

(19)



(11)

**EP 3 961 660 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**02.03.2022 Patentblatt 2022/09**

(21) Anmeldenummer: **20193287.8**

(22) Anmeldetag: **28.08.2020**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**H01F 3/10** (2006.01) **H01F 3/08** (2006.01)  
**H01F 17/06** (2006.01) **H01F 38/02** (2006.01)  
**H02M 1/00** (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**H01F 3/10; H01F 3/08; H01F 17/062; H01F 38/023;**  
**H01F 2003/106; H01F 2038/026**

(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**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**  
**80333 München (DE)**

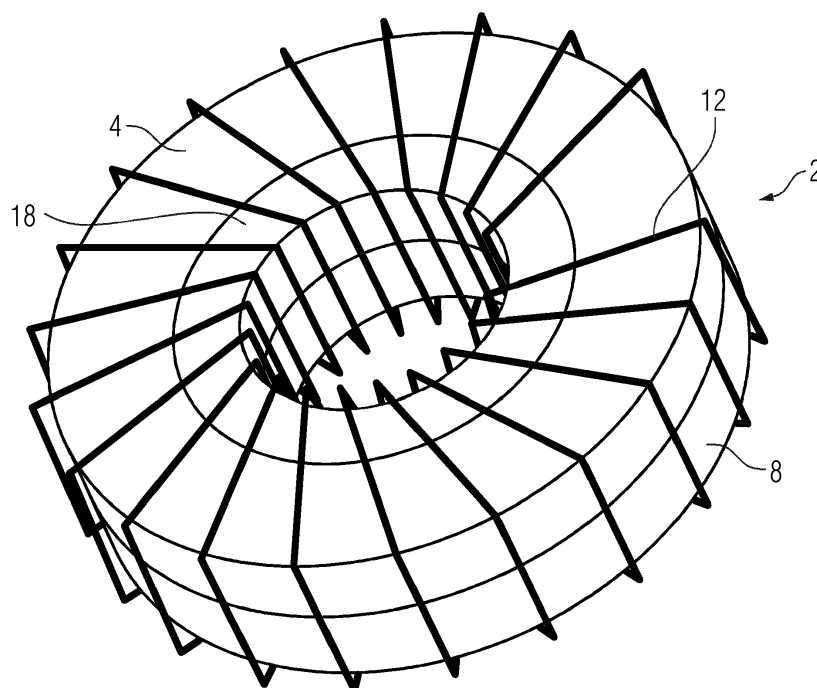
(72) Erfinder:  
• **Krupp, Henrik**  
**91056 Erlangen (DE)**  
• **Kopf, Michael**  
**90537 Feucht (DE)**  
• **Pfeifer, Markus**  
**90455 Nürnberg (DE)**

(54) **INDUKTIVES BAUELEMENT FÜR EINEN WECHSELRICHTER UND WECHSELRICHTER**

(57) Die Erfindung betrifft ein induktives Bauelement (2) für einen Wechselrichter mit  
- einem ersten magnetischen Teilkern (4) aus einem ersten Kernmaterial (6),  
- einem zweiten magnetischen Teilkern (8) aus einem

zweiten Kernmaterial (10), wobei das zweite Kernmaterial (10) vom ersten Kernmaterial (6) verschieden ist, und der erste Teilkern und der zweite Teilkern einen magnetischen Kern bilden, der von einer umlaufenden Wicklung (12) eines elektrischen Leiters umgeben ist.

**FIG 3**



**EP 3 961 660 A1**

## Beschreibung

**[0001]** In Wechselrichtern, die für Überlastbetriebsarten außerhalb der sogenannten Dauerbetriebsart S1, also den Betriebsarten S2 - S9, ausgelegt sind, werden häufig Induktivitäten eingesetzt, die magnetisch so ausgelegt sind, dass sie entweder bis zum maximal zulässigen Laststrom eine nahezu konstante Induktivität aufweisen oder eine schon bei geringerem Laststrom beginnende, stetige Abnahme der Induktivität zeigen. Im ersten Fall wird der magnetische Kern der Spule beispielsweise aus einem Elektroblech oder einem Ferrit hergestellt, die einen flachen Permeabilitätsverlauf bis zur Sättigungsgrenze aufweisen. Im zweiten Fall verwendet man überwiegend Metallpulver-Kompositmaterialien. Insbesondere bei Wechselrichtern mit sehr hohen Schaltfrequenzen, beispielsweise  $> 25$  kHz, sind die beschriebenen Standard-Elektrobleche als Kernmaterial für Drosselspulen nicht gut geeignet. In vielen Anwendungsfällen beträgt das Verhältnis zwischen dem Strom im Dauerbetriebszustand S1 und dem jeweiligen Sonderlast-Betriebszustand, beispielsweise S6-Betrieb, ca.  $1 : 2$  bis  $1 : 5$ . Oft ist im S1-Betriebsbereich ein nahezu konstanter Induktivitätsverlauf der Drossel gewünscht, während im Überlastbetrieb, beispielsweise S6, nur ein kleinerer Induktivitätswert ausreichend ist. Es ist insbesondere aus regelungstechnischen Gründen, und aus EMV-Gründen vorteilhaft, wenn dieser Übergang gleichmäßig, d.h. möglichst linear, erfolgt.

**[0002]** Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein induktives Bauelement für einen Wechselrichter sowie einen Wechselrichter bereitzustellen, die bei hohen Schaltfrequenzen auch im Überlastbereich stets eine ausreichende Kommutierungs-Induktivität zur Verfügung stellen können.

**[0003]** Die Lösung der Aufgabe besteht in einem induktiven Bauelement nach Patentanspruch 1 sowie in einem Wechselrichter nach Patentanspruch 12.

**[0004]** Der Patentanspruch 1 umfasst ein induktives Bauelement, beispielsweise eine Drosselspule für einen Wechselrichter mit einem ersten magnetischen Teilkern aus einem ersten Kernmaterial und mit einem zweiten magnetischen Teilkern aus einem zweiten Kernmaterial. Ein Teilkern kann aus einem soliden Stück bestehen oder aus mehreren Segmenten aus identischem Material zusammengesetzt sein. Dabei unterscheidet sich das zweite Kernmaterial insbesondere in seinen magnetischen Eigenschaften vom ersten Kernmaterial. Der erste Teilkern und der zweite Teilkern bilden einen magnetischen Kern im Weiteren auch Kernpaket genannt, der/das von mindestens einer umlaufenden Wicklung eines elektrischen Leiters umgeben ist. Somit sind auch mehrphasige Spulen, die von mehreren getrennten elektrischen Leitern umlaufen werden, mit umfasst. Das Kernpaket kann auch drei oder mehrere Teilkerne aufweisen, die wiederum magnetische Materialien umfassen, die sich in ihren magnetischen Eigenschaften vom ersten und vom zweiten Kernmaterial unterscheiden.

**[0005]** Das beschriebene induktive Bauelement gemäß Patentanspruch 1 weist dabei den Vorteil auf, dass durch die unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften der einzelnen Teilkerne diese bei Veränderung der Stromstärke durch den elektrischen Leiter unterschiedlich in der Änderung ihrer Induktivität reagieren können. Somit ist das Kernmaterial während der Konstruktion derart auswählbar, dass bei einer signifikanten Änderung des durch die Wicklung fließenden Stromes beispielsweise der zweite Kern korrigierend auf den gewünschten Verlauf der Induktivität wirkt.

**[0006]** In einer bevorzugten Ausgestaltungsform der Erfindung ist die Kombination der Teilkerne so gewählt, dass der Induktivität-Strom-Verlauf in der Art verläuft, dass ein degressiver Bereich auftritt, in dem die Induktivität mit Erhöhung des Stroms, ausgehend von einer Maximalinduktivität abfällt und bei einer maximalen für das Bauelement zulässigen Stromstärke einen Minimalinduktivitätswert annimmt, der mindestens 30 % der Maximalinduktivität beträgt. Bevorzugt liegt die Minimalinduktivität in einem Bereich von 40 % und 70 % der Maximalinduktivität.

