden Kondensatoren 2, 3 und die Induktionsheizspule 4 bilden einen SerienSchwingkreis 5.

[0051] Der Wechselrichter 1 ist dazu ausgebildet, aus der Speisespannung US die pulsweitenmodulierte Anregungsspannung UA für den Schwingkreis 5 zu erzeugen. Der Wechselrichter 1 wird durch eine mikroprozessorbasierte Steuereinheit 9 mit einer nachgeschalteten Treibereinheit 12 angesteuert, was unter Bezugnahme auf Fig. 2 nachfolgende detailliert beschrieben werden wird.

[0052] Das Induktionskochfeld 100 weist weiter einen Gleichrichter 7 auf, der dazu ausgebildet ist, aus einer Netzwechselspannung UN, beispielsweise mit 230 V/AC und 50 Hz, die Speisespannung US zu erzeugen.

[0053] Das Induktionskochfeld 100 weist weiter einen Zwischenkreiskondensator 8 auf, der dazu ausgebildet ist, die Speisespannung US zu puffern.

[0054] Fig. 2 zeigt Spannungsverläufe und Stromverläufe des in Fig. 1 gezeigten Induktionskochfelds 100 über der Zeit. Hierbei bezeichnet US die Speisespannung, UA bezeichnet die Anregungsspannung, UN bezeichnet die Netzwechselspannung und iS bezeichnet den Schwingkreisstrom.

[0055] Dargestellt sind 4 zeitlich aufeinanderfolgende Phasen P1, P2, P3 und P4 des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0056] Während der Phase P1 wird die Anregungsspannung UA pulsweitenmoduliert derart erzeugt, dass sich eine vorgegebene, vorliegend geringe, Heizleistung einstellt. Die Netzwechselspannung UN nimmt sinusförmig ab. Die aus der Netzwechselspannung UN mittels Gleichrichten erzeugte Speisespannung US bleibt aufgrund der Pufferung mittels des Zwischenkreiskondensators 8 und der geringen Leistungsabgabe oberhalb der Netzwechselspannung UN.

[0057] An die Phase P1 schließt sich die Phase P2 an, während der der Zwischenkreiskondensator 8 durch geeignetes Ansteuern des Wechselrichters 1 bis auf den Betrag der momentanen Netzspannung UN entladen wird.

[0058] Im Zeitbereich um den Nulldurchgang der Netzwechselspannung UN endet die Phase P2 und es beginnt die Phase P3, d.h. der eigentliche Messbetrieb, während dem die zu bestimmenden Betriebsgrößen des Induktionskochfelds 100 bestimmt bzw. gemessen werden.

[0059] Die Betriebsgrößen sind ein Grad der Überdeckung der Induktionsheizspule 4 durch ein zu erhitzen des Kochgefäß 6, ein Material bzw. eine Materialklasse eines Topfbodens des die Induktionsheizspule 4 überdeckenden Kochgefäßes 6 und eine Temperatur des Bodens des die Induktionsheizspule 4 überdeckenden Kochgefäßes 6.

[0060] Hierzu wird die pulsweitenmodulierte Anregungsspannung UA mit einem vorgegebenen Spannungsverlauf erzeugt, beispielsweise indem eine oder zwei Perioden der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung UA mit einer vorgegebenen Periodendauer,

einem vorgegebenen Tastverhältnis und einer Spannungsdifferenz zwischen Low-Pegel und High-Pegel der Pulsweitenmodulation erzeugt werden, die in etwa der momentanen Speisespannung US entspricht. Die momentane Speisespannung US wiederum entspricht in etwa dem momentanen Betrag der Netzwechselspannung UN.

[0061] Es wird dann ein sich ergebender Schwingkreisstrom iS durch die Induktionsheizspule 4 gemessen, wobei die elektrischen Schwingkreis-Parameter in Abhängigkeit von dem Momentanwert der Speisespannung US, d.h. dem momentanen Spannungsverlauf der Anregungsspannung UA, und dem gemessenen Schwingkreisstrom iS berechnet werden.

[0062] Bei steigendem Betrag der Netzwechselspannung UN nimmt die Speisespannung US entsprechend zu, so dass für entsprechende Perioden der Pulsweitenmodulation die Spannungsdifferenz zwischen Low-Pegel und High-Pegel entsprechend zunimmt, d.h. der Spannungsverlauf der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung UA ändert sich entsprechend. Ein Tastgrad der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung UA und eine Periodendauer der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung UA bleiben konstant.

