

(19)



(11)

EP 3 910 654 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.11.2021 Patentblatt 2021/46

(51) Int Cl.:
H01F 27/34 (2006.01) **H01F 30/06** (2006.01)
H01F 30/10 (2006.01) **H01F 19/04** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20174391.1**

(22) Anmeldetag: **13.05.2020**

(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

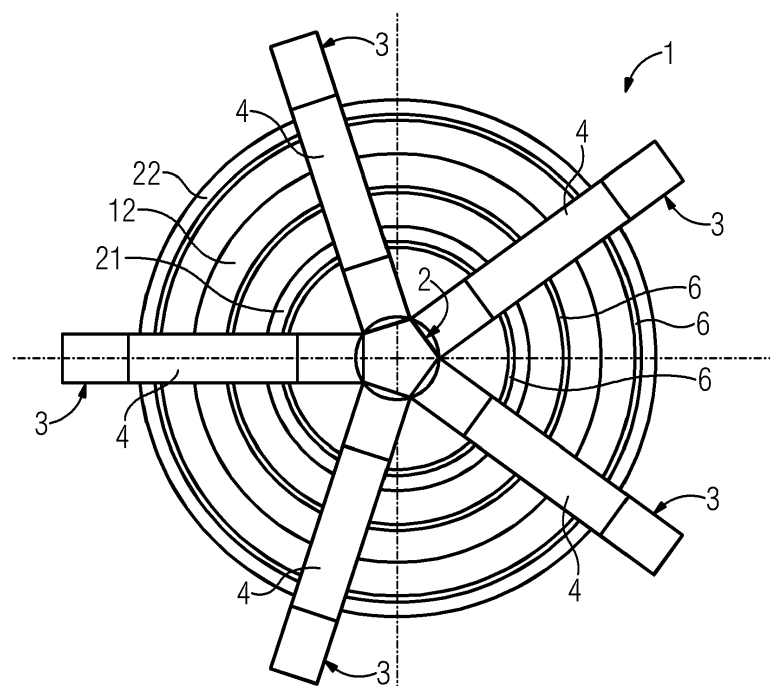
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **LUTZE, Marcel**
90459 Nürnberg (DE)
• **DRECHSLER, Eberhard**
01277 Dresden (DE)

(54) TRANSFORMATOR MIT ZYLINDERWICKLUNG

(57) Die Erfindung betrifft einen Transformator (1) aufweisend eine erste Wicklung (11) und eine zweite Wicklung (12) wobei die erste Wicklung (11) und die zweite Wicklung (12) konzentrisch um einen Schenkel (2) des Transformators (1) angeordnet sind. Zur Verbesserung des Transformators (1) wird vorgeschlagen, dass die erste Wicklung (11) eine erste Teilwicklung (21) und eine zweite Teilwicklung (22) umfasst, wobei die zweite Wicklung (12) zwischen der ersten Teilwicklung (21) der ers-

ten Wicklung (11) und der zweiten Teilwicklung (22) der ersten Wicklung (11) angeordnet ist. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Transformators (1), wobei der Transformator (1) mit Strömen und/oder Spannungen mit einer Frequenz im Bereich von 100Hz bis 500kHz betrieben wird. Die Erfindung betrifft weiter ein Computerprogrammprodukt zur Simulation eines Betriebsverhaltens eines derartigen Transformators (1) in einer elektrischen Umgebung.

FIG 2**EP 3 910 654 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Transformator mit einer ersten und einer zweiten Wicklung, wobei die erste Wicklung und die zweite Wicklung konzentrisch um einen Schenkel des Transformators angeordnet sind. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Transformators. Die Erfindung betrifft weiter ein Computerprogrammprodukt zur Simulation eines Betriebsverhaltens eines Transformators.

[0002] Transformatoren gibt es in einer Vielzahl von Ausprägungen. Sie dienen beispielsweise dazu, ein vorgebbares Spannungsniveau zu erzeugen, unterschiedliche Spannungsniveaus miteinander zu verbinden und/oder eine galvanische Trennung zwischen zwei Bereichen herzustellen. Je nach Anwendungsfall werden Transformatoren mit unterschiedlicher Frequenz betrieben. In Energieverteilungsnetzen oftmals mit 16 2/3Hz, 50Hz oder 60Hz. Mittelfrequenztransformatoren kommen im Frequenzbereich zwischen 100Hz und 500kHz zum Einsatz.

[0003] Allgemein weisen Transformatoren ein Wicklungssystem mit zumindest einer primär- und einer sekundärseitigen Wicklung, sowie einen Kern für die Führung des magnetischen Flusses auf. Der Teil des Kerns, um den die Wicklungen angeordnet sind, wird als Hauptschenkel bezeichnet. Dazu parallel verlaufen weitere Schenkel, die jedoch keine Wicklung aufweisen, und zum Rückschluss des Magnetkreises dienen. Diese werden auch als Rückschlussschenkel bezeichnet. Zumeist sind alle Schenkel parallel zueinander angeordnet. Die Schenkel, sowohl Hauptschenkel als auch Rückschlussschenkel, sind über ein Joch oder mehrere Joche derart miteinander verbunden, dass sich ein geschlossener Kreis als Kern für die Führung des magnetischen Flusses ergibt.

[0004] Der Kern aus Schenkel und Joch zur Führung des Magnetkreises wird beispielsweise aus einem Ferrit gebildet, dass den magnetischen Fluss gut und verlustarm führen und leiten kann, ohne in Sättigung zu gehen.