**[0007]** Die Maximalinduktivität  $L_{\max}$  liegt dabei bei einem Strom vor, der für den Dauerbetrieb des Bauelements ausgelegt ist. Der Dauerbetriebszustand, nach der Nomenklatur der Nennbetriebsarten auch als S1 bezeichnet, ist der Betriebszustand, in dem eine elektrische Maschine in Dauerbetrieb betrieben werden kann, ohne dabei Schaden zu nehmen. Dieser Dauerbetriebszustand ist nach der internationalen Norm IEC60034-1 und nach der europäischen Norm EN60034-1 definiert. Das beschriebene induktive Bauelement ist in der Regel Bestandteil eines übergeordneten Gerätes, beispielsweise des bereits beschriebenen Wechselrichters. Dabei ist mit dem zulässigen Dauerbetriebszustand der Dauerbetriebszustand des übergeordneten Geräts, also des Wechselrichters gemeint, der damit auch der Dauerbetriebszustand des induktiven Bauelementes ist. Die Minimalinduktivität  $L_{\min}$  liegt bei dem für das Bauelement und für das übergeordnete Gerät nach den oben genannten Normen zulässigen Maximalstrom  $I_{\max}$  vor.

**[0008]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der degressive Bereich eine Linearität auf, die nicht mehr als 30 % von der linearen Interpolation zwischen der Maximalinduktivität und der Minimalinduktivität abweicht. Ein Verlauf nach diesen Kriterien ist für die Stabilität der Regelung des Umrichters, das EMV-Verhalten und die wirtschaftlichen Realisierungsmöglichkeiten der Induktivität gleichermaßen vorteilhaft. Besonders bevorzugt ist die Linearität des degressiven Bereiches noch intensiver und sie weicht nicht mehr als 20 % und ganz bevorzugt nicht mehr als 10 % von der linearen Interpolation zwischen der Maximalinduktivität und der Minimalinduktivität ab.

**[0009]** Ferner ist es vorteilhaft, dass der Induktivität-Strom-Verlauf in der Art verläuft, dass ein horizontaler Bereich auftritt, in dem die Induktivität bei steigender Stromstärke im Wesentlichen konstant verläuft. Der horizontale Bereich der Induktivität verläuft bis zu einem gewissen Strom (beispielsweise und bevorzugt der Spitzenstrom im S1-Betrieb),

wobei die Induktivität im horizontalen Bereich keine oder nur eine geringe Stromabhängigkeit aufweist. Der horizontale Bereich kann sehr eng ausfallen und bereits bei einem Strom nahe 0 Ampere in den degressiven Bereich übergehen. Am Übergang zwischen dem horizontalen Bereich und dem degressiven Bereich liegt die Maximalinduktivität vor. Oberhalb dieses Stromes ergibt sich ein Abfall der Induktivität vom erregenden Strom, der bis mindestens zu einem Stromwert,

vorzugsweise dem Spitzenstrom der höchst-zulässigen Betriebsart, bevorzugt linear abnimmt (degressiver Bereich).  
**[0010]** Um noch stärkere Anstiege der Stromstärke  $I$  zu kompensieren und gleichzeitig dabei eine minimale Induktivität bereitzustellen, ist es zweckmäßig, dass ein dritter Teilkern vorgesehen ist, der ebenfalls derart ausgestaltet ist, dass er sich in seinem Kernmaterial von dem Kernmaterial des ersten und des zweiten Kernes unterscheidet. Mit dem dritten Teilkern ist es möglich, die Stromstärke noch weiter zu erhöhen, wobei die Mindestinduktivität und der gewünschte Verlauf durch den dritten Teilkern gewährleistet ist.

**[0011]** In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsform der Erfindung ist das erste Kernmaterial ein Elektroblech oder umfasst ein Ferrit. Dabei handelt es sich um übliche Materialien für Kernwerkstoffe, die bei Dauerlastbetrieb bei herkömmlichen Frequenzen entsprechende induktive Eigenschaften aufweisen. Dabei ist es ebenfalls zweckmäßig, für das zweite Kernmaterial ein Eisenpulver zu verwenden,

**[0012]** Ebenfalls ist es zweckmäßig, dass der erste und der zweite Teilkern als Ringkerne oder E-Kerne ausgestaltet sind, da sich bei dieser geometrischen Ausgestaltung die Teilkerne magnetisch optimal kombinieren lassen.

**[0013]** Grundsätzlich ist es auch zweckmäßig, wenn der erste und der zweite, ggf. auch der dritte Ring geometrisch kongruent ausgestaltet sind. Auf diese Art und Weise können der erste Teilkern und der zweite Teilkern parallel aneinandergelegt werden und von der Wicklung umgeben werden.

**[0014]** Eine weitere Ausgestaltungsform der Erfindung besteht in einem Wechselrichter, der ein induktives Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfasst. Ein derart ausgestalteter Wechselrichter weist dieselben vorteilhaften Eigenschaften auf, die durch das induktive Bauelement bestimmt werden und die bereits diesbezüglich erörtert sind.

**[0015]** Ein derartiger Wechselrichter ist bevorzugt in der Art ausgestaltet, dass er für Schaltfrequenzen über 30 kHz geeignet ist. Dies gilt auch für Wechselrichter, die Halbleiterschalter enthalten, die auf sogenannten Wide Band Gap-Halbleiter, beispielsweise Siliciumcarbid oder Galliumnitrid basieren.

**[0016]** Weitere Ausgestaltungsformen und weitere Merkmale der Erfindung werden anhand der folgenden Figuren näher erläutert. Merkmale mit derselben Bezeichnung in unterschiedlicher Ausgestaltungsform werden dabei mit einem Aufstrich bezeichnet. Bei den Figuren handelt es sich um rein schematische Ausgestaltungsformen, die keine Einschränkung des Schutzbereichs darstellen.

**[0017]** Dabei zeigen:

Figur 1 mehrere magnetische Ringteilkerne für eine Drosselspule mit unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften,

Figur 2 wobei die Teilkerne aus Figur 1 geometrisch zusammengesetzt sind,

Figur 3 eine Drosselspule für einen Wechselrichter mit Teilkernen gemäß Figur 1 und 2 und einer Wicklung,

Figur 4 ein induktives Bauelement in Form einer Drosselspule mit E-förmigen Teilkernen und

Figur 5 ein induktives Bauelement in Form einer Drosselspule mit U-förmigen Teilkernen,

Figur 6 eine schematische Darstellung des Stromverlaufes durch das induktive Bauelement und

Figur 7 eine beispielhafte Darstellung des Abfalles eines geometrischen Wertes der Drosselspule mit dem Stromverlauf.

Figur 8 ein beispielhafter Verlauf der Induktivitäten mehrerer Teilkerne und die daraus resultierende Gesamtinduktivität.

**[0018]** In den Figuren 1 - 3 ist der Zusammenbau eines induktiven Bauelementes 2 in Form einer Drosselspule für einen Wechselrichter dargestellt. Zunächst werden zwei ringförmige Teilkerne, ein erster magnetischer Teilkern 4 und ein zweiter magnetischer Teilkern 8 aufeinandergelegt. Diese beiden Teilkerne 4, 8 stellen grundsätzlich die einfachste Form des beschriebenen induktiven Bauelementes dar. Beide Kerne 4, 8 weisen jeweils ein Kernmaterial 6, 10 auf, die beide in ihren magnetischen Eigenschaften voneinander verschieden sind. Im Weiteren sind, in einer bereits spezielleren Ausgestaltung gemäß Figur 2 noch ein dritter Ring 16 und ein vierter Ring 18 vorgesehen, die konzentrisch in die Ringe 4, 8 eingesetzt werden und entweder auch aus dem Material 6 oder 10 bestehen können oder aus einem dritten und/oder vierten Material. Somit erhält man ein Kern in Form eines Kernpakets 14, das in Figur 2 dargestellt ist. Alternative

Kernpakete 14' und 14'' sind in den Figuren 4 und 5 dargestellt. Das Kernpaket 14 wird, wie in Figur 3 dargestellt, mit einer umlaufenden Wicklung 12 eines elektrischen Leiters umgeben. Dabei ist die Anzahl der Wicklungen 12, die das Kernpaket 14 umgeben, mit N bezeichnet.