[0063] Für eine Anzahl n von zeitlich aufeinanderfolgenden Spannungsverläufen der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung UA werden die sich ergebenden Schwingkreisströme iS gemessen und für jeden Spannungsverlauf der n verschiedenen Spannungsverläufe wird der zugehörige elektrische spannungsverlaufsabhängige Schwingkreis-Parameter bestimmt bzw. berechnet, so dass n spannungsverlaufsabhängige Schwingkreis-Parameter ermittelt werden. Mit anderen Worten werden n verschiedene Schwingkreis-Parameter bei n verschiedenen Spannungsverläufen ermittelt.

[0064] Schließlich werden die Betriebsgrößen des Induktionskochfelds 100 aus mindestens zwei Schwingkreis-Parametern der n verschiedenen spannungsverlaufsabhängigen elektrischen Schwingkreis-Parameter ermittelt.

[0065] Zum Berechnen eines jeweiligen spannungsverlaufsabhängigen elektrischen Schwingkreis-Parameters kann die erste Harmonische der jeweiligen pulsweitenmodulierten Anregungsspannung UA oder einer davon abhängigen Spannung ermittelt werden, die erste Harmonische des jeweils gemessenen Schwingkreisstromes iS ermittelt werden, und der jeweilige elektrische Schwingkreis-Parameter dann in Abhängigkeit von der ermittelten ersten Harmonischen der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung oder der davon abhängigen Spannung und der ersten Harmonischen des gemessenen Schwingkreisstromes bestimmt werden. Die ersten Harmonischen können beispielsweise mittels Tiefpassfiltern und/oder durch Fourier-Analyse ermittelt werden.

[0066] Während der Phase P3 wird der Wechselrichter 1 heizleistungseinstellungsunabhängig angesteuert, wobei bevorzugt eine Frequenz der Pulsweitenmodulation höher ist als eine Eigenresonanzfrequenz des Schwing-

kreises 5.

[0067] Die Phase P3 erstreckt sich über einen Spannungsbetragsbereich der Netzwechselspannung UN zwischen ca. 10 V bis 50 V.

[0068] An die Phase P3 schließt sich die Phase P4 an, während der der Wechselrichter 1 wieder heizleistungseinstellungsabhängig angesteuert wird.

[0069] Das Induktionskochfeld 100 kann weitere Induktionsheizspulen aufweisen, wobei die weiteren Induktionsheizspulen ebenfalls aus der gleichgerichteten Netzwechselspannung UN gespeist werden, wobei die weiteren Induktionsheizspulen während der Phase P3 nicht aus der gleichgerichteten Netzwechselspannung UN gespeist werden, um ein Übersprechen zu vermeiden.

[0070] Fig. 3 zeigt beispielhaft eine sich ändernde Schwingkreisinduktivität bzw. eine sich ändernde Induktivität einer Induktionsheizspule abhängig von der Bedeckung durch ein Kochgeschirr. Die Induktivität aber auch die Änderung der Induktivität über der Bedeckung sind bei unterschiedlichen Materialien des Bodens des Kochgeschirrs verschieden.

[0071] Marktübliche Materialien für die Bodenplatte eines induktionsgeeigneten Kochgeschirrs sind beispielsweise ferritischer Edelstahl oder Stahl. Eine Besonderheit stellen Kochgeschirre bestehend aus einem Aluminiumkörper dar, bei denen ein ferritischer Edelstahl im Boden zur Beheizung auf einer Induktion eingepresst wird. Vom einlagigen, ferritischen Edelstahl können erfindungsgemäß auch mehrlagige Edelstahlkaschierungen unterschieden werden.

[0072] Fig. 4 zeigt den nichtlinearen Induktivitätsverlauf von marktüblichen Kochgeschirren abhängig vom Strom durch die Induktionsheizspule. Die magnetische Feldstärke der Induktionsheizspule ist proportional zum Strom durch die Induktionsheizspule und bildet die magnetische Aussteuerung des Topfmaterials.