[0005] Der hier näher beschriebene Transformator weist eine Zylinderwicklungen auf. Das Wicklungssystem mit seinen Wicklungen ist dann zylinderförmig aufgebaut. Bei zwei Wicklungen umgibt die äußere Wicklung die innere Wicklung in radialer Richtung. Bei einem Schnitt durch diese Wicklungen entstehen konzentrische Kreise der Wicklungen. Daher beschreibt man die Zylinderwicklung auch dadurch, dass die Wicklungen konzentrisch um einen Schenkel angeordnet sind.

[0006] Das Wicklungssystem mit seinen beiden Wicklungen sollte unabhängig von dem Magnetkreis herstellbar sein, sodass bei der Fertigung des Transformators nur noch das Wicklungssystem mit dem Magnetkreismaterial verbunden werden muss.

[0007] Ein Transformator, der eine Zylinderwicklung besitzt und nur Wicklungen um genau einen Schenkel angeordnet sind, wird auch als Rundtransformator bezeichnet. Das Wicklungssystem eines Rundtransforma-

tors kann jedoch nicht über Teilwicklungen auf zwei bzw. mehrere Schenkel verteilt werden, sodass der zu übertragende Strom nur über die eine primärseitige und die eine sekundärseitige Wicklung fließt. Allenfalls ist es möglich, mehrere Leitungen für die Bildung eines Wicklungssystems parallel zueinander zu wickeln.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Transformator, insbesondere einen Rundtransformator, zu verbessern.

[0009] Diese Aufgabe wird durch einen Transformator, aufweisend eine erste Wicklung und eine zweite Wicklung, gelöst, wobei die erste Wicklung und die zweite Wicklung konzentrisch um einen Schenkel des Transformators angeordnet sind, wobei die erste Wicklung eine erste Teilwicklung und eine zweite Teilwicklung umfasst, wobei die zweite Wicklung zwischen der ersten Teilwicklung der ersten Wicklung und der zweiten Teilwicklung der ersten Wicklung angeordnet ist. Ferner wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Transformators gelöst, wobei der Transformator mit Strömen und/oder Spannungen mit einer Frequenz im Bereich von 100Hz bis 500kHz betrieben wird. Die Aufgabe wird weiter durch ein Computerprogrammprodukt zur Simulation eines Betriebsverhaltens eines derartigen Transformators in einer elektrischen Umgebung gelöst.

[0010] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0011] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich ein Transformator mit Zylinderwicklung dadurch verbessern lässt, dass eine erste Wicklung auf zwei Teilwicklungen aufgeteilt wird und diese Teilwicklungen die zweite Wicklung des Transformators in radialer Richtung gesehen von innen und außen umschließen. Daraus ergibt sich ein Aufbau der Wicklung von innen, am Schenkel beginnend, nach außen, also mit steigendem Radius von erster Teilwicklung der ersten Wicklung, gefolgt von der zweiten Wicklung. Daran schließt sich dann die zweite Teilwicklung der ersten Wicklung an. Durch diese Aufteilung werden die Wechselwirkungen zwischen den beiden Wicklungen derart minimiert, dass sich die Stromverdrängung gleichmäßig auf die erste Wicklung und die zweite Wicklung auswirkt. Somit kann für die Leiter der ersten und der zweiten Wicklung der gleiche wirksame Querschnitt verwendet werden. Der Leiter wird beispielsweise durch eine Leitung oder einen Draht gebildet, der zylinderförmig gewickelt um einen Schenkel angeordnet ist. Eine Wicklung kann dabei zur Erhöhung des wirksamen Querschnitts durch mehrere parallele Leitungen gebildet werden. Der wirksame Querschnitt ergibt sich unter anderem aus der Anzahl der parallelen Leitungen in der Wicklung. Durch die Stromverdrängung aufgrund der magnetischen Kopplung erhöht sich der Widerstand des Leiters. Das heißt, dass bei der vorgeschlagenen Anordnung aufgrund der geringen Stromverdrängung für die erste und die zweite Wicklung die gleiche Anzahl an parallelen Leitungen vorgesehen werden kann und sich damit ein gleicher Wi-

derstand in den Wicklungen ergibt.

[0012] Insbesondere dann, wenn das Übersetzungsverhältnis gleich 1 ist, können die Anzahl der parallelen Leitungen zur Herstellung der Wicklung bzw. der wirksame Leitungsquerschnitt der jeweiligen Wicklungen gleich gewählt werden, da in diesem Fall der gleiche Strom in den Wicklungen fließt. Falls das Übersetzungsverhältnis ungleich 1 ist, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Anzahl der Leitungen der jeweiligen Wicklungen bzw. die wirksamen Querschnitte der Leitungen im Verhältnis des Übersetzungsverhältnisses zu wählen, da dann die Verluste gleichmäßig auf die Wicklungen verteilt werden. Damit ist sichergestellt, dass auf der Oberspannungsseite, wo ein geringerer Strom fließt auch nur eine geringere Querschnittsfläche benötigt wird.

[0013] Insgesamt führt somit unabhängig vom Übersetzungsverhältnis des Transformators die Aufteilung der ersten Wicklung auf zwei Teilwicklungen, zu einer besseren Ausnutzung des Kupfers, da die Stromverdrängung in den einzelnen Leitungen des Wicklungssystems, d.h. in den einzelnen Leitungen der Wicklungen, teilweise deutlich reduziert wird. Mit anderen Worten kann trotz Verwendung von weniger Leitermaterial der elektrische Widerstand für den Leiter reduziert werden. Durch den geringeren Bedarf an Kupfer wird der Transformator nicht nur leichter, sondern auch teilweise deutlich kostengünstiger. Ebenso werden die Wicklungen vom Bauraum her kleiner, so dass auch der Kern des Transformators kleiner, leichter und kostengünstiger wird. Der Transformator lässt sich daher aufgrund seiner geringeren Baugröße auch leichter in unterschiedliche Anwendungen integrieren.