**[0019]** Alternative Ausgestaltungsformen dieses induktiven Bauelementes in Form einer Drosselspule für einen Wechselrichter sind in den Figuren 4 und 5 gegeben, wobei in der Figur 4 die Teilkern 4' und 8' in Form von E-förmigen Teilkernen ausgestaltet sind und in Figur 5 in Form von U-förmigen Teilkernen (4'' und 8'' sowie 16'' und 18'') ausgestaltet sind.

**[0020]** Das so dargestellte induktive Bauelement 2 in Form einer Drossel kann mit dieser Konstruktion so ausgelegt werden, dass im S1-Betrieb das Material des ersten Teilkernes 4, beispielsweise in Form eines Ferrit-Teilkernes, den magnetisch dominanten Pfad herstellt und den gewünschten gleichmäßigen Induktivitätsverlauf herbeiführt. Die Auslegung der Teilkern 4 und 8 kann so erfolgen, dass im Überlastbetrieb die Permeabilität des ersten Teilkernes 4 einbricht, und der zweite Teilkern 8, der beispielsweise auf Basis eines anorganisch gebundenen Eisenpulvers ausgebildet ist, die Permeabilität auf den gewünschten Verlauf korrigiert. Diese Anordnung kann auf eine beliebige Anzahl an unterschiedlichen Teilkernen, zum Beispiel unter Einschluss des dritten Kernes 16, 16' bzw. 16'' und auch des vierten Kernes 18, 18' und 18'' für verschiedene Lastfälle erweitert werden. Dabei können die Kerne wie der erste Teilkern 4 und der zweite Teilkern 8 geometrisch kongruent sein und sie können auch wie die Teilkern 16 und 18 konzentrisch zu den Teilkernen 4 und 8 angeordnet sein. In den Ausführungsbeispielen der Figuren 4 und 5 sind alle verwendeten Teilkern 4', 4'', 8', 8'', 16', 16'' und 18' sowie 18'' geometrisch kongruent ausgestaltet.

**[0021]** In den Figuren 6 und 7 wird durch Diagramme schematisch veranschaulicht, wie die Wirkung der in den Figuren 1 - 5 beschriebenen induktiven Bauelemente magnetisch erfolgt. Hierbei ist in Figur 6 zunächst ein I-t-Diagramm aufgeführt, das den Stromverlauf des elektrischen Stromes, der durch die Spule 12 erfolgt, geglättet widerspiegelt. Dabei ist die erste Kurve  $I_{S1}$  eine Grundstromwelle im Dauerbetrieb, die im Wesentlichen und im Idealfall sinusförmig verläuft. Im Lastfall kann die Stromstärke, die durch die Wicklung 12 verläuft, ähnlich wie in der zweiten Kurve, die mit  $I_{Sn}$  bezeichnet ist, aussehen. Hieraus ist zu erkennen, dass die sinusförmige Welle  $I_{Sn}$  eine deutlich höhere Amplitude aufweist als die Welle  $I_{S1}$ . Mit dem Index Sn, der den Stromverlauf der zweiten Stromwelle bezeichnet, wird ein beliebiger Lastfall einer Nennbetriebsart, beispielsweise der Lastfall S6, bezeichnet. Man kann erkennen, dass trotz der schematischen Darstellung der Grafik die Amplitude der  $I_{Sn}$ -Kurve deutlich höher ist, insbesondere um mehr als 100 % höher ist als die Amplitude der  $I_{S1}$ -Kurve in Dauerbetrieb. Das bedeutet, dass je nach Lastfall die Stromstärke um mehr als 100 % ansteigt, was erhebliche Auswirkungen auf die Induktivität des induktiven Bauelementes 2 hat.

**[0022]** Diese Auswirkung auf die Induktivität wird mithilfe der Figur 7 erläutert.

**[0023]** Da die erzielte Induktivität der Spule neben der Stromstärke und der Anzahl N der Wicklungen 12 und neben den magnetischen Eigenschaften des Teilkernes 4, 8, 16, 18 auch von dessen geometrischen Werten abhängig ist, wird bei handelsüblichen magnetischen Kernen ein sogenannter  $A_L$ -Wert, insbesondere für Ringkerne und Hülsen angegeben. Dieser repräsentiert die wirksame Induktivität bezogen auf eine Windung und muss zur Berechnung der tatsächlichen Induktivität L mit dem Quadrat der Windungszahl N multipliziert werden:

$$A_L = L / N^2$$

**[0024]** Der  $A_L$ -Wert ist die auf die Windungszahl N = 1 bezogene Induktivität L. Somit kann z. B. bei gegebenem  $A_L$ -Wert ohne Umweg über die geometrischen Daten des Kernes, direkt die gesuchte Windungszahl der Spule ermittelt werden:

$$N = (L / A_L)^{1/2}$$

**[0025]** Beispiel: Gesuchte Induktivität 100  $\mu$ H; der Kern hat einen  $A_L$ -Wert von 250 nH

$$N = (L / A_L)^{1/2} = (100000 / 250)^{1/2} = 20$$

Der Kern muss 20 Windungen tragen, um eine Induktivität von 100  $\mu$ H zu erzeugen. Umgekehrt kann mit derselben Beziehung bei einer festgelegten Windungszahl die Induktivität  $L = A_L N^2$  ermittelt werden.

**[0026]** Über den geometriebezogenen  $A_L$ -Wert kann somit vom Fachmann die Induktivität des Kernes bzw. im beschriebenen Anwendungsfalls des Teilkernes im Allgemeinen bestimmt werden. Bei handelsüblichen Kernen wird dabei üblicherweise eine Beziehung dargestellt, die den  $A_L$ -Wert in Relation zu einer Größe stellt, die zumindest proportional zur Stromstärke I ist. Eine derartige Darstellung ist sehr schematisch in Figur 7 abgebildet. Dabei kann man von einem gegebenen Ring ausgehen, der bei einer bestimmten Stromstärke I einen  $A_{Lmax}$  aufweist. Mit steigender Stromstärke fällt der  $A_L$ -Wert und somit proportional die Induktivität stetig ab; in der Figur 7 sind die Grenzen für 80 % und für 50 % mit steigender Stromstärke I schematisch angegeben. Mit steigender Stromstärke I geht der  $A_L$ -Wert und mit ihm die

Induktivität gegen 0.

**[0027]** Abhängig von der Kerngeometrie und dem Kernmaterial sind die Verläufe des  $A_L$ -Wertes für jeden Kern sehr unterschiedlich. Dies hängt von dessen Material und dessen Geometrie ab. Bleibt die Geometrie wie bezüglich der Figuren 1 - 3 beschrieben, zumindest für die Teilkern 4 und 8 die gleiche, so wird die Änderung des  $A_L$ -Wertes durch die Verwendung unterschiedlicher magnetischer Materialien, beispielsweise Ferrite oder Eisen-Komposits, erzielt. Mit Hilfe des  $A_L$ -Wertes kann anhand der gegebenen Anzahl von Windungen bei einer bestimmten Stromstärke mittels einer Grafik, die grundsätzlich auf der Figur 7 basiert, die Induktivität des Teilkernes 4, 8 in Abhängigkeit von der Stromstärke bestimmt werden. Dabei ist es zweckmäßig, aus einer Vielzahl von marktüblich erhältlichen und wohldefinierten Kernen mindestens zwei als Teilkern auszuwählen, sodass die Beziehung des möglichst linearen Induktivitätsverlaufes erfüllt ist.

**[0028]** Da es hierfür eine Vielzahl von möglichen geometrischen magnetischen Anwendungsfällen gibt, ist es möglich, aus diesen Bedingungen und mithilfe der handelsüblichen technischen Spezifikationen von magnetischen Kernen diese Bedingung in einem dem Lastfall entsprechenden Anwendungsfall gezielt einzustellen. Ein wichtiger Vorteil dieser beschriebenen Drosselspule besteht darin, eine kostengünstige Anordnung zu finden, um den Induktivitätsverlauf der Drossel gezielt auf den Anwendungsfall anpassen zu können und dabei den Einsatz von kostenintensiven Kernmaterialien auf eine minimale Menge zu reduzieren. Je nach spezieller Anforderung können hierbei und durch die beschriebene Vorgabe die Drosselspulen in Modulbauweise flexibel dargestellt werden und die entsprechenden technischen Voraussetzungen erfüllt werden.

