(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. November 2013 (14.11.2013)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/167309 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02P 25/22 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/056238

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. März 2013 (25.03.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 207 534.8 7. Mai 2012 (07.05.2012) DE

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: **FREITAG, Gunter**; Hofangerstraße 131, 81735 München (DE). **KUHN, Karl-Josef**; Erasmusstraße 8, 81739 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

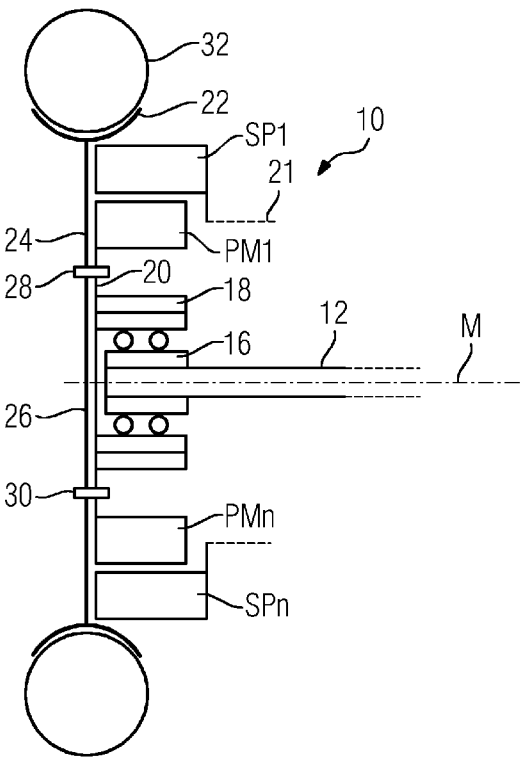
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SELECTION UNIT FOR SELECTING THE CONFIGURATION OF AN ELECTRIC MOTOR, TRANSPORT MACHINE AND ASSOCIATED METHOD

(54) Bezeichnung : AUSWAHLEINHEIT ZUR AUSWAHL DER KONFIGURATION EINES ELEKTROMOTORS, TRANSPORTMASCHINE UND ZUGEHÖRIGES VERFAHREN

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a selection unit (60, 280) for selecting the configuration (K1 to K3) of an electric motor (10, 54, 250), comprising: an input unit (EE), which can receive at least one signal (295) or data, which indicates a driving state (B1 to B4) of a transport machine (240) or a rotational speed (n) of an electric motor (10, 54, 250); a determination unit, which determines a configuration of the electric motor (10, 54, 250) depending on the signal (295) or data received by means of the input unit (MP); an output unit (AE2), which outputs at least one signal (298) or data, which designates or specifies the selected configuration (K1 to K3).

(57) Zusammenfassung: Erläutert wird eine Auswahleinheit (60, 280) zur Auswahl der Konfiguration (K1 bis K3) eines Elektromotors (10, 54, 250), enthaltend : eine Eingabeeinheit (EE), die mindestens ein Signal (295) oder Daten empfangen kann, welches einen Fahrzustand (B1 bis B4) einer Transportmaschine (240) oder eine Drehzahl (n) eines Elektromotors (10, 54, 250) angibt;

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/167309 A2

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

eine Ermittlungseinheit, die abhängig von dem mit der Eingabeeinheit (MP) empfangenen Signal (295) oder Daten eine Konfiguration des Elektromotors (10, 54, 250) ermittelt; eine Ausgabeeinheit (AE2), die mindestens ein Signal (298) oder Daten ausgibt, das die ausgewählte Konfiguration (K1 bis K3) bezeichnet oder vorgibt.

Beschreibung

Auswahleinheit zur Auswahl der Konfiguration eines Elektromotors, Transportmaschine und zugehöriges Verfahren

Die Erfindung bezieht sich auf eine Auswahleinheit zur Auswahl der Konfiguration eines Elektromotors. Insbesondere kann der Elektromotor in einer Transportmaschine als Antriebsmotor eingesetzt werden.

Elektromotoren werden zunehmend in Autos, Nutzfahrzeugen aber auch in Motorrädern und Fahrrädern verwendet. Häufig ist eine feste Konfiguration des Elektromotors vorgegeben, auf die das Fahrzeug und die Steuereinheit bzw. eine ggf. verwendete Regelungseinheit abgestimmt sind. Aber auch Schiffe und Flugzeuge werden mit Elektromotoren als Antrieb zu Wasser oder in der Luft ausgestattet.