[0014] Da der Effekt der Stromverdrängung in der Leitung der Wicklungen sich mit steigender Frequenz in Form des Skin Effekts deutlich stärker bemerkbar macht, eignet sich ein derart aufgebauter Transformator insbesondere für die Verwendung im Mittelfrequenzbereich, also von Frequenzen im Bereich von 100Hz bis 500kHz. Diese mittelfrequenten Anteile wirken sich besonders stark auf die Stromverdrängung im Leiter aus. Ohne Aufteilung der ersten Wicklung auf zwei Teilwicklungen müsste man für einen verlustarmen Betrieb für die äußere Wicklung der Zylinderwicklung auch bei einem Übersetzungsverhältnis von eins ein Vielfaches von elektrisch parallel angeordneten Leitungen vorsehen, um einen verlustarmen Betrieb zu ermöglichen. Aufgrund des hohen Radius der außen liegenden Wicklung würde ein solcher Transformator unverhältnismäßig teuer werden, wenn man mit diesem Transformator Spannungen/Strömen im Mittelfrequenzbereich transformieren oder entkoppeln, wie beispielsweise galvanisch trennen, möchte.

[0015] Der vorgeschlagene Transformator mit der Aufteilung der ersten Wicklung auf zwei Teilwicklungen, welche die zweite Wicklung radial gesehen von innen und außen umgeben, weist darüber hinaus den Vorteil einer gleichmäßigen Erwärmung auf. Darüber hinaus lässt sich auch Kühlluft zwischen der jeweiligen Teilwicklung

und der zweiten Wicklung führen. Durch diese weiteren Kühlluftwege lässt sich der Transformator auch deutlich besser kühlen. Des Weiteren wird durch die Verringerung der Stromverdrängungen und damit der Verbesserung des elektrischen Widerstands der Wicklungen auch die Erwärmung von Wicklung und Kern verbessert, d.h. verringert, und macht damit Einsparung sowohl von Kupfer als auch Magnetwerkstoff möglich. Die einfache Geometrie der Wicklungsanordnung erlaubt darüber hinaus auch gleichzeitig eine Zeiteinsparung bei der Fertigung.

[0016] Durch die geringeren parasitären Effekte lässt sich auch das Betriebsverhalten leichter und vor allem genauer simulieren. Durch die Einbindung eines Modells für den Transformator kann das Betriebsverhalten einer gesamten Anlage genau untersucht, berechnet und beobachtet werden. Mit der elektrischen Umgebung sind Komponenten gemeint, mit denen der Transformator in einer elektrischen Wechselwirkung steht. Das sind zum Beispiel elektrische Verbraucher, die von einer Quelle über den Transformator mit elektrischer Energie versorgt werden oder elektrische Verbraucher, die parallel an einer Wicklung des Transformators betrieben werden.

[0017] Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die erste Teilwicklung und die zweite Teilwicklung der ersten Wicklung elektrisch parallel angeordnet. Die Parallelschaltung weist sich besonders positiv auf die Streufelder zwischen den beiden Wicklungen und damit auf die Wechselwirkungen zwischen den zwei Wicklungen aus. Durch die Parallelschaltung der beiden Teilwicklungen, aus der sich dann eine doppelt so große wirksame Querschnittsfläche im Vergleich zu einer einzelnen Teilwicklung ergibt, werden die Stromverdrängungseffekte in den Leitungen, insbesondere in den Leitungen der zweiten Wicklung, zum Teil deutlich reduziert. Die zweite Wicklung kann dann, insbesondere bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 mit der gleichen wirksamen Querschnittsfläche ausgeführt werden wie die erste Wicklung.

[0018] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung unterscheiden sich die effektive Leitungsquerschnitte der ersten Wicklung und der zweiten Wicklung in Abhängigkeit vom Übersetzungsverhältnis. Gerade für den Fall, dass das Übersetzungsverhältnis ungleich eins ist, also der Transformator zumindest nicht ausschließlich nur zur galvanischen Entkopplung genutzt wird, unterscheiden sich die Wicklungen in Oberspannungs- und Unterspannungsseite. Dabei sind auf der Oberspannungsseite und der Unterspannungsseite unterschiedliche Stromstärken zu beobachten. Durch den Stromverdrängungseffekt wächst der Widerstand in der betreffenden Leitung. Dieser Widerstand wirkt sich direkt auf die Verluste in der Wicklung aus, die sich durch Wärme bemerkbar macht. Somit hat es sich als vorteilhaft erwiesen, auf der Unterspannungsseite einen höheren wirksamen Querschnitt, beispielsweise durch die Verwendung mehrerer paralleler Leitungen, vorzusehen. Damit kann das Verlustverhalten neben der Aufteilung der ersten Wicklung auf zwei Teilwicklungen noch

