



(10) **DE 10 2011 055 766 A1** 2013.05.29

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 055 766.0**

(22) Anmeldetag: **28.11.2011**

(43) Offenlegungstag: **29.05.2013**

(51) Int Cl.: **H02K 21/14 (2012.01)**

**H02K 1/27 (2012.01)**

(71) Anmelder:  
**Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, 70435, Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Füchtner, Martin, 70197, Stuttgart, DE; Thaler,  
Wolfgang, 88299, Leutkirch, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE	102 53 950	A1
DE	103 08 282	A1
DE	10 2007 007 578	A1
DE	10 2008 026 543	A1
DE	10 2009 046 165	A1
DE	10 2010 018 443	A1

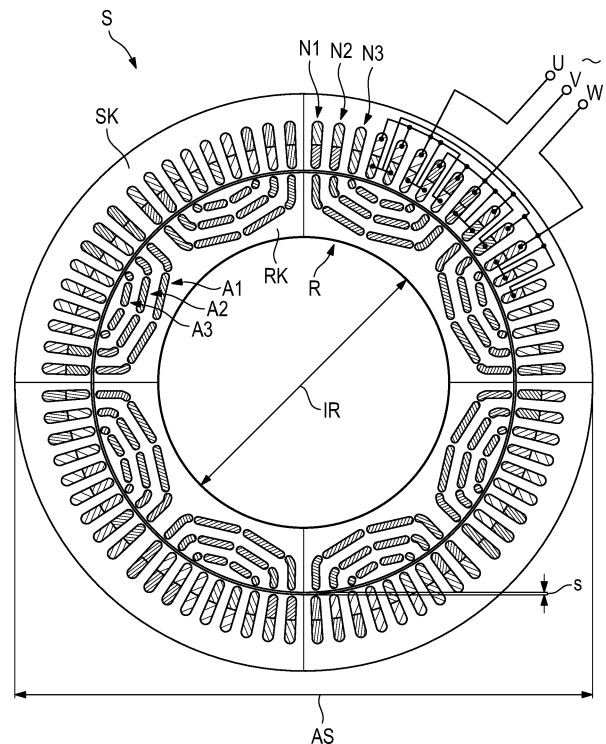
**Heiles, F.: Wicklungen Elektrischer Maschinen  
und ihre Herstellung. Berlin/Göttingen/  
Heidelberg : Springer-Verlag, 1953. 23 - 25. - ISBN**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Drehstrom-Synchronmaschine**

(57) Zusammenfassung: Eine Drehstrom-Synchronmaschine, mit einem Rotor umfassend einen Rotorkern, wobei der Rotorkern Aussparungen aufweist in denen Permanentmagnete angeordnet sind, sowie einen den Rotor umgebenden Stator umfassend einen Stator Kern, wobei der Stator Kern Nuten aufweist in denen Drahtwicklungen entsprechend einem Pol und einer Phase des Drehstroms angeordnet sind, ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zahl der Nuten (N1, N2, N3, ...) im Stator Kern (SK) derart vervielfacht ist dass mindestens die doppelte, bevorzugt die dreifache, Zahl von Nuten mit Drahtwicklungen entsprechend Pol und Phase (U, V, W) des Drehstroms vorgesehen sind, wobei die vervielfachten Nuten jeweils Drahtwicklungen der beiden benachbarten Pole bzw. Phasen des Drehstroms in Kombination aufweisen, und wobei die Zahl der Aussparungen (A1, A2, A3, ...) im Rotorkern (RK) derart vervielfacht ist dass darin mindestens zwei Schichten, bevorzugt drei Schichten, von Permanentmagneten angeordnet sind.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Drehstrom-Synchronmaschine, d. h. eine rotierende elektrische Maschine für Dreiphasen-Wechselstrom.