Die Erfindung betrifft eine Auswahleinheit zur Auswahl der Konfiguration eines Elektromotors, enthaltend:
- eine Eingabeeinheit, die ein Signal oder Daten empfangen kann, welche einen Fahrzustand einer Transportmaschine oder eine Drehzahl eines Elektromotors angibt,
- eine Ermittlungseinheit, die abhängig von dem mit der Eingabeeinheit empfangenen Signal oder Daten eine Konfiguration des Elektromotors ermittelt, und
- eine Ausgabeeinheit, die mindestens ein Signal oder Daten ausgibt, das die ausgewählte Konfiguration bezeichnet oder vorgibt.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Transportmaschine mit einer solchen Auswahleinheit.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Auswählen einer Konfiguration an einem Elektromotor, enthaltend:
- Erfassen eines ersten Fahrzustands oder einer ersten Drehzahl,

- Auswahl einer ersten Konfiguration eines Elektromotors abhängig von dem erfassten ersten Fahrzustand,
- Erfassen eines zweiten Fahrzustands oder einer zweiten Drehzahl, und
- Auswahl einer zweiten Konfiguration eines Elektromotors abhängig von dem erfassten zweiten Fahrzustand, wobei sich die zweite Konfiguration von der ersten Konfiguration unterscheidet.

Es ist Aufgabe der Ausführungsbeispiele, eine Auswahleinheit anzugeben, die eine Umkonfiguration eines Elektromotors gestattet und die insbesondere den weiteren Gebrauch des Elektromotors auch noch bei Fehlern im Elektromotor gewährleistet. Außerdem sollen eine Transportmaschine mit einer solchen Auswahleinheit und ein zugehöriges Verfahren angegeben werden.

Diese Aufgabe wird durch eine Auswahleinheit gemäß Anspruch 1 und durch eine Transportmaschine sowie ein Verfahren gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ein Ausführungsbeispiel betrifft ein Auswahleinheit zur Auswahl der Konfiguration eines Elektromotors, enthaltend:
- eine Eingabeeinheit, die mindestens ein Signal oder Daten empfangen kann, welches einen Fahrzustand einer Transportmaschine oder eine Drehzahl eines Elektromotors angibt,
- eine Ermittlungseinheit, die vorzugsweise automatisch abhängig von dem mit der Eingabeeinheit empfangenen Signal oder Daten eine Konfiguration des Elektromotors ermittelt, und
- eine Ausgabeeinheit, die ein Signal oder Daten ausgibt, das die ausgewählte Konfiguration bezeichnet oder definiert.

Ein Fahrzustand kann bspw. das Anfahren sein. Ein anderer Fahrzustand kann bspw. das Fahren mit mittleren Geschwindigkeiten sein, z.B. im Bereich von 30 Km/h (Kilometer pro Stunde) bis 50 Km/h. Ein dritter Fahrzustand kann das Fahren mit hohen Geschwindigkeiten sein. Es können aber auch andere

Fahrzustände verwendet werden, die weniger geschwindigkeitsbezogen sind. So können auch Fehler im Elektromotor oder seiner Ansteuerung einen bestimmten Fahrzustand kennzeichnen. An Stelle oder zusätzlich zu den Fahrzuständen kann auch die Drehzahl des Elektromotors verwendet werden.

Die Ermittlungseinheit enthält bspw. einen Prozessor oder einen Mikroprozessor. Alternativ kann die Ermittlungseinheit eine elektronische Schaltung ohne Mikroprozessor enthalten. Abhängig von dem aktuellen Fahrzustand und/oder der Drehzahl wählt die Ermittlungseinheit eine günstige Konfiguration aus, insbesondere nach einem vorgegebenen Verfahren bzw. nach vorgegebenen Kriterien, z.B. hoher Wirkungsgrad des Elektromotors in dem betreffenden Fahrzustand, sicherer Motorbetrieb beim Auftreten eines Fehlers im Elektromotor oder auch in der Steuerung oder Regelung des Elektromotors. Die Auswahl kann nach vergleichsweise einfachen Vorgaben erfolgen. Es lassen sich aber auch komplexere Strategien für die Auswahl verwenden.