weiter verbessert werden. Auch ist die Maßnahme der weiteren parallelen Leitung besonders wirkungsvoll, da aufgrund der Aufteilung der ersten Wicklung auf zwei Teilwicklungen der Querschnitt der zusätzlichen Leitungen für die Verbesserung des Verlustverhaltens deutlich besser wirksam wird. Da kein oder nur ein geringer Skin Effekt vorhanden ist, wird die gesamte eingebrachte Querschnittsfläche der Leitung effektiv für die Stromführung genutzt. Insbesondere kann das Verhältnis der wirksamen Querschnitte der Leitungen der ersten Wicklung und der zweiten Wicklung in einer vorteilhaften Ausgestaltung dem Übersetzungsverhältnis oder dem Quadrat des Übersetzungsverhältnisses entsprechen. Damit lässt sich eine besonders gleichmäßige Aufteilung der Verluste und eine besonders gute Ausnutzung des Kupfers in den Leitungen der entsprechenden Wicklung erzielen. In Kombination mit der geringeren Stromverdrängung ist ein besonders verlustarmer und darüber hinaus leichter und preisgünstiger Transformator herstellbar, da das Kupfer der Leiter bzw. Leitungen besonders wirkungsvoll eingesetzt werden kann.

[0019] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der Transformator ein Übersetzungsverhältnis von 1 auf. Gerade bei einem Übersetzungsverhältnis von 1, bei dem sich die Wicklungen nicht in Oberspannung und Unterspannung unterscheiden und somit auch die gleichen Ströme fließen, ist es besonders vorteilhaft, den wirksamen Querschnitt der Wicklungen gleich auszuführen. Damit sind auch die Verluste gleich auf die Wicklungen verteilt, da die Stromverdrängung durch die Aufteilung der ersten Wicklung auf die beiden Teilwicklungen die erste und die zweite Wicklung thermisch gleichmäßig belastet. Zur Herstellung des gleichen wirksamen Querschnitts können auf einfache Weise die Anzahl der parallelen Leitungen für jede Wicklung gleich gewählt werden. Damit lässt sich unter Einsparung von Leitermaterial wie Kupfer auf einfache Weise der gleiche wirksame Querschnitt in der ersten und zweiten Wicklung erzielen.

[0020] Auf diese Weise lassen sich besonders einfach, kleine und leichte Transformatoren für eine Potentialtrennung herstellen. Gerade für die Integration mehrerer unterschiedlicher Komponenten sind diese von Bedeutung, jedoch selten hinreichend Platz vorhanden. Somit ist für den Anwendungsfall der Integration unterschiedlicher Komponenten ein derartiger Transformator besonders vorteilhaft, da dieser flexibel und platzsparend einsetzbar ist.

[0021] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der Transformator genau einen zentralen Hauptschenkel auf, auf dem die erste Wicklung und die zweite Wicklung aufgebracht sind. Für einfache Anwendungen ist es oftmals hinreichend, Wicklungen nur um einen Schenkel, der dann als Hauptschenkel bezeichnet wird, auszuführen. Durch das Einsparen an parallelen Leitungen, gerade für die zweite Wicklung, werden die Wicklungen jeweils in ihrer Baugröße kleiner und können daher dann auf nur einen Schenkel aufgebracht

oder an nur einem Schenkel angebracht bzw. angeordnet werden. Auch dadurch werden derartige Transformatoren besonders klein in ihrer Baugröße. Auch ist es möglich, für den Kern Material mit geringerer magnetischer Leitfähigkeit einzusetzen, da der Weg des magnetischen Flusses im Kern teilweise deutlich kürzer wird und damit geringere Verluste auch bei preisgünstigem Kernmaterial entstehen.

[0022] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der Transformator eine Vielzahl von Rückschlussschenkeln auf, die gleichmäßig verteilt auf einer Kreisbahn um den zentralen Hauptschenkel angeordnet sind. Durch die kompakte Bauweise ist es möglich, mehrere Rückschlussschenkel vorzusehen, beispielsweise fünf oder mehr, die gleichmäßig auf einer Kreisbahn um den Hauptschenkel angeordnet sind. In diesem Fall ist das Joch dann sternförmig ausgebildet. Auch auf diese Weise lassen sich kompakte Aufbauten eines Transformators erzeugen, die auch bei der Verwendung kostengünstiger Materialien hohe Wirkungsgrade sicherstellen können. Durch die Vielzahl an Rückschlussschenkeln können diese Rückschlussschenkel kleiner dimensioniert werden als der Hauptschenkel und damit unter anderem das Bauvolumen des Transformators reduzieren.

[0023] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

FIG 1 einen Transformator mit Zylinderwicklung und
FIG 2, FIG 3 Ausführungsbeispiele eines Transformators in unterschiedlichen Schnittzeichnungen.

[0024] Die FIG 1 zeigt einen Transformator 1 mit einer Zylinderwicklung wie er aus dem Stand der Technik bekannt ist. Dabei werden zwei Wicklungen 11, 12 hergestellt und um einen Schenkel 2, den sogenannten Hauptschenkel, des Magnetkreises ineinander verschachtelt, d.h. konzentrisch angeordnet. Der magnetische Fluss zur Kopplung der beiden Wicklungen 11, 12 wird in einem Kern geführt. Der Kern weist den Schenkel 2, an dem die Wicklungen aufgebracht sind, auch als Hauptschenkel bezeichnet, die Rückschlussschenkel 3, die parallel zu den Hauptschenkeln angeordnet sind und das Joch 4, das die Schenkel 2, sowohl Hauptschenkel als auch Rückschlussschenkel 3 beidseitig miteinander verbindet, auf. Zur Vermeidung eines Stromflusses sind die beiden Wicklungen meist mit einem isolierenden Element voneinander elektrisch getrennt.

