

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Luftpaltflussdichte in dem zumindest einen Steg (13) jedes Rotorpols (P) entlang der Umfangsrichtung (u) abwechselnd magnetische Flussperrabschnitte (14) und magnetische Flussführungsabschnitte (15) angeordnet sind, wobei die magnetischen Flussperrabschnitte (15) zum Leiten eines magnetischen Flusses innerhalb des benachbarten magnetischen Flussführungsabschnitts (15) ausgelegt sind und in Umfangsrichtung (U) ausgehend von einer Rotorpol mitte (PM) zu Rotorpolrändern (PR) unterschiedliche Geometrien aufweisen. Die Erfindung betrifft außerdem eine elektrische Maschine sowie ein Kraftfahrzeug.

Kavitätenstruktur für permanenterregte elektrische Maschinen mit eingebetteten Magneten

Die Erfindung betrifft einen Rotor für eine permanenterregte elektrische Maschine mit zumindest zwei, in Umfangsrichtung des Rotors benachbart zueinander angeordneten Rotorpolen. Der Rotor umfasst ein Rotoreisen, welches pro Rotorpol zumindest einen sich axial durch das Rotoreisen hindurch erstreckenden Hohlraum aufweist, wobei in radialer Richtung zwischen den Hohlräumen und einer Außenseite des Rotoreisens jeweilige, sich in Umfangsrichtung erstreckende Stege ausgebildet sind. Außerdem umfasst der Rotor eine in das Rotoreisen eingebettete Permanentmagnetanordnung zur Erzeugung einer magnetischen Luftspaltflussdichte in einem an die Außenseite des Rotoreisens radial angrenzenden Luftspalt der elektrischen Maschine. Die Permanentmagnetanordnung weist für jeden Rotorpol zumindest einen, in dem jeweiligen Hohlraum angeordneten, Permanentmagneten auf. Die Erfindung betrifft außerdem eine permanenterregte elektrische Maschine sowie ein Kraftfahrzeug.

Vorliegend richtet sich das Interesse auf permanenterregte elektrische Maschinen für Kraftfahrzeuge. Solche Maschinen können beispielsweise als Antriebsmaschinen für elektrisch antreibbare Kraftfahrzeuge, also Elektro- oder Hybridfahrzeuge, eingesetzt werden. Permanenterregte elektrische Maschinen weisen einen ortsfest gelagerten Stator mit bestrombaren Statorwicklungen sowie einen bezüglich des Stators drehbar gelagerten Rotor mit einer Permanentmagnetanordnung auf. Die Permanentmagnetanordnung kann beispielsweise Oberflächenmagnete oder eingebettete bzw. vergrabene Permanentmagnete aufweisen, welche in Hohlräumen eines Rotoreisens des Rotors angeordnet sind.

Ein Verlauf einer von den Permanentmagneten erzeugten magnetischen Flussdichte innerhalb eines Luftspalts zwischen dem Rotor und dem Stator beeinflusst ein Verhalten, beispielsweise ein Drehmoment und eine Verlustleistung, der elektrischen Maschine. Dabei ist ein sinusförmiger Verlauf der magnetischen Flussdichte über einen elektrischen

Winkel ideal. Verkettete Streuungen der Permanentmagnete beeinflussen den qualitativen und quantitativen Verlauf der magnetischen Luftspaltflussdichte. Eine Streuung in Form von einem magnetischen Streufluss, welcher den Stator bzw. dessen Wicklung nicht durchflutet, trägt nicht zur Drehmomentbildung bei und reduziert daher die Amplitude und beeinflusst die Form der nutzdrehmomentbildenden, sinusförmigen Grundharmonischen. Eine Streuung in Form von einem Oberwellenstreufluss überlagert die nutzdrehmomentbildende, sinusförmige Grundharmonische durch harmonische Oberwellen. Diese harmonischen Oberwellen sind verantwortlich für eine zusätzliche Verlustleistung in den Aktivteilen und damit für eine zusätzliche Erwärmung der elektrischen Maschine. Außerdem verursachen die harmonischen Oberwellen zusätzliche Welligkeiten bzw. Ungleichförmigkeiten im Drehmoment.

Um die Luftspaltflussdichte einem sinusförmigen Verlauf anzunähern, offenbart die WO 2012/101083 A2 eine permanenterregte Synchronmaschine. Die Synchronmaschine umfasst einen Stator, der ein Wicklungssystem aufweist, das in Nuten eines Blechpakets des Stators angeordnet ist, wobei die Nuten zu einem zwischen dem Stator und einem Rotor bestehendem Luftspalt weisen. Der Rotor weist Permanentmagnete auf, die eine gerade Anzahl von Polen bilden, wobei in Umfangsrichtung betrachtet jeder Pol zumindest drei Permanentmagnete aufweist. Die radiale Höhe und die Remanenz der Permanentmagnete nehmen ausgehend von der Mitte eines Pols zu den Enden des jeweiligen Pols in Umfangsrichtung betrachtet ab und die Koerzitivfeldstärke der Permanentmagnete nimmt ausgehend von der Mitte des Pols zu den Enden des Pols zu. Gemäß dem Stand der Technik wird also der Verlauf der Luftspaltflussdichte durch Material und Geometrie der Permanentmagnete beeinflusst.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine alternative, besonders einfach realisierbare Lösung zur Beeinflussung eines Verlaufs einer magnetischen Luftspaltflussdichte einer permanenterregten elektrischen Maschine bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Rotor, eine permanenterregte elektrische Maschine sowie ein Kraftfahrzeug mit den Merkmalen gemäß den jeweiligen unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche, der Beschreibung sowie der Figuren.