Die Konfiguration kann dann z.B. direkt über die Ausgabeeinheit eingestellt werden oder es wird eine weitere Konfigurationseinheit genutzt, die den Elektromotor umkonfiguriert. Somit kann die Konfiguration softwaretechnisch über die Ansteuersignale der Halbbrücken bzw. Vollbrücken erfolgen. Alternativ kann eine Schaltmatrix die Einstellung aller theoretisch möglichen Konfigurationen erlauben. Jedoch können auch Schaltelemente verwendet werden, mit denen sich die praktisch relevanten Konfigurationen einstellen lassen.

Das Umkonfigurieren kann durch Verändern der Anzahl der für den Betrieb des Elektromotors genutzten Wicklungen erfolgen. Auch kann bei gleich bleibender Anzahl von Wicklungen die Verschaltung der Wicklungen verändert werden, bspw. durch einen Wechsel zwischen Sternpunktschaltung und Mehreckschaltung. Auch können verschiedene Arten einer Mehreckschaltung verwendet werden.

Durch die Auswahleinheit ergibt sich die Möglichkeit an Hand von Wirkungsgradangaben für den Elektromotor, bspw. für voneinander verschiedene Drehzahl zu Drehmomentwerte, verschiedene Konfigurationen des Elektromotors festzulegen. Aus diesen Konfigurationen wird dann durch die Auswahleinheit, die zu einem bestimmten Fahrzustand gehörende Konfiguration ausgewählt. Wird bspw. immer eine Konfiguration mit hohem Wirkungsgrad des Elektromotors ausgewählt, so lässt sich die Reichweite von Elektrofahrzeugen auf Grund des effizienten Energieeinsatzes erheblich vergrößern. In Fehlerfällen können Konfigurationen gewählt werden, die einen möglichst sicheren Reservebetrieb des Elektromotors gewährleisten.

Durch die Auswahleinheit werden also neue Anwendungen und neue Betriebsweisen für den Elektromotor eröffnet.

Die Ermittlungseinheit kann zu einem Fahrzustand oder zu einer Drehzahl eine Konfiguration mit hohem Wirkungsgrad des Elektromotors ermitteln. Der Wirkungsgrad kann definiert werden als das Verhältnis der aufgenommenen elektrischen Leistung zu der abgegebenen mechanischen Leistung.

Beispielweise werden in einem unteren Drehzahlbereich des Elektromotors nicht alle Wicklungen bzw. Phasen einer Drehstrommaschine verwendet, um auch hier einen hohen Wirkungsgrad zu ermöglichen. Bei hohen Drehzahlen werden dann mehr Wicklungen oder alle Wicklungen verwendet, da sich dann neben der größeren Leistung auch ein hoher Wirkungsgrad ergibt. Der Wirkungsgrad des Elektromotors ist entscheidend für den Energieverbrauch und damit für die Reichweite eines Elektroautos bzw. Elektrofahrzeugs.

Der Wirkungsgrad kann durch die Wahl einer für den Fahrzustand oder die Drehzahl geeigneten Anzahl von zu verwendenden Wicklungen erhöht werden. Die Anzahl der mit Strom durchflossenen Wicklungen kann sich bei einer ersten Konfiguration von

der Anzahl der mit Strom durchflossenen Wicklungen bei einer zweiten Konfiguration unterscheiden. Beide Konfigurationen können einen fehlerfreien Betrieb des Elektromotors betreffen.

Die Anzahl der zur Ansteuerung verwendeten elektrischen Phasen kann bei unterschiedlicher Wicklungsanzahl gleich bleiben. Alternativ, kann sich die Anzahl der zur Ansteuerung verwendeten elektrischen Phasen aber auch bei unterschiedlicher Wicklungsanzahl unterscheiden. Somit entstehen weitere Freiheitsgrade zur Änderung des Wirkungsgrades des Elektromotors.

Alternativ kann der Wirkungsgrad durch die Wahl einer für den Fahrzustand oder die Drehzahl geeigneten Anzahl von zur Ansteuerung von bspw. Halbbrücken oder Vollbrücken verwendeten elektrischen Phasen verändert werden. Die Anzahl der verwendeten Phasen kann sich bei einer ersten Konfiguration von der Anzahl der verwendeten Phasen bei einer zweiten Konfiguration unterscheidet, vorzugsweise bei gleichbleibender Anzahl von verwendeten Wicklungen. Bei fehlerfreiem Betrieb werden vorzugsweise alle vorhandenen Wicklungen verwendet.