Ausführungsbeispiel:

**[0029]** Soll die Induktivität beispielsweise 100  $\mu\text{H}$  bei Nullstrom betragen, und diesen Wert beispielsweise bis zum Spitzenstrom  $I_D$  im S1-Betrieb von beispielsweise 50 A beibehalten, so hat sie erfindungsgemäß, beispielsweise im S4-Betrieb, bei einem Spitzenstrom von 200 A beispielsweise ca. 70 % von 100  $\mu\text{H}$  gleich 70  $\mu\text{H}$  mit einer Abweichung von nicht mehr als 10 % zu betragen. Aus der Forderung, dass der Abfall weitgehend linear erfolgt, ergibt sich in diesem Beispiel, dass bei einem Strom von 150 A die Induktivität um ca. 20 % von 100  $\mu\text{H}$  (gleich 80  $\mu\text{H}$ ) abgefallen sein darf mit einer maximalen Abweichung vom  $\pm 10$  % (80  $\mu\text{H} \pm 10$  % entspricht 72  $\mu\text{H}$  bis 88  $\mu\text{H}$ ). Aufgrund der Vielzahl an erhältlichen Kerngrößen und Materialien, kann das gewünschte Verhalten häufig durch verschiedene Kombinationen an Kernen, Materialien und Windungen realisiert werden.

**[0030]** Eine Realisierung des Ausführungsbeispiels ist in Tabelle 1 und in Figur 8 dargestellt. Der erste Teilkern besteht aus vier Segmenten, die von dem Hersteller "Magnetics-Incorporation" unter den Teilenummern "0058737A2" und "0058339A2" gelistet sind. Die anderen Teilkern bestehen aus jeweils nur einem Segment. Vorzugsweise werden alle Segmente, die identische Abmessungen haben, aufeinander gestapelt, es ergeben sich hier zwei Stapel aus je sechs Segmenten; die beiden Stapel können hier zur Reduktion der Wicklungslänge ineinander gestellt werden (analog, allerdings nicht identisch mit den Teilkernen 4, 6, 16 zu den Figuren 1 bis 3, daher wird in diesem Beispiel auf Bezugszeichen für Teilkern verzichtet). Das so entstandene Kernpaket 14 wird mit der Wicklung 12 bestehend aus 10 Windungen umschlungen.

**[0031]** Die so gebildete Induktivität zeigt den Verlauf einer Gesamt-Induktivität 22 in Figur 8 im Vergleich zu dem gewünschten linearen Verlauf der linearen Interpolation 30.

**[0032]** Zum besseren Verständnis sind die Beiträge der drei Teilkern der beispielhaften Ausführung aus Tabelle 1 zur Gesamtinduktivität in die Grafik übernommen worden und durch die Kurven 24, 26 und 28 veranschaulicht.

**[0033]** Für die beschriebene Ausführung ist es nicht erheblich, welchen Verlauf 24, 26, 28 die einzelnen Teilkern aufweisen, solange die Summe ihrer Beiträge eine Gesamt-Induktivität 22, die das genannte im Idealfall lineare Verhalten der linearen Interpolation 30 über den gewünschten Bereich im festgelegten Toleranzbereich zeigt, ergibt. Die Wahl der Teilkern ist vorzugsweise so vorzunehmen, dass die Wicklungslänge minimal bleibt. Es ist zu erkennen, dass Teilkern mit dem Induktionsverlauf 24 den Hauptteil der Induktivität bewirkt, die Teilkern mit den Verläufen 26 und 28 wirken korrigierend, um das gewünschte lineare Verhalten der Interpolation 30 herbeizuführen.

**[0034]** In dem Beispiel gemäß Figur 8 ist die Wahl der Teilkern in der Art erfolgt, dass die korrespondierenden Induktivitätsverläufe 24, 26, 28 in dem Gesamtinduktivitätsverlauf 28 resultieren. Der Gesamtinduktivitätsverlauf 28 weist dabei einen quasi linearen Bereich auf, der zwischen dem Strom  $I_D$ , dem maximal zulässigen Dauerstrom im S1-Betrieb und dem Strom  $I_{\text{max}}$ , dem für das Bauteil maximal zulässigen Strom (dieser kann beispielsweise im S4-Betrieb oder im S6-Betrieb auftreten) verläuft. Dieser Verlauf wird weitgehend durch die lineare Interpolation 30 beschrieben, wobei der Verlauf 22 in dem beschriebenen Stromintervall möglichst weniger als eine 30%ige Abweichung von der linearen Interpolation aufweist. Besonders bevorzugt ist die Abweichung geringer als 20 % und geringer als 10 %, wie dies in Figur 8 dargestellt ist. Zudem weist der Verlauf 22 einen horizontalen Verlauf 32 auf, der bei einer Stromstärke zwischen 0 A und dem Dauerbetriebsstrom  $I_D$  liegt, der im vorliegenden Beispiel 50 A beträgt.

Tabelle 1: Erfindungsgemäße Zusammenstellung des Kerns mit einer Wicklung aus 13 Windungen

|                                                                                                   | Teilkern I                                                           | Teilkern II                                                      | Teilkern III                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Kerngröße                                                                                         | "740" & "337"                                                        | "740"                                                            | "337"                                                         |
| Abmessungen<br>( $\varnothing_{\text{ausßen}} \times \varnothing_{\text{in-nen}} \times$<br>Höhe) | 75 x 44,5 x 36 mm <sup>3</sup> bzw.<br>134 x 77 x 27 mm <sup>3</sup> | 75 x 44,5 x 36 mm <sup>3</sup> bzw.                              | 134 x 77 x 27 mm <sup>3</sup>                                 |
| Material                                                                                          | "High-Flux 60"                                                       | "Kool-M $\mu$ 60"                                                | "Kool-M $\mu$ 40"                                             |
| Anzahl Segmente                                                                                   | 2x 740<br>2x 337                                                     | 1                                                                | 1                                                             |
| Hersteller                                                                                        | Magnetics-Incorporation<br>110 Delta DrivePittsburgh<br>PA 15238     | Magnetics-Incorporation<br>110 Delta DrivePittsburgh<br>PA 15238 | Magnetics-Incorporation<br>110DeltaDrivePittsburghPA<br>15238 |
| Herstellernummer der<br>Segmente                                                                  | "740": 0058737A2<br>"337": 0058339A2                                 | 0077737A7                                                        | 0077339A7                                                     |

**[0035]** Des Weiteren ist das beschriebene induktive Bauelement 2 in Form einer Drosselspule Bestandteil eines Wechselrichters, der hier nicht dargestellt ist. Hierbei ist die beschriebene Anordnung insbesondere für Wechselrichter mit einer hohen Schaltfrequenz von > 30 kHz zweckmäßig. Eine derartige Schaltfrequenz wird insbesondere bei den sogenannten Wide Band Gap-Halbleitern, insbesondere Halbleiterschaltern auf Siliciumcarbid- und Aluminiumnitrid-Basis angewandt.

#### Bezugszeichenliste

#### [0036]

- 2 induktives Bauelement
- 4 erster magnetischer Teilkern
- 6 erstes Kernmaterial
- 8 zweiter magnetischer Teilkern
- 10 zweites Kernmaterial
- 12 Wicklung
- 14 Kernpaket
- 16 dritter magnetischer Kern
- 18 vierter magnetischer Kern
- 20 drittes Kernmaterial
- 22 Gesamtinduktivität
- 24 Induktivität erster Teilkern
- 26 Induktivität zweiter Teilkern
- 28 Induktivität dritter Teilkern
- 30 lineare Interpolation
- 32 horizontaler Bereich
- $L_{\text{max}}$  Maximalinduktivität
- $L_{\text{min}}$  Minimalinduktivität
- $I_D$  Dauerbetriebsstrom
- $I_{\text{max}}$  Maximalstrom

#### Patentansprüche

1. Induktives Bauelement (2) für einen Wechselrichter mit

- einem ersten magnetischen Teilkern (4) aus einem ersten Kernmaterial (6),
- einem zweiten magnetischen Teilkern (8) aus einem zweiten Kernmaterial (10), wobei das zweite Kernmaterial

(10) vom ersten Kernmaterial (6) verschieden ist,

und mindestens der erste Teilkern und der zweite Teilkern einen magnetischen Kern bilden, der von einer umlaufenden Wicklung (12) eines elektrischen Leiters umgeben ist.