**[0002]** Solche Maschinen weisen einen Rotor auf, welcher drehbar und durch einen Luftspalt beabstandet innerhalb eines feststehenden Stators angeordnet ist. Dabei umfasst der Rotor einen im Rotorkern, typischerweise aus Eisenmetall, in welchem Aussparungen mit eingesetzten Permanentmagneten vorgesehen sind. Der Stator umfasst einen, ebenfalls typischerweise aus Eisenmetall gefertigten, Stator Kern, der Nuten aufweist in denen Drahtwicklungen angeordnet sind. Bei Bestromung der Drahtwicklungen wirkt eine magnetische Kraft zwischen den Permanentmagneten im Rotor und den Drahtwicklungen des Stators, womit der Rotor der Maschine gegenüber dem Stator gedreht wird. Da vorliegend eine Drehstrommaschine betrachtet wird, ist für jede der drei Phasen des Drehstroms eine separate Drahtwicklung im Stator erforderlich. Zur Erzeugung eines magnetischen Polpaares, d. h. eines Nord- und eines Südpols, sind also wenigstens sechs Drahtwicklungen erforderlich, entsprechend einem Polpaar und drei Phasen.

**[0003]** Üblicherweise ist der innerhalb des Stators angeordnete Rotor auf einer Rotorwelle montiert, um so die Rotation der Maschine zu ermöglichen. Der Durchmesser dieser Rotorwelle, und somit der Innendurchmesser des Rotors, ist also klein, bezogen auf den Außendurchmesser des Stators, d. h. den Durchmesser der elektrischen Maschine.

**[0004]** Vorliegend soll nun jedoch eine so genannte Hohlrotormaschine betrachtet werden. Solche Hohlrotormaschinen sind insbesondere zum Einsatz im Antriebsstrang eines elektrisch angetriebenen Fahrzeuges vorgesehen und zeigen die Besonderheit, dass der Rotor nicht auf einer Rotorwelle, sondern auf einer Komponente des Antriebsstrangs des Fahrzeuges angeordnet ist, beispielsweise einer Kupplung. Derartige Komponenten weisen einen wesentlich größeren Durchmesser als eine Rotorwelle auf. Anders ausgedrückt ist bei einer Hohlrotormaschine der Innendurchmesser des Rotors wesentlich größer als beim Einsatz einer üblichen Rotorwelle. Im Folgenden soll unter einer Hohlrotormaschine eine solche Maschine verstanden werden, bei welcher der Außendurchmesser des Stators höchstens 10 %, maximal jedoch 15 % größer ist, als der doppelte Innendurchmesser des Rotors.

**[0005]** Somit ist der Innendurchmesser des Rotors der Maschine nur etwa halb so groß wie der Außendurchmesser von deren Stator. Dies ist zwar für den Antriebsstrang eines Fahrzeuges sehr vorteilhaft, bringt jedoch verschiedene Herausforderungen

mit sich. Insbesondere ist, trotz des bereits relativ großen Innendurchmessers der Maschine, auch noch ein möglichst kleiner Aussendurchmesser des Rotors erforderlich. Dies ermöglicht nämlich eine Maschine mit hohen Drehzahlen darzustellen, wie sie im Antriebsstrang eines Fahrzeuges erforderlich ist. Jedoch wird durch die solcherart geringe radiale Ausdehnung des Rotors die Erzeugung einer genügend großen magnetischen Kraft zwischen Stator und Rotor erschwert. Dies umso mehr, als auch der Außendurchmesser des Stators so klein wie möglich gewählt werden soll, um nicht zuviel wertvollen Bauraum im Fahrzeug zu verbrauchen.

**[0006]** Ausgehend von der geschilderten Problemstellung stellt sich somit die Aufgabe, eine Drehstrom-Synchronmaschine anzugeben, welche den genannten Anforderungen bestmöglich gerecht wird.

**[0007]** Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des Patentanspruchs 1. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen Erfindung.