Ein erfindungsgemäßer Rotor für eine permanenterregte elektrische Maschine weist zumindest zwei, in Umfangsrichtung des Rotors benachbart zueinander angeordnete Rotorpole auf. Der Rotor weist ein Rotoreisen, welches pro Rotorpol zumindest einen sich

axial durch das Rotoreisen hindurch erstreckenden Hohlraum aufweist, auf. In radialer Richtung zwischen den Hohlräumen und einer Außenseite des Rotoreisens sind jeweilige, sich in Umfangsrichtung erstreckende Stege ausgebildet. Der Rotor umfasst außerdem eine in das Rotoreisen eingebettete Permanentmagnetanordnung zur Erzeugung einer magnetischen Luftspaltflusssdichte in einem an die Außenseite des Rotoreisens angrenzenden Luftspalt der elektrischen Maschine. Die Permanentmagnetanordnung weist für jeden Rotorpol zumindest einen, in dem jeweiligen Hohlraum des Rotorpols angeordneten Permanentmagneten auf. Zur Beeinflussung eines Verlaufs der magnetischen Luftspaltflusssdichte sind in jedem Rotorpol in dem zumindest einen zugehörigen Steg entlang der Umfangsrichtung abwechselnd magnetische Flusssperrabschnitte und magnetische Flussführungsabschnitte angeordnet. Die magnetischen Flussführungsabschnitte sind durch Rotoreisenbereiche ausgebildet. Die magnetischen Flusssperrabschnitte sind zum Leiten eines magnetischen Flusses des zugehörigen Permanentmagnets innerhalb des jeweiligen benachbarten magnetischen Flussführungsabschnitts ausgelegt und weisen beispielsweise entlang der Umfangsrichtung ausgehend von einer Rotorpolmitte zu Rotorpolrändern unterschiedliche Geometrien auf.

Die Erfindung betrifft außerdem eine permanenterregte elektrische Maschine mit einem Stator und einem bezüglich des Stators drehbar gelagerten erfindungsgemäßen Rotor, wobei zwischen dem Rotor und dem Stator ein Luftspalt ausgebildet ist. Der Luftspalt liegt also entlang der radialen Richtung zwischen dem Rotor und dem Stator.

Die elektrische Maschine kann beispielsweise als elektrische Traktionsmaschine für ein elektrisch antreibbares Kraftfahrzeug verwendet werden. Die elektrische Maschine weist den Stator auf, welcher ein Statoreisen bzw. Statorblechpaket mit in Umfangsrichtung äquidistant verteilt angeordneten Nuten aufweist. In den Nuten, welche dem Luftspalt zwischen Stator und Rotor zugewandt sind, sind bestrombare Statorwicklungen angeordnet. In einem durch das hohlzylinderförmige Statorblechpaket umschlossenen Innenraum ist der Rotor drehbar gelagert. Zwischen einer dem Innenraum zugewandten, die Nuten aufweisenden Innenseite des Stators und der Außenseite des Rotoreisens ist der Luftspalt ausgebildet.

Das Rotoreisen bzw. Rotorblechpaket ist insbesondere ebenfalls hohlzylinderförmig ausgebildet und weist eine der Rotationsachse zugewandte Innenseite und eine dem Luftspalt zugewandte Außenseite auf. Die Innenseite umschließt eine sich axial entlang der Rotationsachse erstreckende Rotorwelle, welche somit drehfest mit dem Rotor

verbunden ist. Der Rotor weist zumindest zwei Rotorpole auf, wobei jedem Rotorpol ein Sektor des Rotoreisens zugeordnet ist. Zwei benachbarte alternierende Rotorpole in Form von einem magnetischen Südpol und einem magnetischen Nordpol bilden ein Polpaar aus. Dabei ist in jedem Sektor zumindest ein Permanentmagnet angeordnet. Die Permanentmagnete sind dabei eingebettete bzw. vergrabene Magnete, welche in den Hohlräumen des Rotoreisens angeordnet sind. Dabei kann vorgesehen sein, dass jeder Rotorpol einen Hohlraum mit einem Permanentmagneten aufweist. Der Permanentmagnet kann dabei auch ein geteilter Permanentmagnet sein, sodass in einem Hohlraum zwei Teilpermanentmagnete durch einen Luftsteg voneinander getrennt angeordnet sind. Auch kann vorgesehen sein, dass ein Rotorpol zumindest zwei, in Umfangsrichtung zueinander benachbarte Hohlräume aufweist, wobei in jedem Hohlraum ein Permanentmagnet angeordnet ist.

Da der sich axial durch das Blechpaket hindurch erstreckende Hohlraum in radialer Richtung und in Umfangsrichtung vollständig von Rotoreisenmaterial umgeben ist, befindet sich in radialer Richtung zwischen dem Hohlraum und der dem Luftspalt zugewandten Außenseite des Rotoreisens und damit zwischen dem in dem Hohlraum angeordneten Permanentmagneten und dem Luftspalt Rotoreisenmaterial. Dieses Rotoreisenmaterial bildet die Stege bzw. Brücken aus, welche sich in Umfangsrichtung erstrecken. Die Stege liegen also in radialer Richtung oberhalb der Permanentmagnete. Über diese Stege wird der magnetische Fluss zwischen Permanentmagnet und Luftspalt geleitet.