[0025] Die innere Wicklung hat dabei beispielsweise zur Sicherstellung einer erforderlichen Stromtragfähigkeit zwei parallel geführte Leitungen, die um den Schenkel gewickelt sind. Die äußere Wicklung ist aus vier parallelen Leitungen aufgebaut, wobei zwei Schichten mit zwei parallelen Leitungen gewickelt werden können. Aufgrund der unsymmetrischen Bewicklung des Transformators

mators 1 entsteht ein erhöhter Kupferaufwand, da sich die Magnetfelder der primären und sekundären Wicklungen ungünstig gegenseitig beeinflussen und es hierdurch zu erhöhten Stromverdrängungseffekten kommt. Die Stromverdrängungseffekte können als Widerstandserhöhung in den einzelnen Leitungen betrachtet werden, sodass ein höherer Leitungsquerschnitt, wie oben beschrieben, beispielsweise durch die Verwendung mehrerer paralleler Leitungen, zur Kompensation dieser Widerstandserhöhung eingesetzt werden kann oder muss. Selbst bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 sieht man daher aufgrund der Stromverdrängung für die beiden Wicklungen unterschiedlich viele parallele Leitungen und damit unterschiedliche wirksame Querschnitte vor. Der Effekt der Stromverdrängung wirkt umso stärker je höher die Frequenz ist, mit der der Transformator betrieben wird.

[0026] Die FIG 2 zeigt einen Schnitt durch den vorgeschlagenen Transformator 1. Die erste Wicklung 11 wird dabei durch eine erste Teilwicklung 21 und eine zweite Teilwicklung 22 gebildet. Diese beiden Teilwicklungen 21, 22 umgeben radial gesehen die zweite Wicklung 12 des Transformators 1. Durch das sich dann ergebene Magnetfeld zwischen den Wicklungen 11, 12 bzw. Teilwicklungen 21, 22 werden Stromverdrängungseffekte weitgehend vermieden und die beiden Wicklungen 11, 12 weisen auch im Betrieb in etwa den gleichen elektrischen Widerstand auf.

[0027] Des Weiteren schließt das sternförmig ausgebildete Joch 4 den Magnetkreis, der sich aus einem mittig angeordneten Schenkel 2 und fünf Rückschlussschenkeln 3 ergibt. In dieser Schnittzeichnungen sind der Schenkel 2, an dem die Wicklungen 11, 12 angebracht sind, und die Rückschlussschenkel 3 durch das Joch 4 verdeckt und somit nicht sichtbar, sondern nur durch die Bezugszeichen angedeutet. Die Schenkel 2 und Rückschlussschenkel 3 dieser Anordnung sind in einem anderen Schnitt durch den Transformator 1 der FIG 3 deutlich zu erkennen.

[0028] Es hat sich darüber hinaus als vorteilhaft erwiesen, wenn jeweils zwischen den Teilwicklungen 21, 22 und der zweiten Wicklung 12 ein Isoliermaterial 6 angeordnet ist, um einen unerwünschten Stromfluss zwischen den Wicklungen 11, 12 und den Teilwicklungen 21, 22 sicher zu vermeiden und eine galvanische Trennung sicherzustellen.

[0029] Die FIG 3 zeigt einen weiteren Schnitt durch den vorgeschlagenen Transformator 1. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird auf die Beschreibung zu FIG 2 und auf die dort eingeführten Bezugszeichen verwiesen. Die erste Teilwicklung 21 und die zweite Teilwicklung 22, welche die erste Wicklung 11 bilden, umgeben die zweite Wicklung 12. Diese sind um den Schenkel 2 kreisförmig angeordnet, wobei die zylinderförmigen Wicklungen 11, 12 bzw. Teilwicklungen 21, 22 konzentrisch um diesen Schenkel 2 angeordnet sind und die Teilwicklungen 21, 22 die zweite Wicklung 12 in radialer Richtung umgeben. Den geschlossenen Magnetkreis bil-

den der Hauptschenkel 2, der Rückschlussschenkel 3 sowie die Joche 4, welche Hauptschenkel 2 und Rückschlussschenkel 3 beidseitig miteinander verbinden. Neben dem auf der linken Seite dargestellten Rückschlussschenkel 3 kann der Transformator 1 auch noch weitere Rückschlussschenkel 3 aufweisen. Dies ist durch die Schnittkante beim Joch 4 auf der rechten Seite der Figur angedeutet. Insbesondere kann der Transformator 1 die fünf in FIG 2 dargestellten Rückschlussschenkel aufweisen. Die Rückschlussschenkel 3 können dabei in vorteilhafterweise sich gleichmäßig verteilt auf einer Kreisbahn um den Hauptschenkel 2 angeordnet sein.

[0030] Darüber hinaus sind auch die Leitungen 5 der Wicklungen 11, 12, bzw. der Teilwicklungen 21, 22 dargestellt. Eine Lage stellt dabei jeweils eine Leitung dar, die um den Schenkel 2 gewickelt ist. Somit ist deutlich zu erkennen, dass die erste Teilwicklung 21 und die zweite Teilwicklung 22 jeweils eine Leitung 5 aufweisen, die vorzugsweise elektrisch parallel angeordnet sind, während die zweite Wicklung 12 zwei Leitungen aufweist, die radial übereinanderliegend angeordnet sind.