**[0008]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, das die Zahl der Nuten im Stator Kern, in denen Drahtwicklungen zur Felderzeugung angeordnet sind, derart vervielfacht ist, dass mindestens die doppelte, bevorzugt jedoch die dreifache Zahl von Nuten mit Drahtwicklungen entsprechend Pol und Phase des Drehstroms vorgesehen sind, wobei die vervielfachten Nuten jeweils Drahtwicklungen der beiden benachbarten Pole bzw. Phasen in Kombination aufweisen, und wobei die Zahl der Aussparungen im Rotorkern, in denen Permanentmagnete angeordnet sind, derart vervielfacht sind, dass darin mindestens zwei Schichten, bevorzugt drei Schichten, von Permanentmagneten angeordnet sind. Anders ausgedrückt weist der Stator der erfindungsgemäßen Maschine, gegenüber „einfachen“ Nuten mit Drahtwicklungen entsprechend einem jeweiligen Pol und Phase bei bekannten Maschinen, nun zusätzliche „vervielfachte“ Nuten mit kombinierten Drahtwicklungen der beiden benachbarten „einfachen“ Nuten auf. Zusätzlich weist der Rotor der erfindungsgemäßen Maschine ein Mehrschicht-Magnetsystem derart auf, dass ein jeweiliger Permanentmagnete in radialer Sicht mindestens doppelt, bevorzugt jedoch in dreifacher Anordnung, ausgeführt ist. Es hat sich nämlich gezeigt, dass durch das synergistische Zusammenwirken dieser Maßnahmen eine Drehstrom-Synchronmaschine geschaffen wird, welche die erforderliche Eignung zum Einsatz auf einer Komponente des Antriebsstrangs eines elektrisch angetriebenen Fahrzeuges, wie beispielsweise einer Kupplung, aufweist.

**[0009]** Durch das Mehrschicht-Magnetsystem im Rotor ergibt sich eine bestmögliche Reluktanzmomentnutzung, und damit geringe Verluste. Anders ausgedrückt ergibt sich so bei gegebenen magnetischen Fluss eine Maximierung der erregenden Kraft.

Durch die, in den vervielfachten Nuten angeordneten, kombinierten Drahtwicklungen wird ein größtmöglicher aktiver Durchmesser der Maschine erzielt. Die solcherart aufgebaute Drehstrom-Synchronmaschine ist, aufgrund des relativ großen Rotor-Innendurchmessers, besonders geeignet für eine koaxiale Anordnungen im Antriebsstrang eines elektrisch angetriebenen Fahrzeuges. Gleichzeitig werden ausreichend große Drehzahlen ermöglicht, um in einem solchen Antriebsstrang wirksam eingesetzt zu werden. Zudem ermöglicht die erfindungsgemäße Anordnung auch noch die Darstellung eines zum elektrischen Antrieb des Fahrzeuges ausreichenden Drehmoments.

**[0010]** Eine Maschine mit guten Eigenschaften im Antriebsstrang eines elektrisch angetriebenen Fahrzeuges, welche auch wirtschaftlich herzustellen ist, ergibt sich bei Vorsehen von vier Pol-Paaren, d. h. acht Polen, und insgesamt 72 Nuten im Statokern. Bei Verwendung von Dreiphasen-Wechselstrom und vier Pol-Paaren ergibt sich damit eine Abfolge von Drahtwicklungen in den Nuten des Statokerns derart, dass zwischen zwei Nuten mit Drahtwicklungen für jeweils genau einen Pol und eine Phase des Drehstroms („einfache“ Nuten), nun genau zwei „vervielfachte“ Nuten angeordnet sind, mit kombinierten Drahtwicklungen der beiden benachbarten „einfachen“ Nuten, d. h. mit Drahtwicklungen welche die jeweils benachbarten Pole bzw. Phasen in Kombination darstellen. Aus Vereinfachungsgründen ist dabei vorgesehen, in den „vervielfachten“ Nuten jeweils hälftig Drahtwicklungen entsprechend denen der beiden benachbarten „einfachen“ Nuten anzuordnen, d. h. entsprechend deren Pol und Phase. Natürlich sind hier auch andere Kombinationen möglich, beispielsweise den jeweils direkt benachbarten Pol bzw. Phase zu jeweils zwei Drittel und den weiter entfernten Pol bzw. Phase zu nur ein Drittel.