Das Verändern der Phasenanzahl ist eine einfache aber wirkungsvolle Maßnahme zum Verändern des Wirkungsgrades eines Elektromotors. Diese Maßnahme kann auch einfache Art und Weise mittels Mikroprozessor oder Mikrocontroller erfolgen. Weitere Freiheitsgrade zur Veränderung des Wirkungsgrades ergeben sich in Kombination mit anderen Maßnahmen, z.B. Wechsel von Sternschaltung zu Dreieckschaltung oder zu Mehreckschaltungen, wobei bei Mehreckschaltungen auch unterschiedliche Spannzahlen verwendet werden können (Englisch: "Span").

Die Ermittlungseinheit kann aber bei einem anderen Ausführungsbeispiel auch zwischen einem fehlerfreien Betrieb des Elektromotors und einem Fehlerbetrieb unterscheiden. Im fehlerfreien Betrieb kann eine Wirkungsgradeffizienz maßgebend

für die Auswahl der Konfiguration sein. Im Fehlerbetrieb kann dagegen die Sicherheit maßgebend sein, z.B. die Sicherheit einer Transportmaschine, die die Auswahleinheit enthält.

Die Ermittlungseinheit kann im Fehlerbetrieb eine Wicklung nicht verwenden, die ein Fehler enthält, indem eine Konfiguration ohne diese Wicklung ausgewählt wird.

Das Ermitteln der Fehlerursache kann automatisch erfolgen, bspw. durch das Erfassen von Wicklungsparametern, z.B. Wicklungswiderstand, oder auf andere Art, z.B. aus einem Motormodell heraus, das gleichzeitig simuliert wird. Der Fehler kann auch in einer Ansteuerung des Elektromotors liegen, z.B. in einem Umrichter. In diesem Fall wird durch die Ermittlungseinheit eine Konfiguration gewählt, bei der die vom Fehler betroffene Halbbrücke oder Vollbrücke des Umrichters nicht verwendet wird.

Die Ermittlungseinheit kann im Fehlerbetrieb eine Konfiguration auswählen, die es erlaubt, einem durch den Fehler verursachtem Moment entgegen zu regeln oder zu steuern. So kann bspw. einem Pendelmoment oder einem Blockiermoment entgegen gewirkt werden. Der Elektromotor wird in diesem Fall also in zwei Teilmaschinen aufgeteilt, wobei die eine Teilmaschine fehlerhaft ist und die andere Teilmaschine dem Fehler entgegenwirkt und einen Hilfsantrieb realisiert. Der Hilfsantrieb kann auch durch eine dritte Teilmaschine des Elektromotors realisiert werden, um die Fehlerkompensation von der Funktion als Hilfsantrieb zu trennen.

Ein anderes Ausführungsbeispiel betrifft eine Transportmaschine enthaltend eine Auswahleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche. Damit gelten die für die Auswahleinheit genannten technischen Wirkungen auch für die Transportmaschine. Die Transportmaschine ist z.B. ein vollelektrisch angetriebenes Auto. Alternativ ist die Transportmaschine ein Auto mit Hybridantrieb, d.h. es gibt einen elektrischen Antrieb

und einen weiterem Antrieb, z.B. eine Verbrennungskraftmaschine. Bei Elektroautos ist die Reichweite ein entscheidendes Akzeptanzkriterium. Die Reichweite lässt sich über die Steigerung der effizienten Nutzung des Motors durch Zu- oder Abschalten von Wicklungen basierend auf Entscheidungen der Auswahleinheit vergrößern.

Die Transportmaschine kann eine elektronische Ansteuereinheit zur Ansteuerung der Wicklungen des Elektromotors gemäß Steuersignalen enthalten. Die elektronischen Schalter in der Ansteuereinheit können Feldeffekttransistoren sein (FET - Field Effect Transistor), wie MOSFET's (Metal Oxide FET). Aber auch IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) oder Thyristoren (GTO) können verwendet werden, abhängig von der benötigten Schaltleistung. Die Schaltelemente können in der Ansteuereinheit eine Halbbrückenschaltung für den Anschluss eines Wicklungsanschlusses oder eine Vollbrückenschaltung für den Anschluss der beiden Anschlüsse einer Wicklung bilden. Die genannten Schaltelemente sind auch für die Konfiguration geeignet. So kann bereits über die Halbbrücken oder die Vollbrücken eine Konfiguration erfolgen indem bspw. bestimmte Brückenschaltungen nicht verwendet werden oder in dem bestimmte Brückenschaltungen mit demselben Steuersignal angesteuert werden. Eine Konfiguration kann über mehr als eine Sekunde, mehr als 10 Sekunden oder auch über mehr als eine Minute aufrecht erhalten werden.