[0031] In vorteilhafter Weise werden sowohl die Leitungen der beiden Teilwicklungen 21, 22 parallel verschaltet als auch die beiden Leitungen der zweiten Wicklung 12. Für diese Anordnung werden die Wechselwirkungen zwischen der ersten Wicklung 11 und der zweiten Wicklung 12 besonders deutlich reduziert, so dass sich für beide Wicklungen 11, 12 ein gleicher Ersatzwiderstand oder zumindest ein nahezu gleicher Ersatzwiderstand ergibt, der sich um maximal 5% unterscheidet.

[0032] Die Erhöhung des wirksamen Leitungsquerschnittes, wie er aus dem Stand der Technik für Transformatoren mit Zylinderwicklung üblich ist, kann vermieden werden indem insbesondere bei dem vorliegenden Transformator 1, der auch als Rundtransformator bezeichnet wird, eine der beiden Wicklungen 11 auf zwei Teilwicklungen 21, 22 aufgeteilt wird und diese beiden Teilwicklungen 21, 22 die zweite Wicklung 12 beidseitig umschließen. Dies zeigen die Figuren 2 und 3. Die nun benötigten drei Wickelemente können weiterhin einzeln angefertigt und anschließend mit dem Magnetkreis verbunden werden.

[0033] Zusammenfassend betrifft die Erfindung einen Transformator aufweisend eine erste Wicklung und eine zweite Wicklung, wobei die erste Wicklung und die zweite Wicklung konzentrisch um einen Schenkel des Transformators angeordnet sind. Zur Verbesserung des Transformators wird vorgeschlagen, dass die erste Wicklung eine erste Teilwicklung und eine zweite Teilwicklung umfasst, wobei die zweite Wicklung zwischen der ersten Teilwicklung der ersten Wicklung und der zweiten Teilwicklung der ersten Wicklung angeordnet ist. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Transformators, wobei der Transformator mit Strömen und/oder Spannungen mit einer Frequenz im Bereich von 100Hz bis 500kHz betrieben wird.

Patentansprüche

(1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 ausgebildet ist.

1. Transformator (1) aufweisend:

- eine erste Wicklung (11) und 5
- eine zweite Wicklung (12),

wobei die erste Wicklung (11) und die zweite Wicklung (12) konzentrisch um einen Schenkel (2) des Transformators (1) angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Wicklung (11) eine erste Teilwicklung (21) und eine zweite Teilwicklung (22) umfasst, wobei die zweite Wicklung (12) zwischen der ersten Teilwicklung (21) der ersten Wicklung (11) und der zweiten Teilwicklung (22) der ersten Wicklung (11) angeordnet ist. 10 15

2. Transformator (1) nach Anspruch 1, wobei die erste Teilwicklung (21) und die zweite Teilwicklung (22) der ersten Wicklung (11) elektrisch parallel angeordnet sind. 20

3. Transformator (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei effektive Leitungsquerschnitte der ersten Wicklung (11) und der zweiten Wicklung (12) sich in Abhängigkeit von dem Übersetzungsverhältnis unterscheiden. 25

4. Transformator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Transformator (1) für den Betrieb mit einer Frequenz im Bereich von 100Hz bis 500kHz ausgebildet oder vorgesehen ist. 30

5. Transformator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Transformator ein Übersetzungsverhältnis von 1 aufweist. 35

6. Transformator (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Transformator (1) genau einen zentralen Hauptschenkel (2) aufweist, auf dem die erste Wicklung (11) und die zweite Wicklung (12) aufgebracht sind. 40

7. Transformator (1) nach Anspruch 6, wobei der Transformator (1) eine Vielzahl von Rückschlussschenkeln (3) aufweist, die gleichmäßig verteilt auf einer Kreisbahn um den zentralen Hauptschenkel (2) angeordnet sind. 45

8. Verfahren zum Betreiben eines Transformators (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Transformator (1) mit Strömen und/oder Spannungen mit einer Frequenz im Bereich von 100Hz bis 500kHz betrieben wird. 50

9. Computerprogrammprodukt zur Simulation eines Betriebsverhaltens eines Transformators (1) in einer elektrischen Umgebung, wobei der Transformator 55