**[0011]** Es hat sich gezeigt, dass ein Dreischicht-Magnetsystem, d. h. drei in radialer Hinsicht hintereinander angeordnete Permanentmagnete, im Rotor hier eine ausreichende und wirtschaftlich noch sinnvolle Lösung darstellen. Dabei ist insbesondere vorgesehen, die Länge der Permanentmagnete mit wachsendem Abstand vom Mittelpunkt des Rotors zu verringern. Ebenfalls hat sich eine nur schwach V-förmige Anordnung eines jeweiligen Paares von Permanentmagneten als günstig erwiesen.

**[0012]** Eine Drehstrom-Synchronmaschine, welche für den Einsatz in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen, d. h. im Antriebsstrang von Hybrid- oder Elektrofahrzeugen, geeignet ist, weist einen Außendurchmesser des Stators von etwa 160 mm bis 210 mm und insbesondere von etwa 180 mm auf, bei einem Innendurchmesser des Rotors von etwas 90 mm. Dies ermöglicht die Darstellung akzeptabler elektrischer Fahrleistungen bei noch vertretbaren Anforderungen an den Bauraum im Fahrzeug.

**[0013]** Die Erfindung wird nun anhand einer Figur näher dargestellt.

**[0014]** Beispielhaft dargestellt ist eine erfindungsgemäße Drehstrom-Synchronmaschine. Die Maschine ist als Hohlrotormaschine ausgeführt, um koaxial auf einer Komponente des Antriebsstrangs eines elektrisch angetriebenen Fahrzeuges angeordnet zu werden. Die dargestellte Maschine ist für den Einsatz auf der Trennkupplung eines Hybrid-Antriebsstrangs vorgesehen, d. h. eines Antriebsstrangs umfassend einen Verbrennungsmotor und eine Elektromaschine.

**[0015]** Die Trennkupplung des Hybrid-Antriebsstrangs ist im Kraftfluss zwischen der Elektromaschine und dem Verbrennungsmotor vorgesehen. Nun weist eine Trennkupplung, die einen leistungsfähigen Verbrennungsmotor und eine starke Elektromaschine stufenlos, d. h. mit der Möglichkeit die Kupplung schlupfend zu betreiben, miteinander verbinden soll, entsprechend große Abmessungen auf. Aus Gründen der Platzersparnis ist die Trennkupplung radial innerhalb der Elektromaschine angeordnet, d. h. die Elektromaschine und die Trennkupplung sind koaxial zueinander vorgesehen. Die hier dargestellte Elektromaschine weist einen relativ großen Innendurchmesser IR des Rotors R von 90 mm auf, während der Aussendurchmesser AS des Stators S lediglich relativ geringe 180 mm beträgt.

**[0016]** Der Stator S umfasst einen Statokern SK, der aus einer Vielzahl magnetischer Stahlbleche ausgebildet ist. Wenn diese Stahlbleche gestapelt sind, bilden sie den Statokern SK in Gestalt eines Hohlzylinders. Das Inneren des Statokerns SK weist eine Vielzahl von Nuten N1, N2, N3, ..., auf, die umlaufend im Statokern SK angeordnet sind.