Die Transportmaschine kann eine Regeleinheit zum Erzeugen der Steuersignale der Ansteuereinheit gemäß mindestens einem Regelverfahren enthalten. Die Regelung kann z.B. eine feldorientierte Regelung sein. Feldorientierte Regelungen basieren auf einem Drehzeiger (Vector Control) der sich mit der Rotorwinkelgeschwindigkeit dreht. Bei Drehfeldmaschinen können die Rotorkoordinaten einfacher für eine Regelung verwendet werden, weil das Drehfeld in Rotorkoordinaten relativ zum Drehfeld des Stators ruht (Synchronmaschine) oder nur eine kleine Geschwindigkeit relativ zum Drehfeld des Stators hat (Asyn-

chronmaschine). Die Transformation in Rotorkoordinaten zur Regelung und die Rücktransformation in die Ständerkoordinaten zur Erzeugung der Steuersignale für die Ansteuereinheit kann durch leistungsfähige Prozessoren erfolgen, insbesondere durch Mikroprozessoren oder durch spezielle Signalprozessoren.

Der Regelung kann außerdem noch ein Motormodell des Elektromotors zu Grunde liegen. Weiterhin können Reglerelemente verwendet werden, wie PI-Regler (Proportional Integral) oder PID - Regler (Proportional, Integral, Differential).

Aber auch andere Regelungen als feldorientierte Regelungen oder Steuerungen können verwendet werden.

Die Transportmaschine kann eine Konfigurationseinheit enthalten, die mit der Ausgabeeinheit gekoppelt ist, und die die bezeichnete oder definierte Konfiguration einstellt. Die Konfigurationseinheit kann somit die Ansteuereinheit enthalten oder auch zusätzliche elektronische Schalter, z.B. Transistoren, oder elektromechanische Schalter, wie Relais.

Es können auch Umschalter verwendet werden, die zwischen den verwendeten Konfigurationen umschalten, z.B. zwischen zwei Konfigurationen, drei Konfigurationen oder mehr als drei Konfigurationen. Alternativ kann eine Schaltmatrix verwendet werden, die eine Vielzahl von Konfigurationen erlaubt.

Bei einer Sternkonfiguration wird ein Anschluss jeder Wicklung zu einem gemeinsamen Sternpunkt geführt. Bei einer Vieleckkonfiguration, d.h. ohne Sternpunkt, werden aufeinander folgend immer ein Wicklungsanschluss einer Wicklung mit einem Wicklungsanschluss einer anderen Wicklung in Reihenschaltung verbunden. In diesem Zusammenhang wird bei drei Wicklungen von einem Dreieck und bei mehr als drei Wicklungen von einem Vieleck gesprochen. Räumlich benachbarte Wicklungen können direkt verbunden werden, oder es wird bspw. jeweils ein Wick-

lungsanschluss bzw. werden zwei oder mehr zwischen den verbundenen Wicklungen liegende Wicklungsanschlüsse anderer Wicklungen übersprungen. Hier wird auch der Begriff Spannweite oder Englisch "Span" verwendet.

Die Konfigurationseinheit kann auch die Regeleinheit einbeziehen, so dass abhängig von der Konfiguration auch die betreffenden Motormodelle in die Regelung einbezogen werden. Insbesondere kann auch die Art der Regelung bzw. Steuerung konfiguriert werden.

Die Transportmaschine kann mindestens einen Radnabenmotor enthalten, bspw. zwei Radnabenmotoren an einer Achse eines Fahrzeugs oder vier Radnabenmotoren an den beiden Achsen. Durch die Auswahleinheit lassen sich auch im Fehlerfall die Fahreigenschaften bzw. Rolleigenschaften eines frei drehenden Rades einstellen. Insbesondere kann ein Blockieren vermieden werden und es kann Fehlermomenten entgegen geregelt werden, z.B. Pendelmomenten.

Diese technischen Wirkungen sind besonders relevant, wenn keine Kupplung vorhanden ist und keine mechanische Bremse, wie es bei vielen Radnabenmotorkonzepten der Fall ist. Eine gesetzliche Genehmigung für ein Fahrzeug ohne mechanische Bremse kann bspw. maßgebend vom Verwenden der Auswahleinheit abhängen.

Der Radnabenmotor kann bspw. eine Zahnspulenwicklung enthalten. Der Radnabenmotor kann als Außenläufer oder als Innenläufer realisiert sein.