- 5  
2. Induktives Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kombination der Teilkerne so gewählt ist, dass der Induktivität-Strom-Verlauf in der Art verläuft, dass ein degressiver Bereich auftritt, in dem die Induktivität mit Erhöhung des Stroms ausgehend von einer Maximalinduktivität abfällt und bei einer maximalen für das Bauelement zulässigen Stromstärke einen Minimalinduktivitätswert annimmt, der mindestens 30 % der Maximalinduktivität beträgt.
- 10  
3. Induktives Bauelement nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der degressive Bereich eine Linearität aufweist, die nicht mehr als 30 % von der linearen Interpolation zwischen der Maximalinduktivität und der Minimalinduktivität abweicht.
- 15  
4. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Induktivität-Strom-Verlauf in der Art verläuft, dass ein horizontaler Bereich auftritt, in dem die Induktivität bei steigender Stromstärke im Wesentlichen konstant verläuft.
- 20  
5. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Minimalinduktivität einen Wert aufweist, der zwischen 40 % und 70 % der Maximalinduktivität liegt.
- 25  
6. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Linearität nicht mehr als 20 %, bevorzugt nicht mehr als 10 % von der linearen Interpolation zwischen der Maximalinduktivität und der Minimalinduktivität abweicht.
7. Induktives Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das erste Kernmaterial (6) ein Elektrolech oder ein Ferrit umfasst.
- 30  
8. Induktives Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das zweite Kernmaterial (10) ein Eisenpulver umfasst.
- 35  
9. Induktives Bauelement nach Anspruch 8, bei dem das zweite Kernmaterial (10) ein Eisenpulver in einem anorganischen Komposit umfasst.
- 40  
10. Induktives Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der erste und zweite Kern (4, 8) Ringkerne sind.
- 45  
11. Induktives Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein dritter magnetischer Teilkern (16) vorgesehen ist, der ein drittes Kernmaterial umfasst, das von dem zweiten Kernmaterial und dem ersten Kernmaterial verschieden ist.
- 50  
12. Induktives Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der erste und zweite Kern (4', 8') E-förmige Kerne oder U-förmige Kerne sind.
- 55  
13. Wechselrichter mit einem induktiven Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 12.
14. Wechselrichter nach Anspruch 13, ausgelegt für eine Schaltfrequenz über 30 kHz.
15. Wechselrichter nach Anspruch 13 oder 14 umfassend Halbleiterschalter auf Basis von Siliziumcarbid oder Galliumnitrid.