[0073] Die Induktivität steigt bei kleinen Strömen aufgrund der zunehmenden Permeabilität von ferritischen Materialien an, bis zunehmende Bereiche des Topfbodens in ferritische Sättigung gelangen und die Induktivität mehr oder weniger stark mit zunehmender Aussteuerung abnimmt.

[0074] Erfindungsgemäß werden mindestens zwei Arbeitspunkte der Aussteuerung gemessen und zueinander in Relation gesetzt, um so eine zusätzliche Messgröße zur Bestimmung der Betriebsgrößen nutzen zu können.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Induktionskochfelds (100),

- wobei das Induktionskochfeld (100) aufweist:

- einen Wechselrichter (1), der aus einer

Speisespannung (US) versorgt ist,

- mindestens einen Kondensator (2, 3), und
- eine Induktionsheizspule (4),

- wobei der mindestens eine Kondensator (2, 3) und die Induktionsheizspule (4) derart verschaltet sind, dass sie einen Schwingkreis (5) bilden, und

- wobei der Wechselrichter (1) dazu ausgebildet ist, aus der Speisespannung (US) eine pulsweitenmodulierte Anregungsspannung (UA) für den Schwingkreis (5) zu erzeugen,

- wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

a) Erzeugen der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung (UA) mit einem vorgegebenen Spannungsverlauf,

b) Messen eines sich ergebenden Schwingkreisstromes (iS), insbesondere durch die Induktionsheizspule (4),

c) Bestimmen von elektrischen Schwingkreis-Parametern in Abhängigkeit von dem Spannungsverlauf der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung (UA) und dem gemessenen Schwingkreisstrom (iS),

d) n-maliges Wiederholen der Schritte a) bis c) bei einem geänderten Spannungsverlauf der Anregungsspannung (UA) zum Bestimmen von elektrischen spannungsverlaufsabhängigen Schwingkreis-Parametern, und

e) Ermitteln von Betriebsgrößen des Induktionskochfelds (100) aus den elektrischen spannungsverlaufsabhängigen Schwingkreis-Parametern.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- zum Verändern des Spannungsverlaufs der Anregungsspannung (UA) die Speisespannung (US) des Wechselrichters (1) verändert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- ein Tastgrad der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung (UA) und/oder eine Periodendauer der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung (UA) während der Schritte a) bis e) konstant bleibt/bleiben.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Betriebsgrößen ausgewählt sind aus:

- Grad der Überdeckung der Induktionsheizspule (4) durch ein zu erheizendes Kochgefäß (6),
 - Material des die Induktionsheizspule (4) überdeckenden Kochgefäßes (6),
 - Temperatur eines Bodens des die Induktionsheizspule (4) überdeckenden Kochgefäßes (6).
- 5
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- 10
- das Induktionskochfeld (100) weiter aufweist:
 - einen Gleichrichter (7), der dazu ausgebildet ist, aus einer Netzwechselspannung (UN) die Speisespannung (US) zu erzeugen, und
 - einen Zwischenkreiskondensator (8), der dazu ausgebildet ist, die Speisespannung (US) zu puffern,
- 15
- 20
- wobei das Verfahren die weiteren Schritte aufweist:
 - vor dem Schritt a), bei abnehmendem Betrag der Netzwechselspannung (UN) fortlaufendes Entladen des Zwischenkreiskondensators (8) bis auf einen Spannungswert, der in einem vorgegebenen Spannungsbereich um den Betrag der momentanen Netzwechselspannung (UN) liegt, indem der Wechselrichter (1) geeignet angesteuert wird, so lange, bis die Netzwechselspannung (UN) einen Nulldurchgang aufweist und/oder die Speisespannung (US) einen Wert unter 10V, insbesondere unter 5V aufweist, und
 - anschließendes Wiederholen der Schritte a) bis c) bei zunehmendem Betrag der Netzwechselspannung (UN).
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- während der Schritte a) bis e) der Wechselrichter (1) heizleistungseinstellungsunabhängig angesteuert wird und vor und/oder nach den Schritten a) bis e) der Wechselrichter (1) heizleistungseinstellungsabhängig angesteuert wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- im Schritt a) zusätzlich die erste Harmonische und/oder höhere Harmonische der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung (UA) oder ei-
- ner davon abhängigen Spannung ermittelt wird/werden,
- im Schritt b) zusätzlich die erste Harmonische und/oder höhere Harmonische des gemessenen Schwingkreisstromes (iS) ermittelt wird/werden, und
 - im Schritt c) die Schwingkreis-Parameter in Abhängigkeit von der ermittelten ersten Harmonischen und/oder den ermittelten höheren Harmonischen der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung (UA) oder der davon abhängigen Spannung und der ermittelten ersten Harmonischen und/oder den ermittelten höheren Harmonischen des gemessenen Schwingkreisstromes (iS) bestimmt wird/werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- die ersten Harmonischen und/oder die höheren Harmonischen mittels Tiefpassfiltern und/oder durch Fourier-Analyse ermittelt werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- eine Periodendauer der pulsweitenmodulierten Anregungsspannung (UA) derart gewählt wird, dass sie kleiner ist als eine Periodendauer einer eigenresonanten Schwingung des Schwingkreises (5).
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- das Induktionskochfeld (100) weitere Induktionsheizspulen aufweist, wobei die weiteren Induktionsheizspulen ebenfalls aus der gleichgerichteten Netzwechselspannung (UN) gespeist werden, wobei während der Schritte a) bis e) in einem zeitlichen Bereich um den Nulldurchgang der Netzwechselspannung (UN) die weiteren Induktionsheizspulen nicht aus der gleichgerichteten Netzwechselspannung (UN) gespeist werden.
11. Induktionskochfeld (100), das zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgebildet ist, aufweisend:
- einen Wechselrichter (1), der aus einer Speisespannung (US) versorgt ist,
 - mindestens einen Kondensator (2, 3),
 - eine Induktionsheizspule (4),
- wobei der mindestens eine Kondensator (2, 3) und die Induktionsheizspule (4) derart