Dabei entstehen insbesondere durch hohe radiale magnetische Flussdichten an den Rotorpolrändern Oberwellenstreulüsse, durch welche zusätzliche Verluste in den Aktivteilen generiert werden und welche den Verlauf der magnetischen Luftspaltflussdichte dahingehend beeinflussen, dass deren nutzdrehmomenterzeugende Grundharmonische von harmonischen Oberwellen überlagert wird. Die Grundharmonische der magnetischen Luftspaltflussdichte sollte insbesondere einen sinusförmigen Verlauf aufweisen. Um diese harmonischen Oberwellen zu reduzieren, ist der zumindest eine Steg in jedem Rotorpol in magnetische Flussführungsabschnitte und magnetische Flussperrabschnitte unterteilt. Die magnetischen Flussführungsabschnitte und die magnetischen Flussperrabschnitte sind entlang der Umfangsrichtung und damit entlang einer Erstreckungsrichtung des Stegs abwechselnd angeordnet. Die magnetischen Flussperrabschnitte bilden eine magnetische Flussperrstruktur aus und die magnetischen Flussführungsabschnitte bilden eine magnetische Flussführungsstruktur aus. Die magnetischen Flussperrabschnitte können dabei

äquidistant oder nicht äquidistant zueinander angeordnet werden. Auch eine Anzahl sowie eine Geometrie an magnetischen Flusssperrabschnitten pro Rotorpol kann beliebig gewählt werden.

Die magnetischen Flusssperrabschnitte weisen eine im Vergleich zu dem Rotoreisen deutlich größere Reluktanz bzw. einen deutlich größeren magnetischen Widerstand auf. Die magnetischen Flusssperrabschnitte wirken dabei als magnetische Widerstände, welche eine Orientierung des magnetischen Flusses in den angrenzenden magnetischen Flussführungsabschnitten und damit eine Konzentration des magnetischen Flusses beeinflussen können. Vorzugsweise sind die magnetischen Flusssperrabschnitte magnetisch, insbesondere auch elektrisch, isolierend. Dadurch wirken die magnetischen Flusssperrabschnitte über ihre radiale Länge für den in dem angrenzenden magnetischen Flussführungsabschnitt geleiteten magnetischen Fluss in Umfangsrichtung als magnetische Barrieren. Je größer dabei die radiale Länge der magnetischen Flusssperrabschnitte ist, desto weniger kann sich der magnetische Fluss entlang der Umfangsrichtung ausbreiten und desto stärker wird der magnetische Fluss entlang der radialen Richtung konzentriert.

Zum Ausbilden der unterschiedlichen Geometrien weisen die magnetischen Flusssperrabschnitte entlang der Umfangsrichtung ausgehend von einer Rotorpolmitte zu Rotorpolrändern bevorzugt abnehmende radiale Längen auf. Die Rotorpolmitte weist also den oder die magnetischen Flusssperrabschnitt(e) mit der größten radialen Länge auf. An den Rotorpolrändern, welche sich in Umfangsrichtung gegenüberliegen und an welchen sich die Ränder der Permanentmagnete befinden, soll der magnetische Fluss, welcher in harmonische Oberwellenstreuung resultiert, jedoch entlang der Umfangsrichtung abgelenkt werden und somit stattdessen Rotorstreuung generiert werden, sodass dort die magnetischen Flusssperrabschnitte die geringsten radialen Längen aufweisen. Mit abnehmender Länge der magnetischen Flusssperrabschnitte lässt also die Konzentration in radialer Richtung innerhalb der angrenzenden magnetischen Flussführungsabschnitte nach und der magnetische Fluss an den Rotorpolrändern wird bewusst innerhalb des Rotors mit den jeweils benachbarten Rotorpolen kurzgeschlossen. Das Abnehmen der Längen in Richtung der Rotorpolränder kann dabei gleichmäßig oder ungleichmäßig erfolgen. Jeder Rotorpol kann dabei achsensymmetrisch oder achsenasymmetrisch zur Rotorpolmitte ausgebildet sein. Auch sind die radialen Längen der magnetischen Flusssperrabschnitte geringer als eine radiale Dicke des Stegs. Die Flusssperrabschnitte durchdringen also die Außenseite des Rotoreisens nicht.

Durch das Variieren der Geometrie der magnetischen Flusssperrabschnitte in Umfangsrichtung kann der Verlauf der magnetischen Luftspaltflussdichte beeinflusst werden. Insbesondere kann der Verlauf der magnetischen Luftspaltflussdichte einer Sinuswelle angenähert werden. Durch das Abnehmen der radialen Konzentration in Richtung der Rotorpolränder, an welchen üblicherweise die Ränder der Permanentmagnete angeordnet sind, können die dort entstehenden magnetischen Flüsse abgelenkt werden. So können harmonische Oberwellen in dem Verlauf der magnetischen Luftspaltflussdichte und damit Verluste reduziert werden. Außerdem wird durch die erhöhte Konzentration des magnetischen Flusses in radialer Richtung in der Rotorpolmitte eine Amplitude einer Grundharmonischen des magnetischen Luftspaltflussdichteverlaufs erhöht. So kann in vorteilhafter Weise das Drehmoment der elektrischen Maschine erhöht werden.

In einer Ausführungsform der Erfindung sind die Permanentmagnete in einer V-Anordnung angeordnet. Ein Winkel der V-Anordnung kann dabei beliebig sein. Beispielsweise können die Permanentmagnete tangential bezüglich der Rotationsachse orientiert sein. Hier beträgt der Winkel der V-Anordnung beispielsweise 180° . Auch können die Permanentmagnete radial bezüglich der Rotationsachse orientiert sein. Hier kann der Winkel der V-Anordnung beispielsweise kleiner 90° sein. Die Magnetisierung der Permanentmagnete ist dabei insbesondere normal zu einer Magnetlängsachse orientiert. Bei der tangentialen Anordnung der Permanentmagnete ist die Magnetisierung daher im Wesentlichen radial zur Rotationsachse orientiert. Bei der radialen Anordnung der Permanentmagnete ist die Magnetisierung daher im Wesentlichen tangential zur Rotationsachse orientiert. Durch die tangentiale, entlang der Umfangsrichtung orientierte Anordnung der Permanentmagnete nimmt eine radiale Breite der Stege ausgehend von der Rotorpolmitte in Richtung der Rotorpolränder ab. An den zu den Rotorpolrändern benachbarten Stegrändern, angrenzend an welchen die Ränder der Permanentmagnete angeordnet sind, ist also die radiale Breite des Stegs am geringsten. Um dabei zu verhindern, dass die an den Rändern der Permanentmagnete auftretenden magnetischen Flüsse durch den Luftspalt geleitet werden und so die harmonische Oberwellen erhöhen, werden diese mittels der nahe der Rotorpolrändern angeordneten, kurzen magnetischen Flusssperrabschnitte abgelenkt, sodass die harmonischen Oberwellen im Verlauf der magnetischen Luftspaltflussdichte reduziert werden.