Aber auch andere Elektromotoren werden verwendet, bspw. zentraler Elektromotor für eine Achse oder sogar für ein Fahrzeug.

Der Elektromotor kann z.B. 4 oder mehr als 4 Wicklungen bzw. Nuten, 9 oder mehr als 9 Wicklungen bzw. Nuten, 12 oder mehr

als 12 Wicklungen bzw. Nuten oder sogar mehr als 24 Wicklungen bzw. Nutenhaben. Die Anzahl der Wicklungen bzw. Nuten kann kleiner als 100 sein.

Außerdem wird ein Verfahren zum Auswählen einer Konfiguration an einem Elektromotor angegeben, enthaltend:
- Erfassen eines ersten Fahrzustands oder einer ersten Drehzahl,
- Auswahl einer ersten Konfiguration eines Elektromotors abhängig von dem erfassten ersten Fahrzustand,
- Erfassen eines zweiten Fahrzustands oder einer zweiten Drehzahl,
- Auswahl einer zweiten Konfiguration eines Elektromotors abhängig von dem erfassten zweiten Fahrzustand, wobei sich die zweite Konfiguration von der ersten Konfiguration unterscheidet.

Damit gelten für das Verfahren, die oben für die Auswahleinheit genannten technischen Wirkungen.

Die zweite Konfiguration kann sich von der ersten Konfiguration hinsichtlich der Anzahl der einbezogenen Wicklungen unterscheiden. Bei den Wicklungen unterscheidet man verteilte Wicklungen, die mehr als zwei Nuten belegen und konzentrierte Wicklungen, die nur zwei Nuten belegen. Eine Wicklung kann mehrere Windungen enthalten, z.B. mehr als 10 Windungen, mehr als 100 Windungen aber z.B. weniger als 10000 Windungen. Die Wicklungen können auch als Spulen bezeichnet werden. Im Zusammenhang mit der Auswahleinheit hat jede Wicklung einen Wicklungsanschluss oder auch zwei Wicklungsanschlüsse, die abhängig von der getroffenen Auswahl mit Halbbrücken bzw. Vollbrücken aus jeweils zwei bzw. vier Schaltelementen verbunden werden. Bei einigen Konfigurationen können auch die Wicklungsanschlüsse zweier oder mehr als zweier Wicklungen mit dem Mittelknoten der Halb- bzw. Vollbrücken verbunden werden. In anderen Konfigurationen sind dann aber diese Wicklungsanschlüsse wieder getrennt voneinander.

Der Elektromotor kann in beiden Konfigurationen fehlerfrei sein. Die Konfigurationen können dann bspw. hinsichtlich des Wirkungsgrades ausgewählt werden.

Alternativ kann auch bei dem Verfahren der Wirkungsgrad durch die Wahl einer für den Fahrzustand oder die Drehzahl geeigneten Anzahl von verwendeten elektrischen Phasen verändert werden. Die Anzahl der verwendeten Phasen kann sich bei einer ersten Konfiguration von der Anzahl der verwendeten Phasen bei einer zweiten Konfiguration unterscheidet, vorzugsweise bei gleichbleibender Anzahl von verwendeten Wicklungen. Bei fehlerfreiem Betrieb werden vorzugsweise alle vorhandenen Wicklungen verwendet.

Das Verändern der Phasenanzahl ist wiederum eine einfache aber wirkungsvolle Maßnahme zum Verändern des Wirkungsgrades eines Elektromotors. Diese Maßnahme kann auch einfache Art und Weise mittels Mikroprozessor oder Mikrocontroller erfolgen. Weitere Freiheitsgrade zur Veränderung des Wirkungsgrades ergeben sich in Kombination mit anderen Maßnahmen, z.B. Wechsel von Sternschaltung zu Dreieckschaltung oder zu Mehreckschaltungen, wobei bei Mehreckschaltungen auch unterschiedliche Spannzahlen verwendet werden können (Englisch: "Span").

Die Konfigurationen können so ausgewählt werden, dass sich abhängig vom Fahrzustand ein möglichst großer Wirkungsgrad des Betriebs des Elektromotors ergibt. Dies erhöht die Effizienz und damit die Reichweite von bspw. Elektrofahrzeugen.

Der Elektromotor kann aber auch beim Verwenden der ersten Konfiguration und/oder beim Verwenden der zweiten Konfiguration einen Fehler enthalten. Die verwendete Konfiguration kann jedoch selbst fehlerfrei sein. Insbesondere kann es mindestens zwei Konfigurationen für zwei voneinander verschiedene Fehlerfälle geben.