verschaltet sind, dass sie einen Schwingkreis (5) bilden, und

- wobei der Wechselrichter (1) dazu ausgebildet ist, aus der Speisespannung (US) eine pulsweitenmodulierte Anregungsspannung (UA) für den Schwingkreis (5) zu erzeugen, und

- eine Steuereinheit (9), die dazu ausgebildet ist, den Wechselrichter (1) derart anzusteuern, dass ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgeführt wird.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

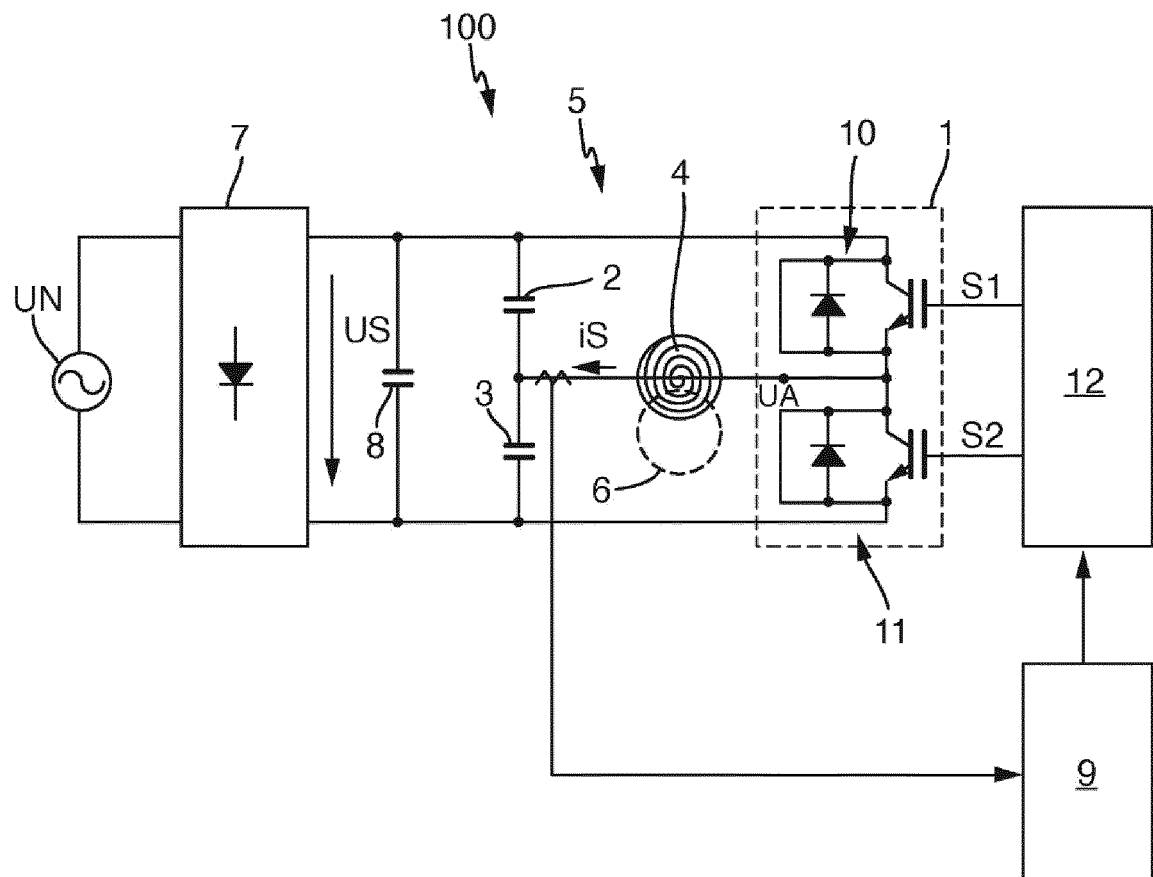


Fig. 1

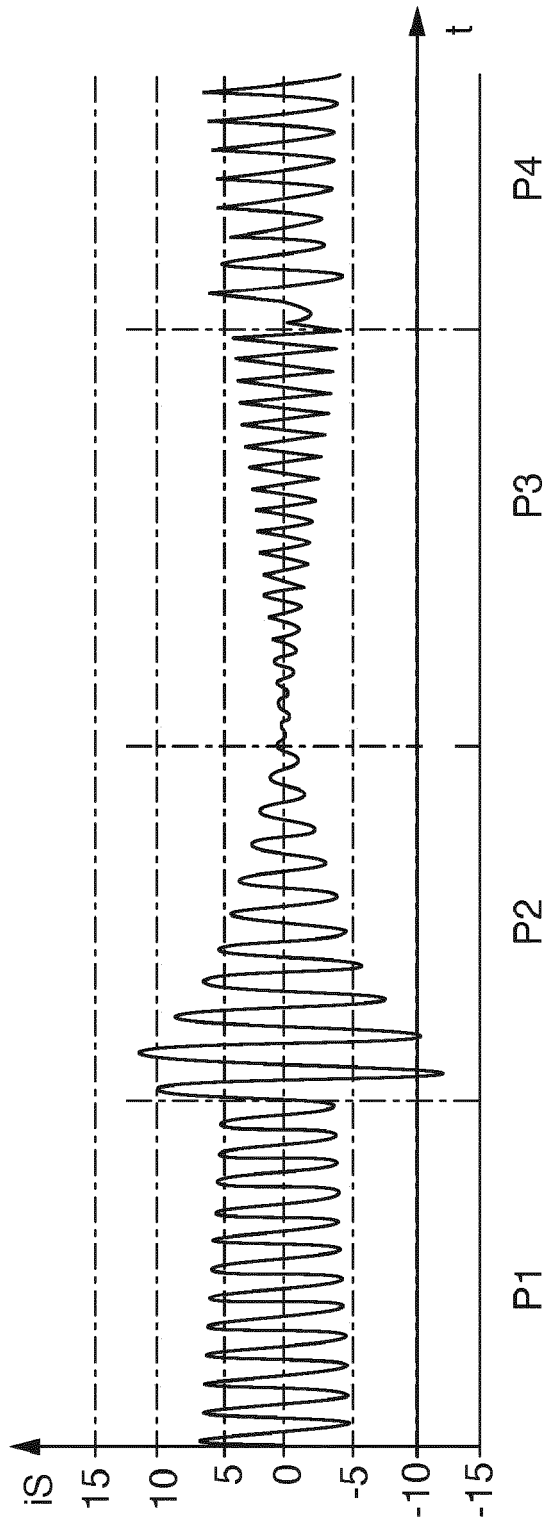
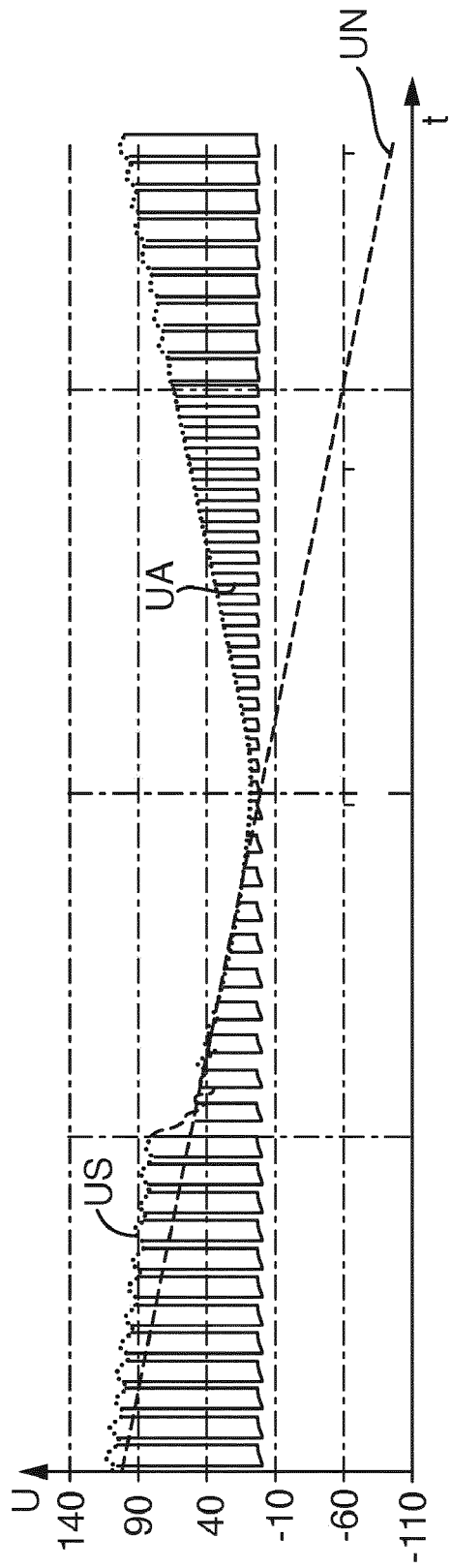