Es erweist sich als vorteilhaft, wenn die Permanentmagnete tangential bezüglich der Rotationsachse des Rotors sind und dabei eine der Außenseite des Rotoreisens zugewandte Oberfläche der Permanentmagnete konvex gewölbt ist. Die Hohlräume

weisen eine zu der konvex gewölbten Oberfläche korrespondierende konkav gewölbte Innenseite auf, durch welche die zugehörigen Stege in Umfangsrichtung eine im Wesentlichen konstante radiale Dicke aufweisen. Die konkave Oberfläche der Permanentmagnete ist anliegend an der konkaven Innenseite des Hohlraums angeordnet. Durch die konkave Innenseite des Hohlraums, welche sich insbesondere parallel zu der Außenseite des Rotoreisens erstreckt, wird eine Form des Stegs beeinflusst. Die Stege sind somit bogenförmig ausgebildet und weisen in Umfangsrichtung die konstante radiale Dicke auf. Durch diese Form der Permanentmagnete wird die Sinusform des magnetischen Luftspaltflussdichteverlaufs in vorteilhafter Weise begünstigt, wobei durch die magnetischen Flussperrabschnitte die Amplitude der Grundharmonischen erhöht werden kann und die Amplituden der harmonischen Oberwellen verringert werden können.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind die magnetischen Flussperrabschnitte als Kavitäten ausgebildet, welche sich in dem jeweiligen Steg axial durch das Rotoreisen hindurch erstrecken. Kavitäten sind Hohlräume bzw. Aussparungen, welche das Rotoreisen zumindest teilweise axial durchdringen. Der Steg wird also entlang der Umfangsrichtung abschnittsweise von Aussparungen durchsetzt, an welche Stegabschnitte aus Rotoreisenmaterial angrenzen. Die magnetische Flussperrstruktur ist also als eine Kavitätenstruktur ausgebildet. Die Stegabschnitte aus Rotoreisenmaterial bilden dabei die magnetischen Flussführungsabschnitte aus. Als Kavitäten ausgebildete magnetischen Flussperrabschnitte sind besonders einfach in dem Rotoreisen herzustellen. Die radialen Längen der Kavitäten sind dabei insbesondere so gewählt, dass die Außenseite des Rotoreisens nicht durchbrochen wird, sondern eine geschlossene Oberfläche aufweist. Außerdem werden durch die Kavitäten ein Volumen und ein Gewicht des Rotoreisens verringert. Dadurch können in vorteilhafter Weise Kosten gespart werden.

Es kann vorgesehen sein, dass die Kavitäten mit einem Stützmaterial zum Erhöhen einer mechanischen Stabilität des Rotors aufgefüllt sind. Ein solches Stützmaterial kann beispielsweise ein Kunststoff sein. Das Stützmaterial ist dabei insbesondere magnetisch und elektrisch isolierend. Durch das Stützmaterial kann verhindert werden, dass die bei einer Drehung des Rotors um die Rotationsachse in radialer Richtung auf die Rotoreisenabschnitte im Bereich der Stege wirkende Fliehkraft das Rotoreisen zerstört.

Zur Erfindung gehört außerdem ein Kraftfahrzeug mit einer erfindungsgemäßen permanenterregten elektrischen Maschine. Das Kraftfahrzeug ist insbesondere ein

Elektro- oder Hybridfahrzeug und weist die elektrische Maschine als elektrische Traktionsmaschine bzw. Antriebsmaschine auf.

Die mit Bezug auf den erfindungsgemäßen Rotor vorgestellten Ausführungsformen und deren Vorteile gelten entsprechend für die erfindungsgemäße elektrische Maschine sowie für das erfindungsgemäße Kraftfahrzeug.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, den Figuren und der Figurenbeschreibung. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in den Figuren alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar.

Die Erfindung wird nun anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels sowie unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Schnittdarstellung eines Sektors einer Ausführungsform einer elektrischen Maschine; und
- Fig. 2 Magnetische Flussdichteverläufe im Luftspalt der elektrischen Maschinen gemäß Fig. 1 und einer elektrischen Maschine gemäß dem Stand der Technik.

In den Figuren sind gleiche sowie funktionsgleiche Abschnitte mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 1 zeigt eine Schnittdarstellung eines Sektors einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen permanenterregten elektrischen Maschine 1. Die elektrische Maschine 1 kann beispielsweise als elektrische Traktionsmaschine eines hier nicht gezeigten elektrisch antreibbaren Kraftfahrzeugs ausgebildet sein. Die elektrische Maschine 1 umfasst einen Stator 2 und einen bezüglich des Stators 2 um eine Rotationsachse A drehbar gelagerten Rotor 3. Der Stator 2 und der Rotor 3 sind unter Ausbildung eines Luftspaltes 4 beabstandet zueinander angeordnet. Der Stator 2 weist ein Statorblechpaket 5 mit einer Vielzahl von in Umfangsrichtung U verteilt angeordneten Nuten 6 auf, in welchen bestrombare Wicklungen 7 des Stators 2 zur Erzeugung eines

Drehfelds angeordnet sind. Durch dieses Drehfeld kann der Stator 3 zur Drehung um die Rotationsachse A angeregt werden.