**[0017]** In jeder der Nuten N1, N2, N3, ..., sind nun genau zwei Drahtwicklungen angeordnet. Jede Drahtwicklung entspricht dabei einem Pol und einer Phase des Stroms, mit dem die Maschine betrieben wird. Das bedeutet, dass jede der Drahtwicklungen jeweils mit einem bestimmten Pol bzw. Phase des Stroms elektrisch leitend verbunden ist. Da die Maschine zum Betrieb mit Drehstrom ausgelegt ist, weist sie drei verschiedene Anschlüsse für die Phasen U, V und W des Drehstroms auf. Jede der drei Phasen U, V, W ist dabei mit einer Vielzahl von Drahtwicklungen elektrisch leitend verbunden, d. h. es sind jeweils verschiedene Drahtwicklungen mit derselben Phase U, V, W verbunden. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass zur Erzeugung eines magnetischen Polpaares, d. h. eines Nord- und eines Südpols, jeweils zwei einander gegenüberliegende Drahtwicklungen dieselbe Phase aufweisen müssen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in der Figur lediglich die elektrischen Anschlüsse eines einzigen Pols dargestellt; selbstverständlich sind auch die übrigen Drahtwicklungen entsprechend elektrisch leitend mit einer der

drei Phasen U, V, W verbunden. Entsprechend der vorgesehenen Polanzahl, hier acht Pole bzw. vier Polpaare, ist jedes Element in achtfacher Ausführung vorhanden.

**[0018]** Wie in der Figur erkennbar, sind die in den Nuten N1, N2, N3, ..., jeweils angeordneten Drahtwicklungen in einer bestimmten Abfolge mit den drei verschiedenen Anschlüssen für die Phasen U, V und W des Drehstroms elektrisch leitend verbunden. Hierzu werden diejenigen Hälften der Nuten, in denen eine Drahtwicklung angeordnet ist die mit der Phase U elektrisch leitend verbunden ist, gepunktet dargestellt. Entsprechend werden diejenigen Hälften der Nuten straffiert, in denen eine mit der Phase V elektrisch leitend verbundene Drahtwicklung angeordnet ist, und diejenigen Hälften der Nuten blank dargestellt, in denen eine mit der Phase W elektrisch leitend verbundene Drahtwicklung angeordnet ist. Somit ist gut erkennbar, dass es einerseits Nuten gibt, in deren beiden Hälften jeweils Drahtwicklungen angeordnet sind, die mit derselben Phase des Drehstroms elektrisch leitend verbunden sind, also entweder U oder V oder W. Diese „einfachen“ Nuten unterscheiden sich von den „vervielfachten“ Nuten, in denen kombinierte Drahtwicklungen angeordnet sind.

**[0019]** Die „vervielfachten“ Nuten weisen nun eine erste Hälfte auf, in der jeweils Drahtwicklungen angeordnet sind die mit einer ersten Phase des Drehstroms elektrisch leitend verbunden sind, und eine zweite Hälfte in der jeweils Drahtwicklungen angeordnet sind die mit einer zweiten Phase des Drehstroms elektrisch leitend verbunden sind, wobei hier die erste und die zweite Phase stets verschieden sind. Wenn also beispielsweise in der ersten Hälfte einer „vervielfachten“ Nut eine Drahtwicklung angeordnet ist, die elektrisch leitend mit der Phase U des Drehstroms verbunden ist, dann ist in der zweiten Hälfte dieser Nut eine Drahtwicklung angeordnet die entweder elektrisch leitend mit der Phase V oder mit der Phase W, nicht aber mit der Phase U des Drehstroms verbunden ist.

**[0020]** Der Rotor R der Maschine umfasst einen Rotorkern RK. Der Rotorkern RK wird durch eine Vielzahl magnetischer Stahlbleche gebildet. Wenn diese Stahlbleche gestapelt sind, bilden sie zusammen die Gestalt eines Hohlzylinders. Der Rotor R ist dabei im Inneren des Hohlzylinders angeordnet, der vom Stator S gebildet wird. Dabei ist der Rotor R um einen vorbestimmten Abstand  $s$  vom Stator beabstandet. Damit ergibt sich ein Spalt zwischen dem Rotorkern SK und dem Rotorkern RK, d. h. zwischen dem Innendurchmesser des Stators S und dem Außendurchmesser des Rotors R. Dieser luftgefüllte Spalt ermöglicht eine Rotationsbewegung des Rotors R im feststehenden Stator S.