FIG 1

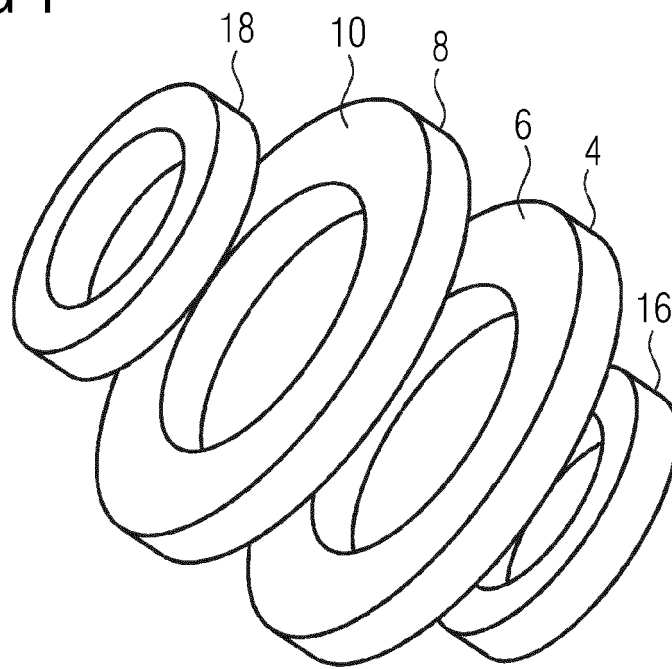


FIG 2

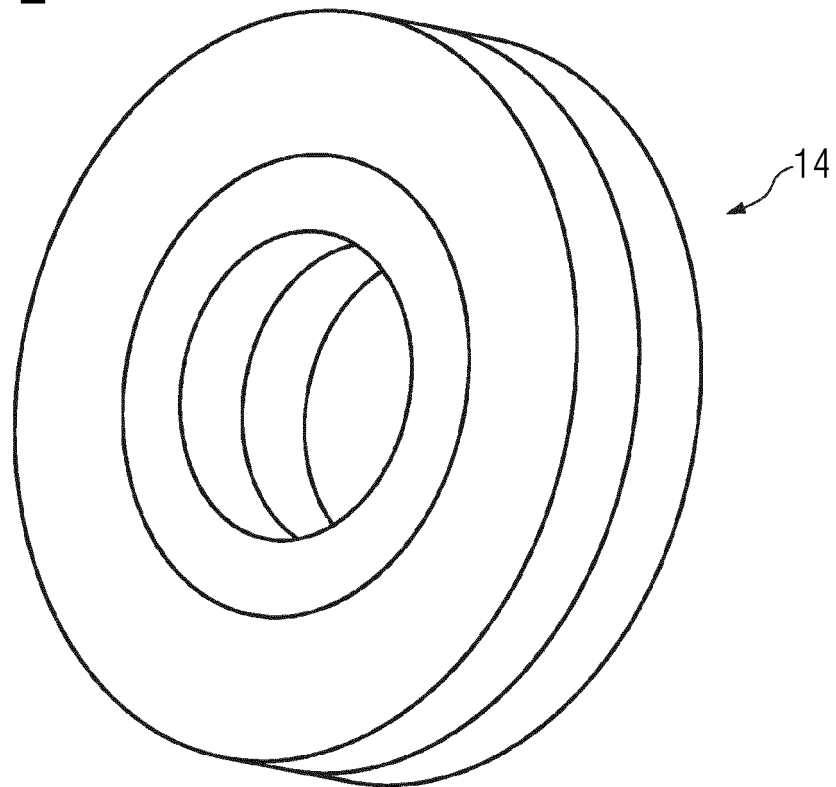


FIG 3

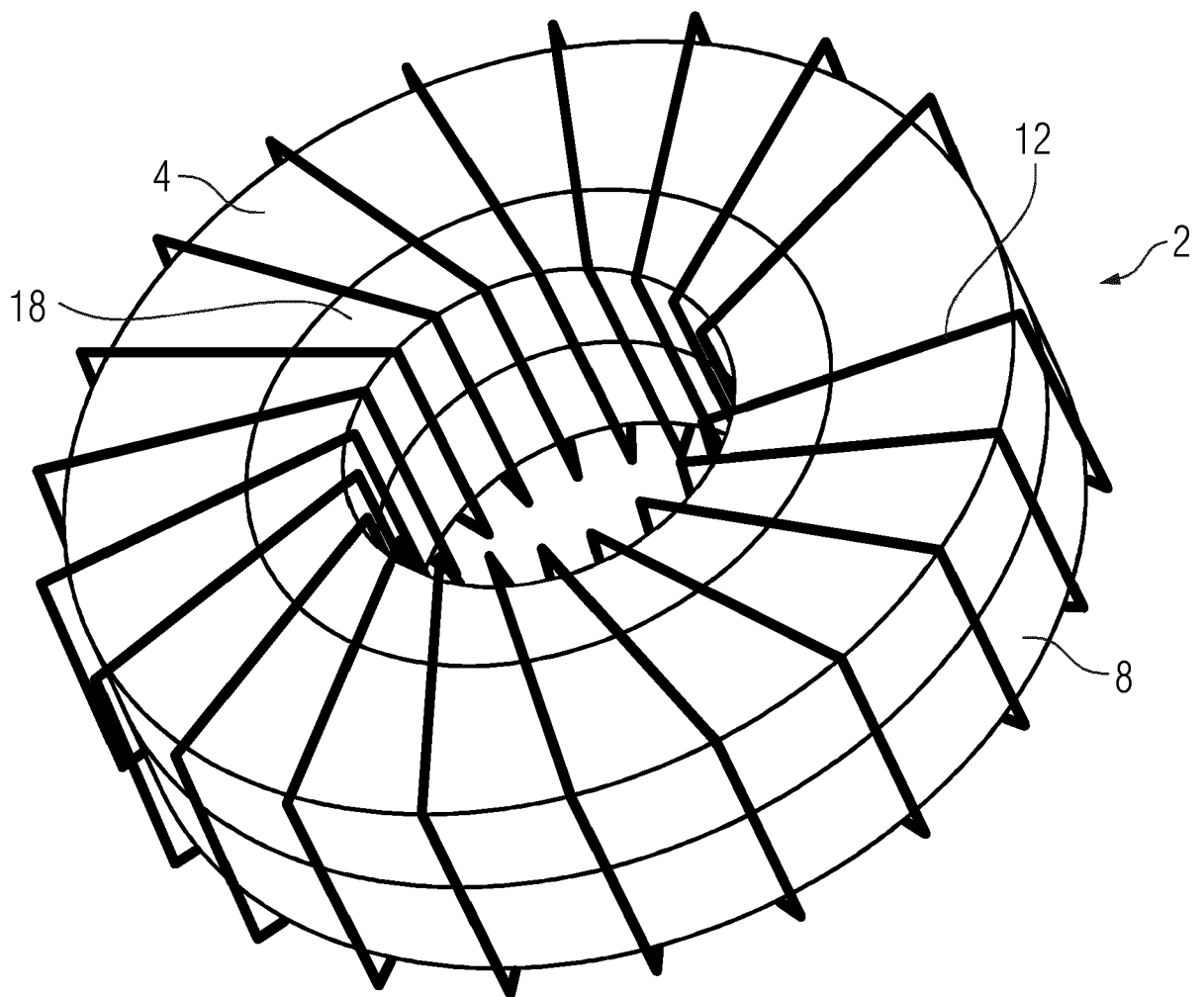


FIG 4

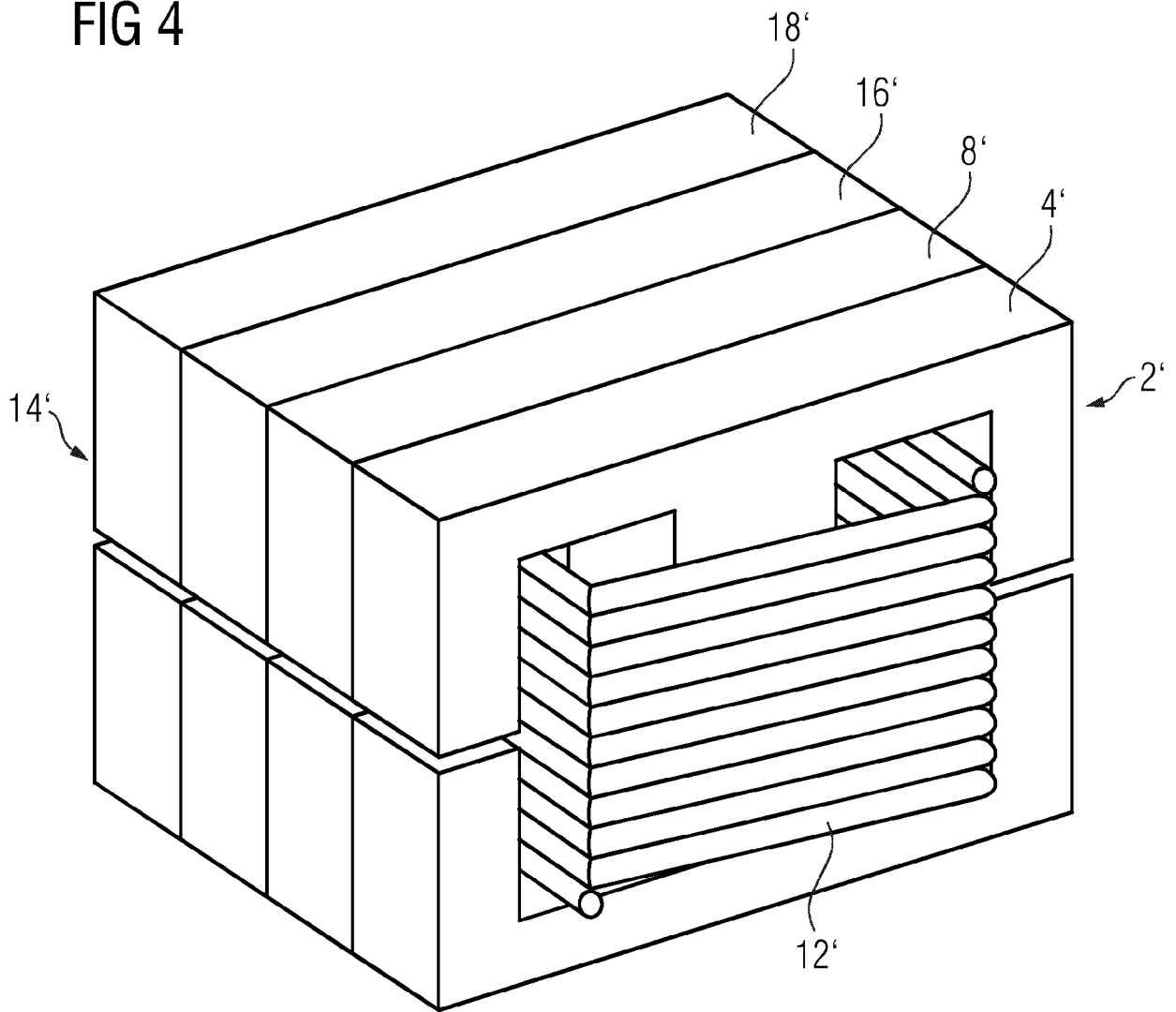