Der Rotor 3 weist zumindest zwei Rotorpole P auf, wobei hier beispielsweise ein Rotorpol P in Form von einem magnetischen Nordpol gezeigt ist. An den magnetischen Nordpol angrenzend folgt ein hier nicht gezeigter Rotorpol P in Form von einem magnetischen Südpol. Der Rotor 3 weist ein Rotoreisen 8 bzw. Blechpaket auf, welcher bzw. welches eine dem Luftspalt 4 zugewandte Außenseite 9 aufweist. Außerdem weist jeder Rotorpol P zumindest einen Hohlraum 10 auf, welcher sich in einer axialen, entlang der Rotationsachse A orientierten Richtung durch das Rotoreisen 8 hindurch erstreckt. In dem Hohlraum 10 ist ein Permanentmagnet 11 angeordnet, welcher mit den Permanentmagneten 11 der anderen Rotorpole P des Rotors 3 eine eingebettete Permanentmagnetanordnung ausbildet. Diese eingebettete Permanentmagnetanordnung erzeugt in dem Luftspalt 4 eine magnetische Flussdichte bzw. Luftspaltflussdichte, deren Verlauf einen Betrieb der elektrischen Maschine 1 beeinflusst. Insbesondere beeinflusst der Verlauf der Luftspaltflussdichte eine Größe und eine Welligkeit des Drehmoments der elektrischen Maschine 1 sowie Verlustleistungen der elektrischen Maschine 1.

Der Permanentmagnet 11 ist hier ein tangential angeordneter, sich in Umfangsrichtung U erstreckender Magnet mit einer entlang der radialen Richtung R orientierten Magnetisierung. Der Permanentmagnet 11 weist hier außerdem eine Form auf, welche eine konvexe, in Richtung des Luftspaltes 4 gewölbte Oberfläche 12 aufweist. In radialer Richtung R befindet sich zwischen dem Hohlraum 10 und dem Luftspalt 4 ein Steg 13 in dem Rotoreisen 8. Über diesen Steg 13 wird der magnetische Fluss zwischen dem Luftspalt 4 und dem Permanentmagneten 11 geleitet. Um den Verlauf der aus dem magnetischen Fluss der Permanentmagnete 11 resultierenden magnetischen Luftspaltflussdichte zu beeinflussen, weist jeder Rotorpol P magnetische Flusssperrabschnitte 14 und magnetische Flussführungsabschnitte 15 auf, welche in dem Steg 13 und damit in radialer Richtung R über dem Permanentmagneten 11 angeordnet sind. Ausgehend von einer Rotorpolmitte PM in Richtung der sich in Umfangsrichtung U gegenüberliegenden Rotorpolränder PR nimmt durch die magnetischen Flusssperrabschnitte 14 und die magnetischen Flussführungsabschnitte 15 eine Konzentration des magnetischen Flusses in radialer Richtung R ab und eine Streuung des magnetischen Flusses bzw. eine Konzentration des magnetischen Flusses in Umfangsrichtung U zu.

Die magnetischen Flusssperrabschnitte 14 sind in Umfangsrichtung U beabstandet und über eine Länge des Stegs 13 verteilt angeordnet, wobei jeweils ein magnetischer Flussführungsabschnitt 15 zwischen zwei magnetischen Flusssperrabschnitten 14 liegt. Die magnetischen Flusssperrabschnitte 14 sind dazu ausgelegt, den magnetischen Fluss in den daran angrenzenden magnetischen Flussführungsabschnitten 15 des Stegs 13 zu lenken. Die magnetischen Flusssperrabschnitte 14 sind insbesondere magnetisch isolierend und bilden somit Barrieren bzw. Sperren für den magnetischen Fluss in Umfangsrichtung U aus. Der magnetische Fluss wird also über die magnetischen Flussführungsabschnitte 15, nicht aber über die magnetischen Flusssperrabschnitte 14 geführt. Die magnetischen Flusssperrabschnitte 14 können jedoch eine Richtung des magnetischen Flusses in den magnetischen Flussführungsabschnitten 15 beeinflussen.

Eine Sperrwirkung in Umfangsrichtung U ist dabei in der Rotorpolmitte PM größer als an den Rotorpolrändern PR. In der Rotorpolmitte PM wird somit der magnetische Fluss in radialer Richtung R konzentriert und über den oder die in der Rotorpolmitte PM angeordneten magnetischen Flussführungsabschnitt(e) 15 in Richtung des Luftspaltes 4 geführt. An den Rotorpolrändern PR wird der magnetische Fluss gezielt gestreut, also auch in Umfangsrichtung U abgelenkt. Zum Variieren dieser Sperrwirkung in Umfangsrichtung U reduziert sich eine radiale Länge der Flusssperrabschnitte 14 ausgehend von der Rotorpolmitte PM in Richtung der Rotorpolränder PR. Im vorliegenden Fall sind die magnetischen Flusssperrabschnitte 14 als Kavitäten 16 ausgebildet, welche sich in axialer Richtung A zumindest bereichsweise durch das Rotoreisen 8 hindurch erstrecken. Die magnetischen Flussführungsabschnitte 15 sind Teilbereiche des Rotoreisens 8 innerhalb des Stegs 13.