In allen angesprochenen Anordnungen können die einzelnen Wicklungen bspw. außen am Stator zurückgewickelt werden. Alternativ können zweischichtige Zahnspulenwicklung verwendet werden. Einschichtige Zahnspulwicklungen können bei doppelter Nutenanzahl verwendet werden. Aber auch verteilte Wicklungen sind möglich.

Mit anderen Worten ausgedrückt, wird ein lastoptimierter Nabenmotor angegeben.

Elektroantriebe haben im unteren Drehzahlbereich in der Regel einen deutlich geringeren Wirkungsgrad als in ihrem optimalen Betriebsbereich. Gerade im unteren Geschwindigkeitsbereich, der in der Fahrpraxis sehr häufig vorkommt, dreht bspw. ein Radnabenmotor daher in einem nicht optimalen Drehzahlbereich. Daher wird mehr Energie in Verlustwärme umgesetzt und nicht für den eigentlichen Vortrieb genutzt.

Elektrische Maschinen haben einen optimalen Arbeitspunkt. Dieser wird in der Regel entsprechend des Einsatzes identifiziert und dann wird die Maschine auf diesen Arbeitspunkt ausgelegt. Im Fahrzeugbetrieb werden aber unterschiedliche Last- und Drehzahlpunkte dynamisch angefordert.

Heute werden meist schaltbare Getriebe genutzt, um die Drehzahl des Antriebs im Verhältnis zur Raddrehzahl zu optimieren. Bspw. bei einem Radnabenantrieb würde sich die Komplexität des Antriebs und das Gewicht im Rad durch ein schaltbares Getriebe aber deutlich erhöhen.

In klassischen Elektroantrieben werden drei Phasen implementiert, um das Drehfeld zu erzeugen. Bspw. in einem optimierten Radnabenantrieb können mehr als drei Phasen implementiert werden, so dass sich durch das gezielte Abschalten von Phasen verschiedene Teilmotorkonzepte darstellen lassen. So kann für jede Drehzahl jeweils der Teilmotor aktiviert werden, der die

beste Effizienz hat. Dadurch lässt sich über ein größeres Drehzahlband eine optimale hohe Effizienz des Elektroantriebs, z.B. Radnabenantrieb, darstellen und die eingesetzte Energie optimaler verwenden.

Der Antrieb besteht dazu bspw. aus:
- einem Elektromotor, z.B. Radnabenmotor, mit mehr als drei Phasen,
- einer Leistungselektronik mit jeweils einer Endstufe pro Phase bzw. einer Leistungselektronik mit so vielen Endstufen, wie der Motor Phasen/Wicklungen hat, und
- einer Regelung, bestehend aus Ansteuerelektronik und Auswerte- und Regelungssoftware, die für die jeweilige Drehzahl die richtige Anzahl von Phasen berechnet und nutzt.

Durch die variable Nutzung der aktiven Motorkomponenten ergeben sich verschiedene Teilmotoren, die in einem Motor integriert sind. Dadurch lässt sich der Wirkungsgrad eines Elektroantriebs für E-Fahrzeuge (Elektrofahrzeuge) steigern und die Fahrreichweite von E-Fahrzeugen entsprechend erhöhen. Da die Antriebsmaschine aus verschiedenen Teilmaschinen besteht, kann die Redundanz genutzt werden. Fällt eine Phase aus können die anderen Teilmotoren den Antrieb übernehmen.

Einem Pendelmoment oder Blockiermoment, das im Fehlerfall eines Kurzschlusses entsteht, könnten die jeweils funktionsfähigen Teilmaschinen entgegenwirken und so das Pendelmoment bzw. Blockiermoment verringern.