FIG 5

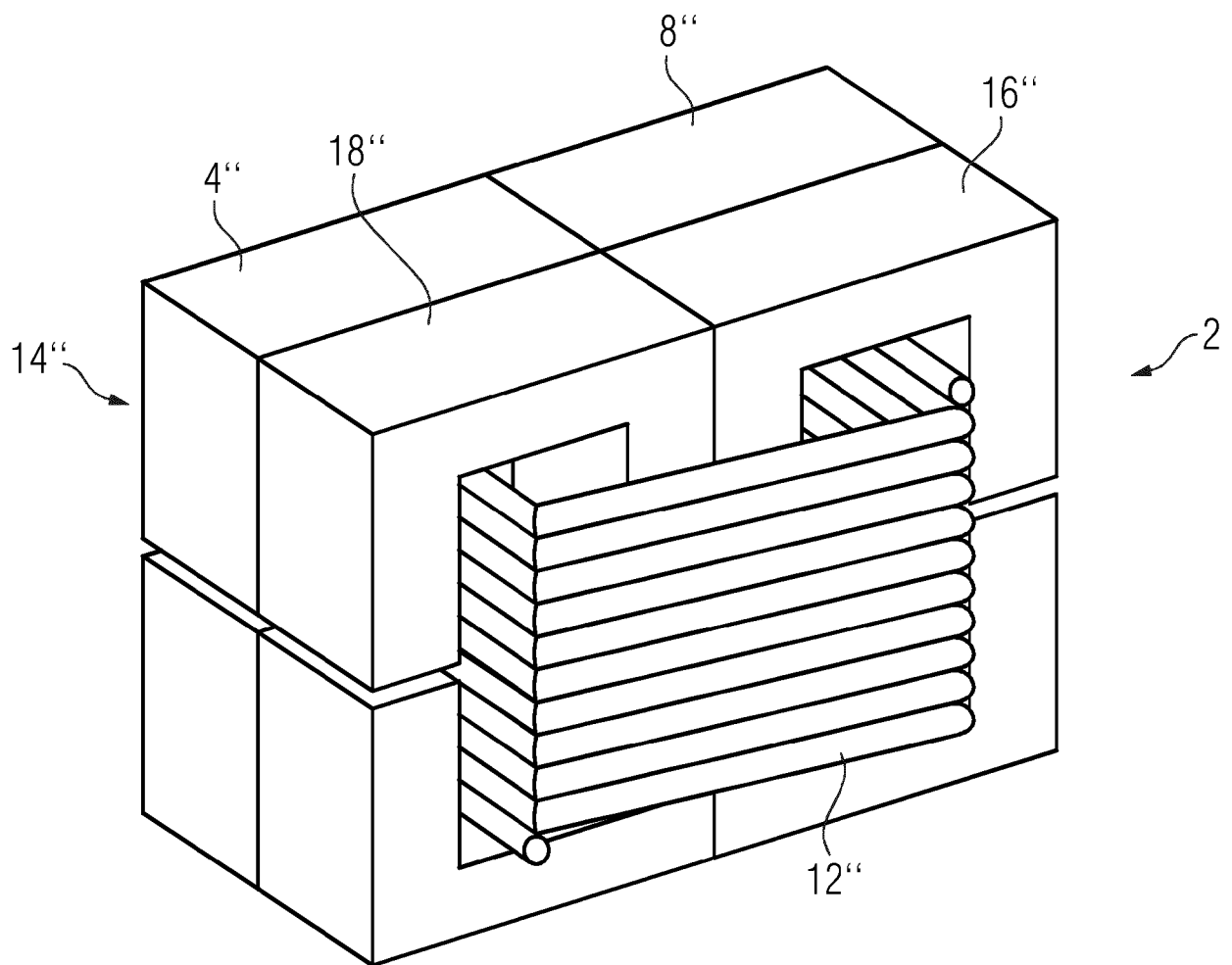


FIG 6

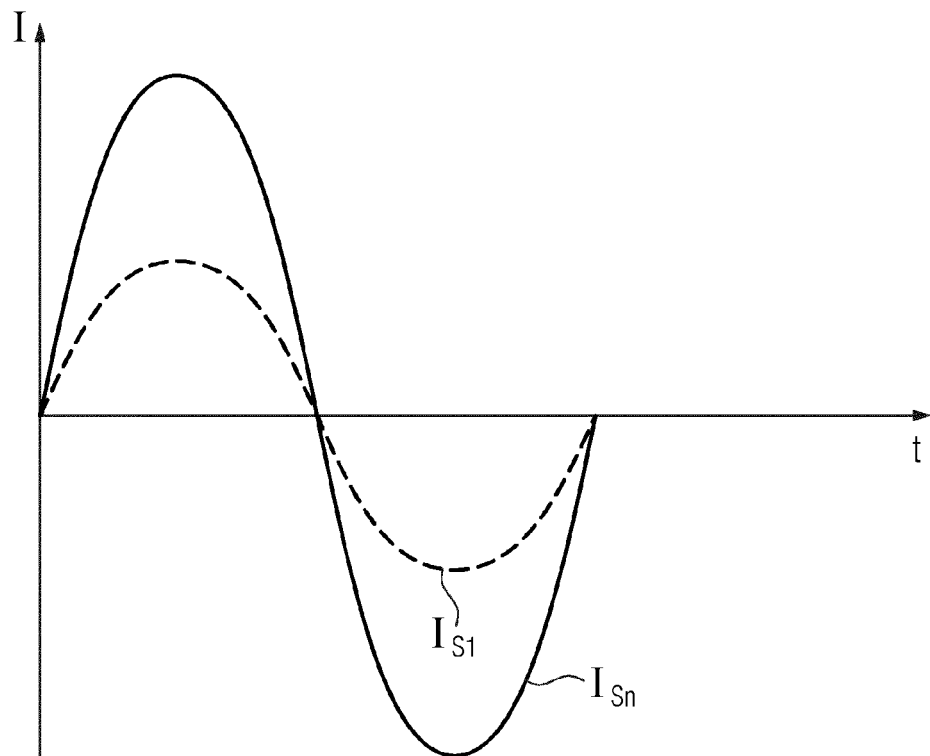


FIG 7

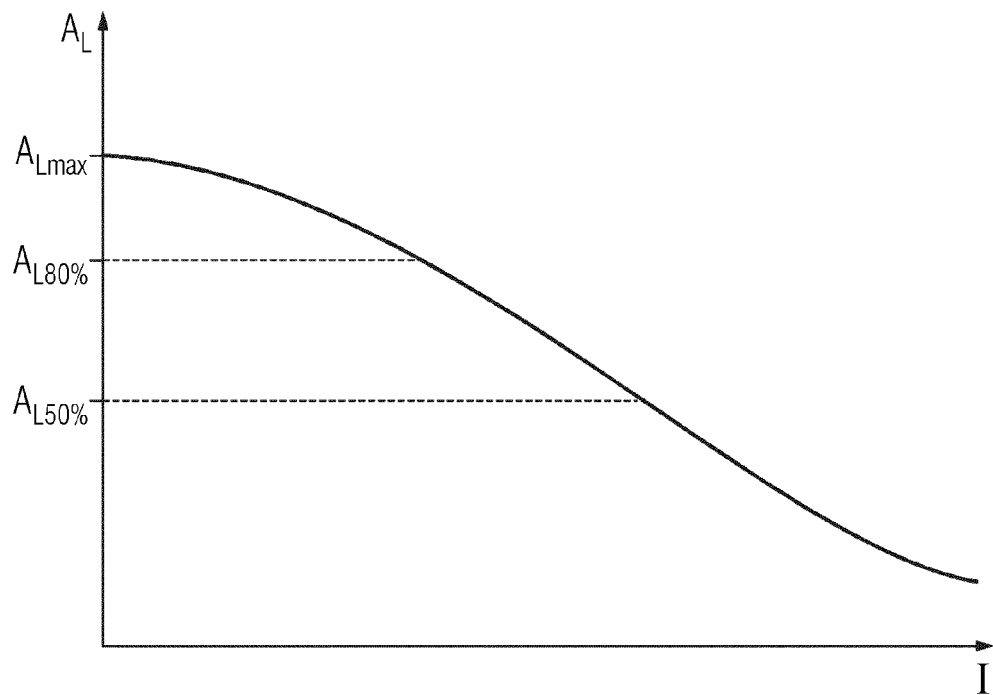
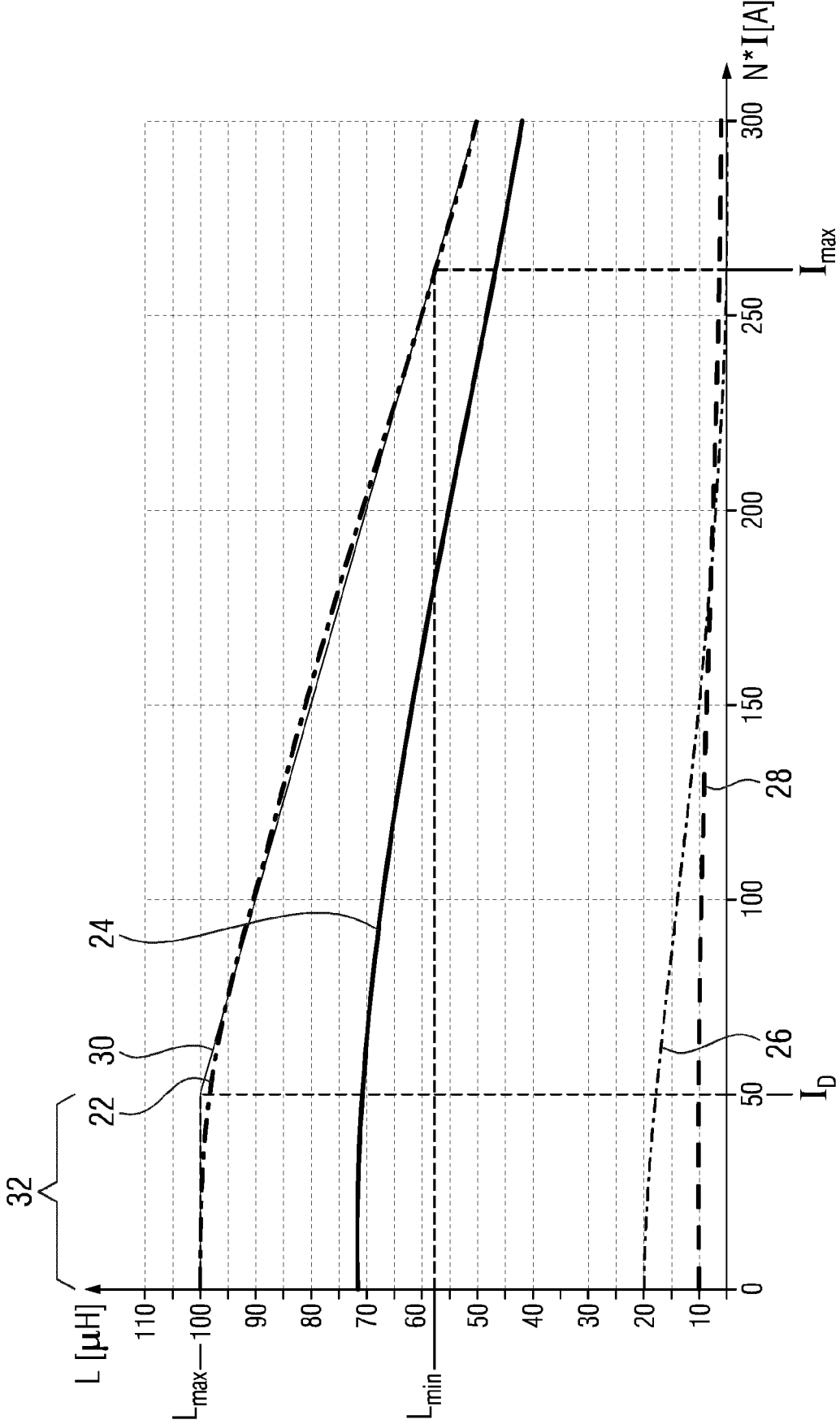