**[0021]** Der Rotor R weist nun einen relativ großen Innendurchmesser IR auf, der etwa dem halben Außendurchmesser AS des Stators S entspricht. Damit wird eine koaxiale Anordnung der Maschine auf einer Komponente im Antriebsstrang eines elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugs möglich. Diese – nicht dargestellte – Komponente rotiert somit zusammen mit dem Rotor R, zu dem sie Platz sparend koaxial angeordnet ist.

**[0022]** Zudem weist der Rotorkern RK eine Vielzahl von Aussparungen A1, A2, A3, ...; auf, in denen Permanentmagnete angeordnet sind. Die Aussparungen sind, in radialer Richtung gesehen, in drei Schichten angeordnet. Anders ausgedrückt ist in radialer Richtung gesehen jedes Element dreifach hintereinander vorhanden. Zunächst sind dies, entsprechend der Polanzahl des Rotors, die in jeweiligen Aussparungen vorgesehenen Permanentmagnete. Dabei sind jeweils zwei nebeneinander liegende Permanentmagnete in Form eines schwachen „V“ angeordnet, aufweisend zwei Schenkel mit einem dazwischenliegenden stumpfen Winkel. Die Aussparungen, zur Aufnahme der Permanentmagnete, sind wiederum dreifach in radialer Richtung hintereinander liegend vorgesehen. Dabei werden hier die Permanentmagnete derart gewählt, dass sie in radialer Richtung nach innen hin länger werden.

**[0023]** An den oberen Enden eines solchen „V“, d. h. zu dessen Öffnung hin, sind zwischen den Enden eines jeweiligen Permanentmagneten und der äußeren Oberfläche des Rotors luftgefüllte Aussparungen vorgesehen. Auch diese sind wieder, in radialer Richtung gesehen, in drei hintereinander liegenden Schichten angeordnet.

## Patentansprüche

1. Drehstrom-Synchronmaschine, mit einem Rotor umfassend einen Rotorkern, wobei der Rotorkern Aussparungen aufweist in denen Permanentmagnete angeordnet sind, sowie einen den Rotor umgebenden Stator umfassend einen Stator Kern, wobei der Stator Kern Nuten aufweist in denen Drahtwicklungen entsprechend einem Pol und einer Phase des Drehstroms angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zahl der Nuten (N1, N2, N3, ...) im Stator Kern (SK) derart vervielfacht ist dass mindestens die doppelte, bevorzugt die dreifache, Zahl von Nuten mit Drahtwicklungen entsprechend Pol und Phase (U, V, W) des Drehstroms vorgesehen sind, wobei die vervielfachten Nuten jeweils Drahtwicklungen der beiden benachbarten Pole bzw. Phasen des Drehstroms in Kombination aufweisen, und wobei die Zahl der Aussparungen (A1, A2, A3, ...) im Rotorkern (RK) derart vervielfacht ist dass darin mindestens zwei Schichten, bevorzugt drei Schichten, von Permanentmagneten angeordnet sind.

2. Drehstrom-Synchronmaschine nach Anspruch 1, wobei die vervielfachten Nuten im Statorkern jeweils hälftig eine Drahtwicklung, entsprechend jeweils einer der beiden benachbarten Pole bzw. Phasen des Drehstroms, aufweisen

3. Drehstrom-Synchronmaschine nach Ansprüchen 1 oder 2, aufweisend vier Pol-Paare und 72 Nuten im Statorkern.

4. Drehstrom-Synchronmaschine nach Ansprüchen 1, 2 oder 3, mit einem Außendurchmesser des Stators zwischen 160 mm und 210 mm und insbesondere 180 mm, und einem Innendurchmesser des Rotors von etwa 90 mm.