Durch die Anordnung aus magnetischen Flusssperrabschnitten 14 und magnetischen Flussführungsabschnitten 15 und durch die Form der Permanentmagnete 11 kann ein sinusförmiger magnetischer Luftspaltflussdichteverlauf mit reduzierten harmonischen Oberwellen erreicht werden. Ein solcher Verlauf der magnetischen Luftspaltflussdichte B über den elektrischen Winkel α über zwei benachbarte Rotorpole P ist in Fig. 2 anhand der Kennlinie K1 qualitativ gezeigt. Im Vergleich dazu ist eine Kennlinie K2 eines Flussdichteverlaufes für einen konventionellen Rotor ohne magnetische Flusssperrabschnitte und magnetische Flussführungsabschnitte qualitativ gezeigt. Durch die magnetischen Flusssperrabschnitte 14 und magnetischen Flussführungsabschnitte 15 sowie deren Konzentrationswirkung in der Rotorpolmitte PM ist außerdem eine Amplitude B1 des erfindungsgemäßen Rotors 3 im Vergleich zu einer Amplitude B0 des

konventionellen Rotors erhöht. Diese erhöhte Amplitude B1 resultiert in einem höheren Drehmoment der elektrischen Maschine 1.

Bezugszeichenliste

1	Elektrische Maschine
2	Stator
3	Rotor
4	Luftspalt
5	Statorblechpaket
6	Nuten
7	Wicklungen
8	Rotoreisen
9	Außenseite
10	Hohlraum
11	Permanentmagnet
12	Oberfläche
13	Steg
14	Magnetische Flussperrabschnitte
15	Magnetische Flussführungsabschnitte
16	Kavitäten
R	Radiale Richtung
U	Umfangsrichtung
A	Rotationsachse
P	Rotorpole
PM	Rotorpolmitte
PR	Rotorpolränder
K1, K2	Kennlinien
B	Magnetische Flussdichte
α	Winkel

Patentansprüche

1. Rotor (3) für eine permanenterregte elektrische Maschine (1) mit zumindest zwei, in Umfangsrichtung (U) benachbart angeordneten Rotorpolen (P), aufweisend
 - ein Rotoreisen (8), welches pro Rotorpol (P) zumindest einen sich axial durch das Rotoreisen (8) hindurch erstreckenden Hohlraum (10) aufweist, wobei in radialer Richtung (R) zwischen den Hohlräumen (10) und einer Außenseite (9) des Rotoreisens (8) jeweilige, sich in Umfangsrichtung (U) erstreckende Stege (13) ausgebildet sind, und
 - eine in das Rotoreisen (8) eingebettete Permanentmagnetanordnung zur Erzeugung einer magnetischen Luftspaltflusssdichte in einem an die Außenseite (9) des Rotoreisens (8) angrenzenden Luftspalt (4) der elektrischen Maschine (1), welche für jeden Rotorpol (P) zumindest einen, in dem jeweiligen Hohlraum (10) angeordneten Permanentmagneten (11) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass zur Beeinflussung eines Verlaufs der magnetischen Luftspaltflusssdichte in dem zumindest einen Steg (13) jedes Rotorpols (P) entlang der Umfangsrichtung (U) abwechselnd magnetische Flusssperrabschnitte (14) und magnetische Flussführungsabschnitte (15) angeordnet sind, wobei die magnetischen Flussführungsabschnitte (15) durch Rotoreisenbereiche ausgebildet sind, und wobei die magnetischen Flusssperrabschnitte (14) zum Leiten eines magnetischen Flusses des zugehörigen Permanentmagnets (11) innerhalb des jeweiligen benachbarten magnetischen Flussführungsabschnitts (15) ausgelegt sind und entlang der Umfangsrichtung (U) ausgehend von einer Rotorpolmitte (PM) zu Rotorpolrändern (PR) unterschiedliche Geometrien aufweisen.
2. Rotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetischen Flusssperrabschnitte (15) entlang der Umfangsrichtung (U) ausgehend von einer Rotorpolmitte (PM) zu Rotorpolrändern (PR) zum Ausbilden

der unterschiedlichen Geometrien abnehmende radiale Längen aufweisen.

3. Rotor (3) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Permanentmagnete (11) in einer V-Anordnung angeordnet sind.
4. Rotor (3) nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Permanentmagnete (11) tangential bezüglich einer Rotationsachse (L) des Rotors (3) orientiert sind, wobei eine der Außenseite (9) des Rotoreisens (8) zugewandte Oberfläche (12) der Permanentmagnete (11) konvex gewölbte ist und die Hohlräume (10) eine zu der konvex gewölbten Oberfläche (12) korrespondierende konkav gewölbte Innenseite aufweisen, durch welche die zugehörigen Stege (13) in Umfangsrichtung (U) eine im Wesentlichen konstante radiale Dicke aufweisen.
5. Rotor (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die magnetischen Flusssperrabschnitte (15) magnetisch isolierend sind.
6. Rotor (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die magnetischen Flusssperrabschnitte (15) als Kavitäten (16) ausgebildet sind, welche sich in dem jeweiligen Steg (13) zumindest teilweise axial durch das Rotoreisen (8) hindurch erstrecken.
7. Rotor (3) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Kavitäten (16) mit einem Stützmaterial zum Erhöhen einer mechanischen Festigkeit des Rotoreisens (8) aufgefüllt sind.
8. Permanenterregte elektrische Maschine (1) mit einem Stator (2) und einem bezüglich des Stators (2) drehbar gelagerten Rotor (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zwischen dem Rotor (3) und dem Stator (2) ein

Luftspalt (4) ausgebildet ist.