FIG 8





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 20 19 3287

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                                                                                                                                                                                                                                                                                         | DE 10 2018 117211 A1 (SMA SOLAR TECHNOLOGY AG) 23. Januar 2020 (2020-01-23)<br>* Abbildungen 1-3 *<br>* entsprechende Beschreibung *                          | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | INV.<br>H01F3/10<br>H01F3/08<br>H01F17/06<br>H01F38/02<br>H02M1/00 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | WO 2020/115360 A1 (ENSTO OY [FI])<br>11. Juni 2020 (2020-06-11)<br>* Abbildungen 5-7 *<br>* entsprechende Beschreibung *                                      | 1-11,<br>13-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | DE 10 2010 015410 A1 (SUMIDA COMPONENTS & MODULES GMBH [DE])<br>20. Oktober 2011 (2011-10-20)<br>* Abbildungen 1a,b,c,j,k *<br>* entsprechende Beschreibung * | 1-9,11,<br>15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | DE 10 2012 207416 A1 (WUERTH ELEKTRONIK EISOS GMBH & CO KG [DE])<br>7. November 2013 (2013-11-07)<br>* Abbildungen 1-3 *<br>* entsprechende Beschreibung *    | 1-11,<br>13-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | US 2012/326820 A1 (YU CHENG-HAN [TW] ET AL) 27. Dezember 2012 (2012-12-27)<br>* Abbildungen 1-4 *<br>* entsprechende Beschreibung *                           | 1-11,<br>13-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | H01F<br>H02M                                                       |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | EP 3 024 002 A1 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 25. Mai 2016 (2016-05-25)<br>* Abbildungen 1-5 *<br>* entsprechende Beschreibung *                            | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | EP 2 940 701 A2 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 4. November 2015 (2015-11-04)<br>* Abbildungen 2a,b *<br>* entsprechende Beschreibung *                       | 1-11,<br>13-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                               | -/--                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                    |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                    |
| Recherchenort<br><b>München</b>                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                               | Abschlußdatum der Recherche<br><b>8. Januar 2021</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Prüfer<br><b>Weisser, Wolfgang</b>                                 |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                               | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                                                    |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 20 19 3287

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                                                                                                                                                                                                                                                                                         | US 2006/125586 A1 (LEE CHENG-HONG [TW] ET AL) 15. Juni 2006 (2006-06-15)<br>* Abbildungen 1c-3 *<br>* entsprechende Beschreibung *                  | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | WO 2018/117595 A1 (LG INNOTEK CO LTD [KR]) 28. Juni 2018 (2018-06-28)<br>* Abbildungen 1-10 *<br>* entsprechende Beschreibung *                     | 1-9, 11, 13-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | DE 10 2014 218043 A1 (WÜRTH ELEKTRONIK EISOS GMBH & CO KG [DE]) 10. März 2016 (2016-03-10)<br>* Abbildungen 1-4 *<br>* entsprechende Beschreibung * | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | JP 2016 136592 A (JFE CHEMICAL CORP) 28. Juli 2016 (2016-07-28)<br>* Abbildung 1 *<br>* entsprechende Beschreibung *                                | 1-11, 13-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | CN 106 887 299 A (LAIRD ELECTRONIC MAT CO LTD) 23. Juni 2017 (2017-06-23)<br>* Abbildungen 1-4 *<br>* entsprechende Beschreibung *                  | 1-11, 13-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                    |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)    |
| Recherchenort<br><b>München</b>                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                     | Abschlußdatum der Recherche<br><b>8. Januar 2021</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Prüfer<br><b>Weisser, Wolfgang</b> |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                     | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>.....<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                    |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 19 3287

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.

08-01-2021

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| DE 102018117211 A1                                 | 23-01-2020                    | DE 102018117211 A1                | 23-01-2020                    |
|                                                    |                               | WO 2020015962 A1                  | 23-01-2020                    |
| WO 2020115360 A1                                   | 11-06-2020                    | FI 20186042 A1                    | 05-06-2020                    |
|                                                    |                               | WO 2020115360 A1                  | 11-06-2020                    |
| DE 102010015410 A1                                 | 20-10-2011                    | DE 102010015410 A1                | 20-10-2011                    |
|                                                    |                               | EP 2561520 A1                     | 27-02-2013                    |
|                                                    |                               | WO 2011131341 A1                  | 27-10-2011                    |
| DE 102012207416 A1                                 | 07-11-2013                    | KEINE                             |                               |
| US 2012326820 A1                                   | 27-12-2012                    | TW 201301315 A                    | 01-01-2013                    |
|                                                    |                               | US 2012326820 A1                  | 27-12-2012                    |
| EP 3024002 A1                                      | 25-05-2016                    | EP 3024002 A1                     | 25-05-2016                    |
|                                                    |                               | US 2016148748 A1                  | 26-05-2016                    |
| EP 2940701 A2                                      | 04-11-2015                    | EP 2940701 A2                     | 04-11-2015                    |
|                                                    |                               | US 2015318103 A1                  | 05-11-2015                    |
| US 2006125586 A1                                   | 15-06-2006                    | CN 1790563 A                      | 21-06-2006                    |
|                                                    |                               | US 2006125586 A1                  | 15-06-2006                    |
| WO 2018117595 A1                                   | 28-06-2018                    | CN 110114846 A                    | 09-08-2019                    |
|                                                    |                               | US 2020075218 A1                  | 05-03-2020                    |
|                                                    |                               | WO 2018117595 A1                  | 28-06-2018                    |
| DE 102014218043 A1                                 | 10-03-2016                    | CN 106605280 A                    | 26-04-2017                    |
|                                                    |                               | DE 102014218043 A1                | 10-03-2016                    |
|                                                    |                               | EP 3192090 A1                     | 19-07-2017                    |
|                                                    |                               | US 2017278614 A1                  | 28-09-2017                    |
|                                                    |                               | WO 2016037776 A1                  | 17-03-2016                    |
| JP 2016136592 A                                    | 28-07-2016                    | KEINE                             |                               |
| CN 106887299 A                                     | 23-06-2017                    | KEINE                             |                               |

EPO FORM P0461

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