FIG 1

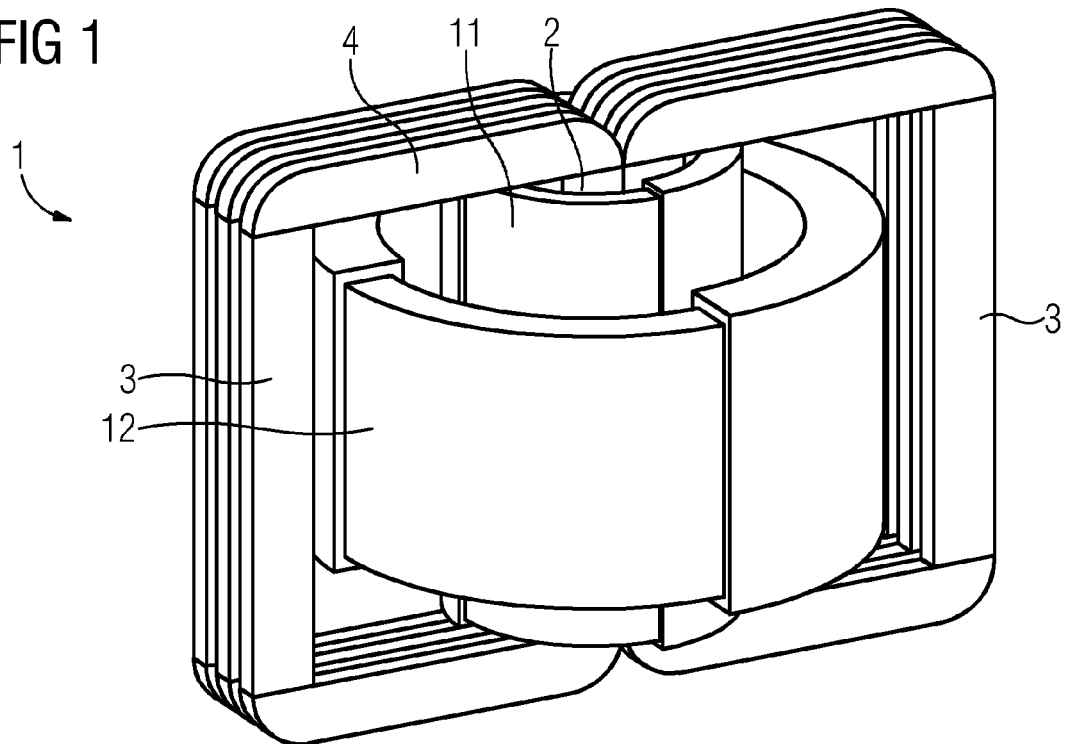


FIG 2

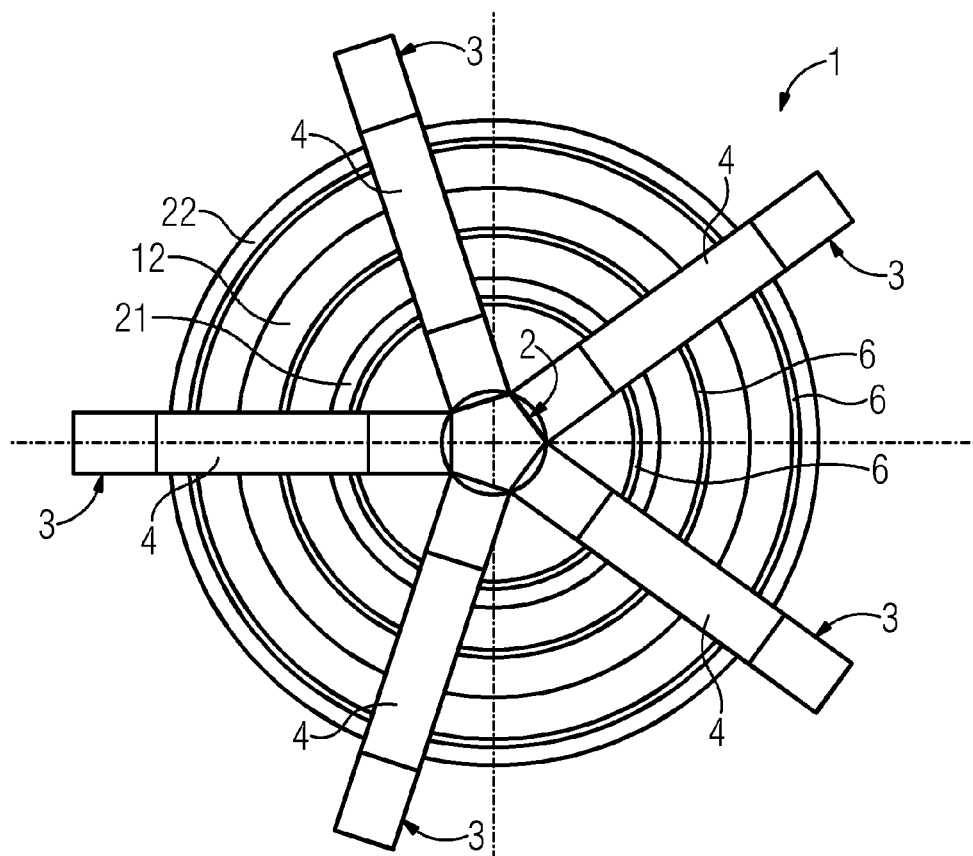
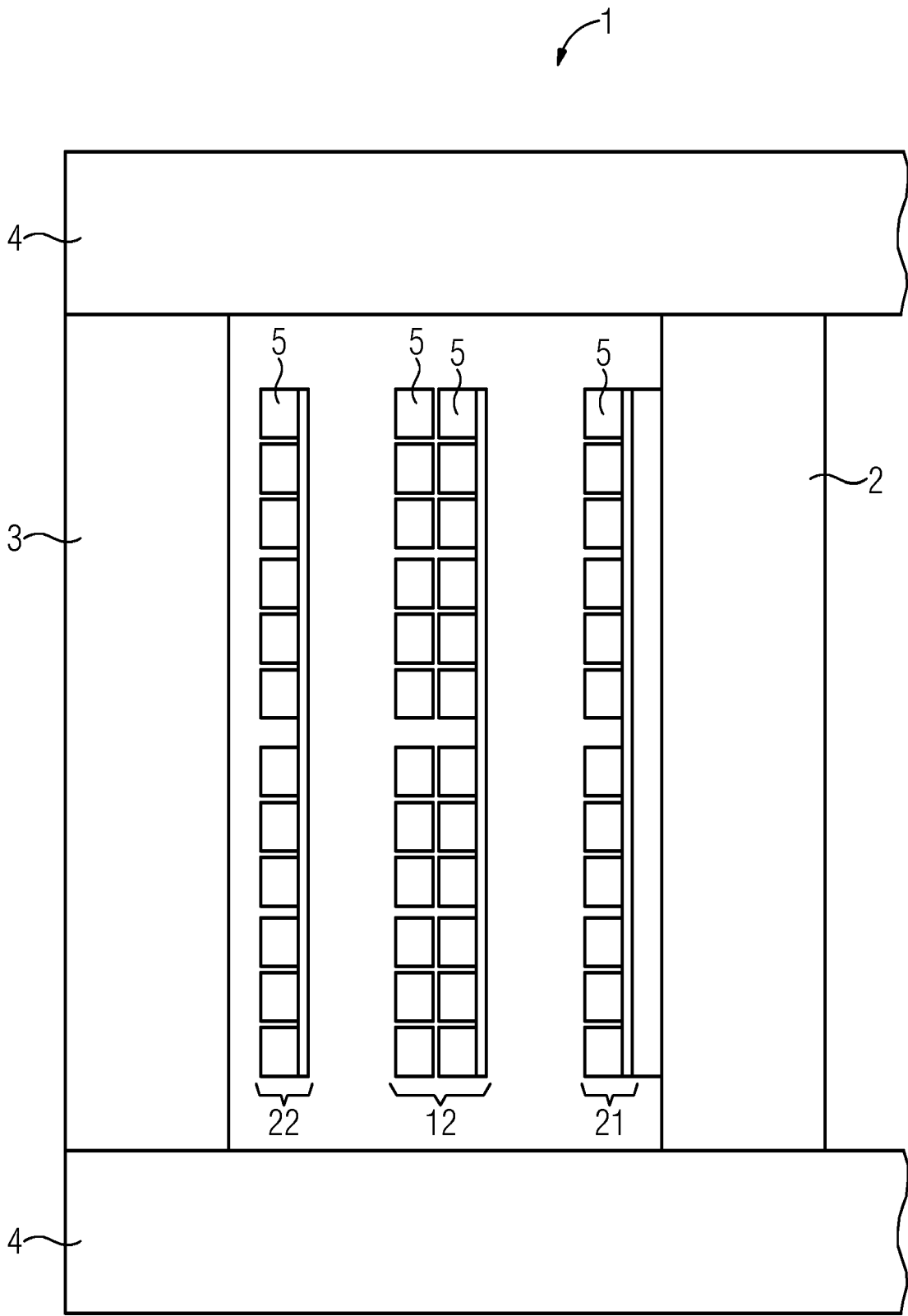