5. Antriebsstrang für ein Kraftfahrzeug, umfassend eine Drehstrom-Synchronmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

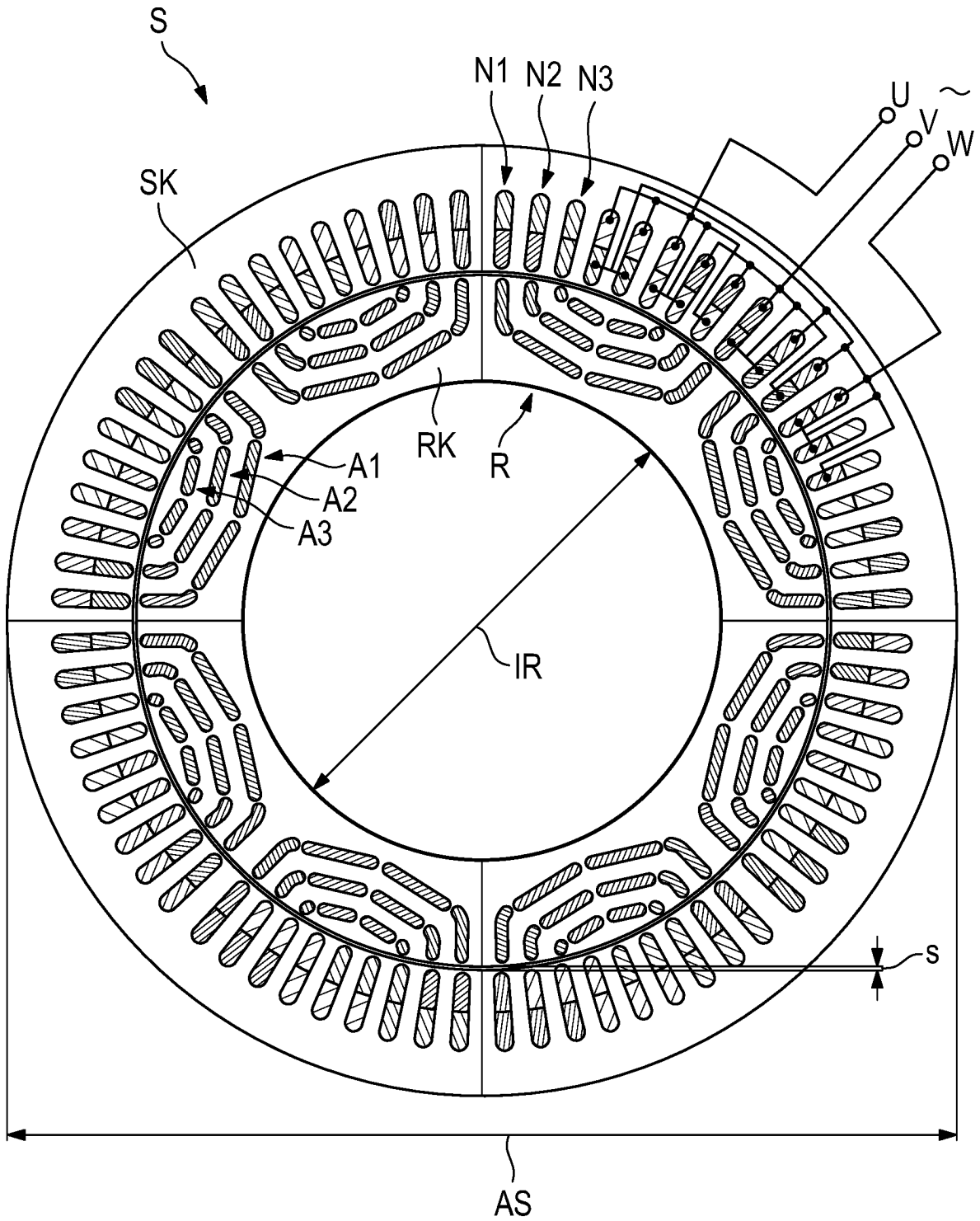


Fig. 1