Fig. 2

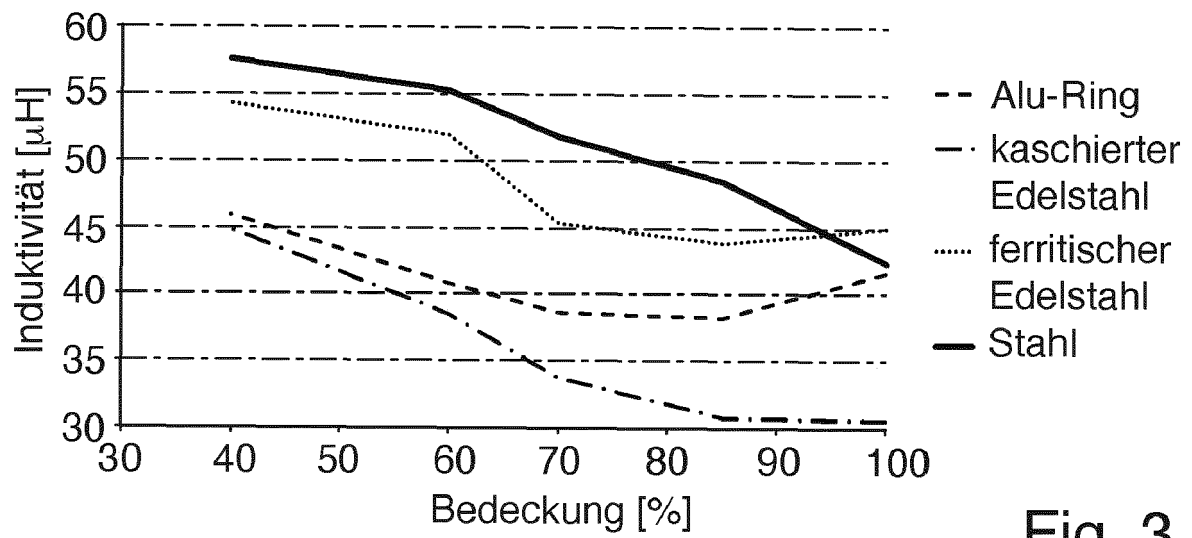


Fig. 3

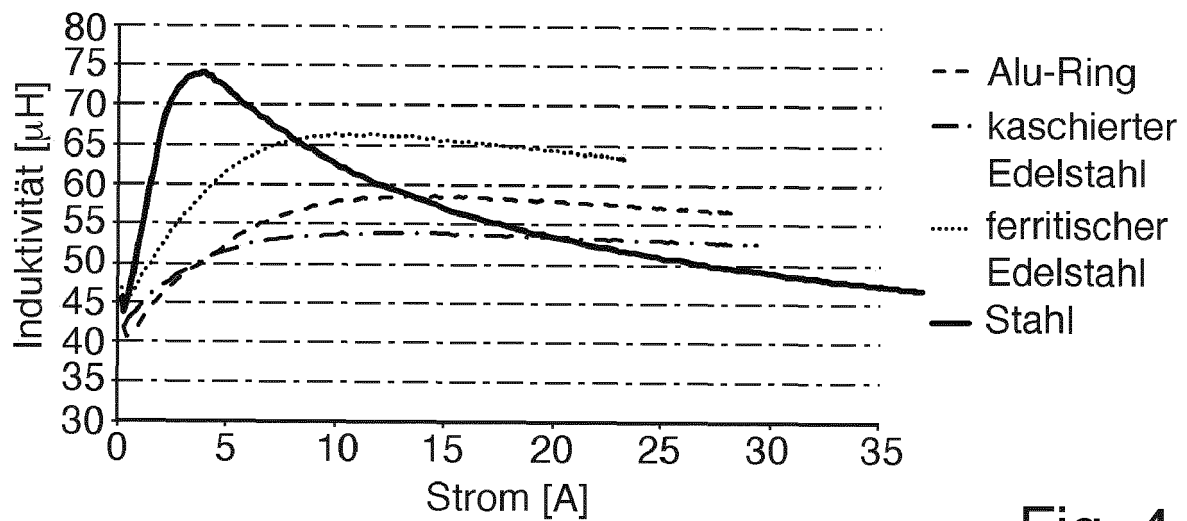


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 21 17 6540

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 3 291 643 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD [KR]) 7. März 2018 (2018-03-07)	1-6,10,11	INV. H05B6/06
Y	* Absatz [0001] * * Absatz [0026] * * Absatz [0082] - Absatz [0120]; Abbildung 5A * * Absatz [0175] - Absatz [0176]; Abbildung 6 * * Absatz [0215] - Absatz [0244]; Abbildungen 6,9-13 *	7-9	
Y	----- EP 2 645 814 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; MITSUBISHI ELECTRIC HOME APPL [JP]) 2. Oktober 2013 (2013-10-02) * Absatz [0001] * * Absatz [0032]; Abbildung 1 * * Absatz [0054]; Abbildung 6 *	7-9	
X	----- EP 2 360 989 A1 (DELTA ELECTRONICS INC [TW]) 24. August 2011 (2011-08-24) * Absatz [0006] * * Absatz [0009] * * Absatz [0010] * * Absatz [0017] - Absatz [0019]; Abbildung 1 *	1,4,11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H05B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 5. Oktober 2021	Prüfer Barzic, Florent
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 17 6540

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

05-10-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3291643 A1	07-03-2018	CN 107801264 A	13-03-2018
		EP 3291643 A1	07-03-2018
		KR 20180025765 A	09-03-2018
		US 2018063897 A1	01-03-2018
		WO 2018044096 A1	08-03-2018

EP 2645814 A1	02-10-2013	CN 103181238 A	26-06-2013
		EP 2645814 A1	02-10-2013
		EP 3200561 A1	02-08-2017
		ES 2626252 T3	24-07-2017
		ES 2688748 T3	06-11-2018
		JP 5478735 B2	23-04-2014
		JP WO2012070320 A1	19-05-2014
		WO 2012070320 A1	31-05-2012

EP 2360989 A1	24-08-2011	EP 2360989 A1	24-08-2011
		ES 2627683 T3	31-07-2017
		TW 201129256 A	16-08-2011

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82