9. Kraftfahrzeug mit einer permanenterregten elektrischen Maschine (1) nach Anspruch 8.

1/2

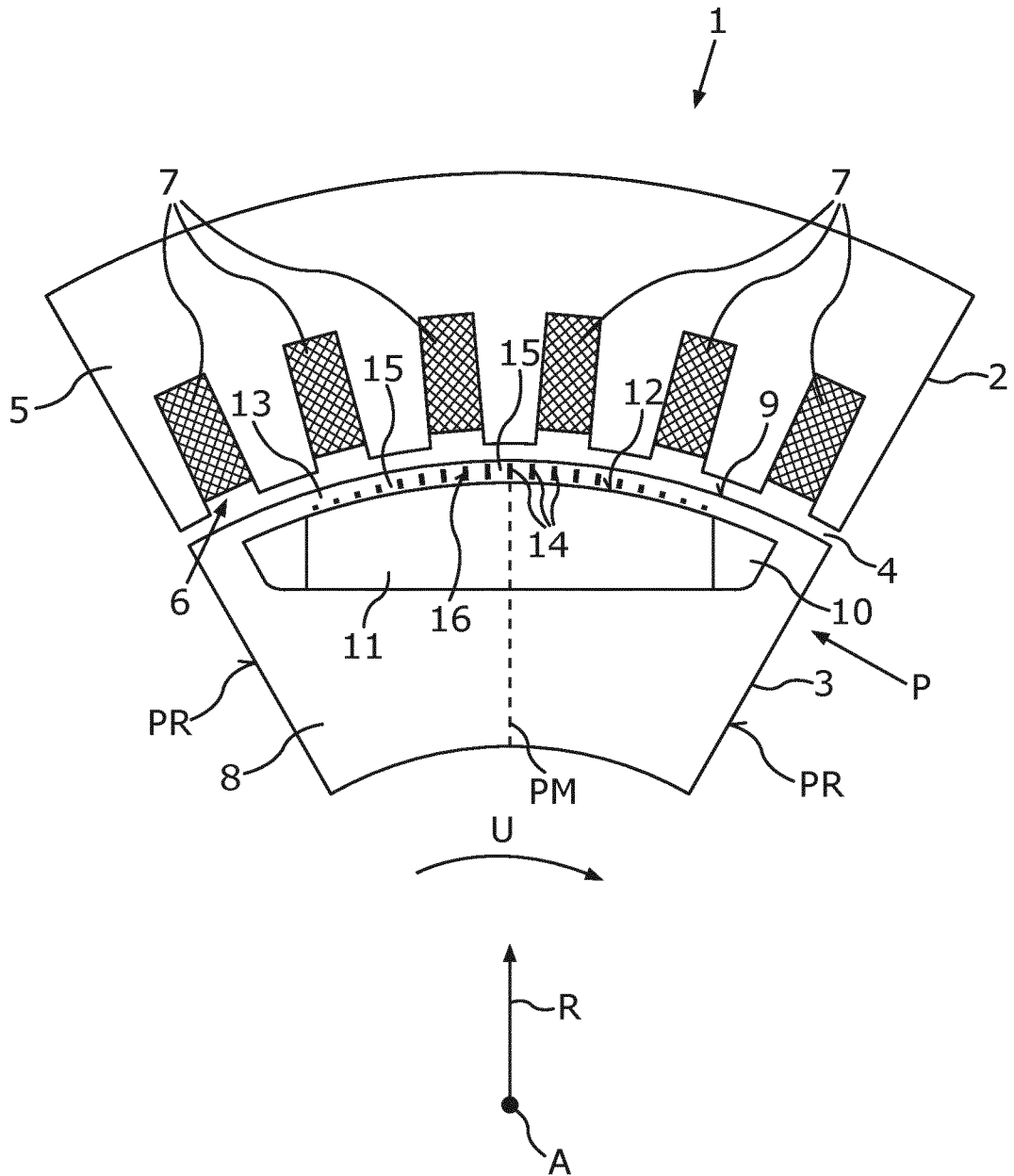
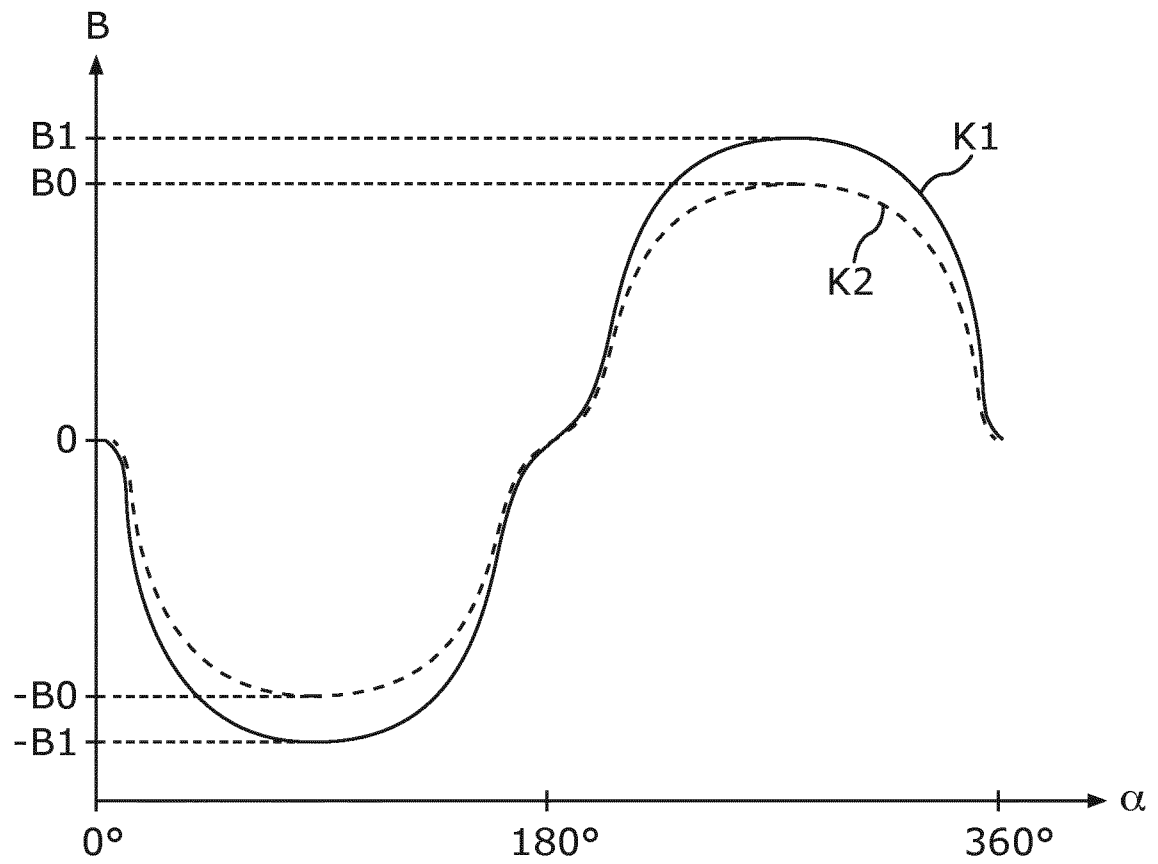