FIG 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 17 4391

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	TIAN HAONAN ET AL: "Experimental Verification on Thermal Modeling of Medium Frequency Transformers", IECON 2018 - 44TH ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY, IEEE, 21. Oktober 2018 (2018-10-21), Seiten 5527-5534, XP033483872, DOI: 10.1109/IECON.2018.8591130 [gefunden am 2018-12-26]	1,3-6,8, 9	INV. H01F27/34 H01F30/06 H01F30/10 H01F19/04
Y	* Zusammenfassung * * Seite 5527, rechte Spalte, Absatz 1 - Seite 5529, linke Spalte, Absatz 2; Abbildung 1 * * Section IV. Experimental Validation; Seite 5531, linke Spalte, letzter Absatz - rechte Spalte, Absatz 1; Abbildung 5 * * Section B. Winding loss measurements; Seite 5532, linke Spalte, Absatz 3 *	7	
X	US 2009/316439 A1 (UTSUNO MIZUKI [JP] ET AL) 24. Dezember 2009 (2009-12-24)	1-6,8	
Y	* Seite 1, Absatz 7-10; Abbildungen 1,2 * * Seite 2, Absatz 17-23; Abbildungen 5,6 *	7	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01F
X	EP 2 696 358 A1 (STS SPEZIAL TRANSFORMATOREN STOCKACH GMBH & CO KG [DE]) 12. Februar 2014 (2014-02-12) * Zusammenfassung * * Spalte 1, Absatz 1-5 * * Spalte 6, Absätze 37,38 * * Spalte 9, Absatz 53; Abbildungen 1, 13 *	1,4,5,8	
----- -/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. Oktober 2020	Prüfer Kardinal, Ingrid
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 : nichtschriftliche 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)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 17 4391

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)
Y	SHE XU ET AL: "Review of Solid-State Transformer Technologies and Their Application in Power Distribution Systems", IEEE JOURNAL OF EMERGING AND SELECTED TOPICS IN POWER ELECTRONICS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, Bd. 1, Nr. 3, 1. September 2013 (2013-09-01), Seiten 186-198, XP011527621, ISSN: 2168-6777, DOI: 10.1109/JESTPE.2013.2277917 [gefunden am 2013-09-20] * Zusammenfassung * * Section III, A.; Seite 189, rechte Spalte, Absatz 2 - Seite 191, linke Spalte, Absatz 2; Abbildung 4 * * Section V, A.; Seite 193, rechte Spalte, Absatz 2 - Seite 194, rechte Spalte, Absatz 1; Abbildungen 12,13,14 * -----	7	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. Oktober 2020	Prüfer Kardinal, Ingrid
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 : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, 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	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 17 4391

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.

23-10-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	US 2009316439	A1	24-12-2009	JP 2010004633 A		07-01-2010
				US 2009316439 A1		24-12-2009
15	EP 2696358	A1	12-02-2014	CN 103578715 A		12-02-2014
				EP 2696358 A1		12-02-2014
				ES 2705048 T3		21-03-2019
				JP 2014039031 A		27-02-2014
20				US 2014159846 A1		12-06-2014
25	-----					
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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