Fig. 1

2/2

*Fig.2*

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/051349

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02K 1/27(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02K Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2018142444 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 09 August 2018 (2018-08-09)	1-3,5-9
Y	the whole document	4
X,P	& US 2019356185 A1 (YABE KOJI [JP] ET AL) 21 November 2019 (2019-11-21)	1-3,5-9
Y,P	abstract; figures 2-4 paragraphs [0043], [0076], [0077]	4
X	US 2008018190 A1 (TAKAHATA RYOICHI [JP] ET AL) 24 January 2008 (2008-01-24) abstract; figures 1-8 paragraphs [0039] - [0040], [0043]	1-3,5-9
X	EP 2117102 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 11 November 2009 (2009-11-11) abstract; figures 1,2,5 paragraphs [0030] - [0032]	1,5-9
Y	EP 2709238 A1 (SIEMENS AG [DE]) 19 March 2014 (2014-03-19) abstract; figures 2,3 paragraph [0018]	4
A	JP 2012254019 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 20 December 2012 (2012-12-20) abstract; figures 1,4	1-9
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 March 2020		Date of mailing of the international search report 31 March 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Güvener, Cem Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/051349

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2018142444	A1	09 August 2018	CN	110214404	A	06 September 2019
				JP	6605160	B2	13 November 2019
				JP	WO2018142444	A1	18 April 2019
				US	2019356185	A1	21 November 2019
				WO	2018142444	A1	09 August 2018
US	2008018190	A1	24 January 2008	CN	101110528	A	23 January 2008
				CN	104810946	A	29 July 2015
				JP	5259934	B2	07 August 2013
				JP	2008029095	A	07 February 2008
				US	2008018190	A1	24 January 2008
				US	2010244609	A1	30 September 2010
EP	2117102	A1	11 November 2009	CN	101529698	A	09 September 2009
				EP	2117102	A1	11 November 2009
				ES	2660166	T3	21 March 2018
				JP	4838348	B2	14 December 2011
				JP	WO2008105049	A1	03 June 2010
				KR	20090055009	A	01 June 2009
				US	2010119390	A1	13 May 2010
				WO	2008105049	A1	04 September 2008
EP	2709238	A1	19 March 2014	CN	103683777	A	26 March 2014
				EP	2709238	A1	19 March 2014
				US	2014070655	A1	13 March 2014
JP	2012254019	A	20 December 2012	JP	5511921	B2	04 June 2014
				JP	2012254019	A	20 December 2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02K1/27
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2018/142444 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 9. August 2018 (2018-08-09)	1-3,5-9
Y	das ganze Dokument	4
X,P	& US 2019/356185 A1 (YABE KOJI [JP] ET AL) 21. November 2019 (2019-11-21)	1-3,5-9
Y,P	Zusammenfassung; Abbildungen 2-4 Absätze [0043], [0076], [0077]	4

X	US 2008/018190 A1 (TAKAHATA RYOICHI [JP] ET AL) 24. Januar 2008 (2008-01-24)	1-3,5-9
	Zusammenfassung; Abbildungen 1-8 Absätze [0039] - [0040], [0043]	

X	EP 2 117 102 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 11. November 2009 (2009-11-11)	1,5-9
	Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,5 Absätze [0030] - [0032]	

	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

24. März 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/03/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Güvener, Cem

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 2 709 238 A1 (SIEMENS AG [DE]) 19. März 2014 (2014-03-19) Zusammenfassung; Abbildungen 2,3 Absatz [0018] -----	4
A	JP 2012 254019 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 20. Dezember 2012 (2012-12-20) Zusammenfassung; Abbildungen 1,4 -----	1-9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/051349

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2018142444	A1	09-08-2018	CN	110214404 A		06-09-2019
			JP	6605160 B2		13-11-2019
			JP	WO2018142444 A1		18-04-2019
			US	2019356185 A1		21-11-2019
			WO	2018142444 A1		09-08-2018

US 2008018190	A1	24-01-2008	CN	101110528 A		23-01-2008
			CN	104810946 A		29-07-2015
			JP	5259934 B2		07-08-2013
			JP	2008029095 A		07-02-2008
			US	2008018190 A1		24-01-2008
			US	2010244609 A1		30-09-2010

EP 2117102	A1	11-11-2009	CN	101529698 A		09-09-2009
			EP	2117102 A1		11-11-2009
			ES	2660166 T3		21-03-2018
			JP	4838348 B2		14-12-2011
			JP	WO2008105049 A1		03-06-2010
			KR	20090055009 A		01-06-2009
			US	2010119390 A1		13-05-2010
			WO	2008105049 A1		04-09-2008

EP 2709238	A1	19-03-2014	CN	103683777 A		26-03-2014
			EP	2709238 A1		19-03-2014
			US	2014070655 A1		13-03-2014

JP 2012254019	A	20-12-2012	JP	5511921 B2		04-06-2014
			JP	2012254019 A		20-12-2012