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung an Hand der beiliegenden Zeichnungen erläutert. Darin zeigen:
Figur 1 einen Radnabenmotor,
Figur 2 Betriebszustände in einem Drehzahl zu Drehmoment Diagramm,
Figur 3 Einheiten zur Konfiguration und zum Betrieb eines Elektromotors,

Figur 4 eine erste Konfiguration eines Elektromotors mit bspw. zwölf Wicklungen,

Figur 5 eine zweite Konfiguration des Elektromotors,

Figur 6 ein Beispiel für die Anordnung von Wicklungen für die zweite Konfiguration des Elektromotors,

Figur 7 eine dritte Konfiguration des Elektromotors, die auch für einen Fehlerfall geeignet ist,

Figur 8 ein Beispiel für die Anordnung von Wicklungen für die dritte Konfiguration des Elektromotors,

Figur 9 Verfahrensschritte eines Verfahrens zum Konfigurieren eines Elektromotors,

Figur 10 Einheiten eines Elektroautos,

Figur 11 ein Beispiel für die Anordnung von Wicklungen für eine vierte Konfiguration des Elektromotors, und

Figur 12 ein Beispiel für die Anordnung von Wicklungen für eine fünfte Konfiguration des Elektromotors.

Die Figur 1 zeigt einen Radnabenmotor 10, der auf einer Fahrzeugachse 12 angeordnet ist. Es handelt sich bspw. um einen Innenläufermotor.

Ein Radiallager 16 ist mit seiner Innenseite auf der Fahrzeugachse 12 befestigt und an seiner Außenseite in einem Lagerblock 18 gelagert bzw. befestigt. Eine Läuferbasis-Scheibe 20 hat bspw. einen kreisförmigen Umfang und kann die Seitenwand eines Läufergehäuses bilden. Am Umfang der Scheibe 20 sind Permanentmagnete PM1 bis PMn angebracht, z.B. 12 Stück.

Das Statorgehäuse 21, trägt Spulen bzw. Wicklungen SP1 bis SPn, z.B. 12 oder 24 Wicklungen, die im folgenden auch mit W1 bis Wn bezeichnet werden.

Am Innenläufer bzw. Rotor, genauer an der Scheibe 20 ist eine Verbund aus einer Felge 22, einem Radkranz 24 und einem Radflansch befestigt mit Hilfe von Radschrauben 28, 30 bzw. Radmuttern. Ein Reifen 32 wird von der Felge 22 getragen bzw. stützt sich auf der Felge 22 ab.

Der Radnabenmotor 10 kann eine Abmessung entlang seiner Mittelachse M haben, die kleiner als sein Durchmesser ist, insbesondere kleiner als die Hälfte des Durchmessers. Die Länge wird bspw. durch die Länge der Spulen SP1 vorgegeben oder durch die Länge eines Gehäuses. Der Durchmesser wird bspw. durch die Lage der äußeren Flächen der Spulen SP1 bis SPn vorgeben oder durch ein Gehäuse.

An Stelle des Radnabenmotors 10 kann auch ein anderer Radnabenmotor verwendet werden, z.B. mit Käfigläufer (Kurzschlussringläufer). An Stelle eines Radnabenmotors 10 mit Innenläufer kann auch ein Radnabenmotor mit Außenläufer verwendet werden, der Permanentmagnete oder einen Kurzschlussringläufer enthält.

Es lassen sich aber auch andere Elektromotore verwenden, insbesondere ein Asynchronmotor oder ein Synchronmotor mit einer Länge in Längsrichtung der Drehachse, wobei die Länge größer als ein Außendurchmesser des betreffenden Elektromotors ist.

Der Elektromotor kann in einer Transportmaschine oder einer anderen Maschine verwendet werden, z.B. in einer Werkzeugmaschine o.ä. Dieselben Prinzipien lassen sich nicht nur bei Motoren sondern auch bei Generatoren anwenden.

Die Figur 2 zeigt Betriebszustände in einem Drehzahl n zu Drehmoment M Diagramm. Die Drehzahl n ist auf der waagerechten Achse des Diagramms abgetragen. Das Drehmoment M ist dagegen auf der vertikalen Achse des Diagramms abgetragen.

Zwei Kurven K1 und K2 sind jeweils einem gleichen Wirkungsgrad zugeordnet, wobei der Wirkungsgrad der Kurve K2 höher als der Wirkungsgrad der Kurve K2 ist. Die Kurven K1 und K2 trennen Gebiete mit voneinander verschiedenen Wirkungsgradenbereichen voneinander ab, wenn der Radnabenmotor nur in einer Konfiguration verwendet wird. In diesem Fall ist der Radna-

benmotor bspw. auf einen Betriebzustand B4 hin abgestimmt, für den er mit einem hohen Wirkungsgrad betrieben wird. Somit betrifft das Gebiet G1 das von der Kurve K1 umfasst wird, ein Gebiet mit Betriebszuständen, die einen hohen Wirkungsgrad haben.

Ein Gebiet G2 zwischen den Kurven K1 und K2 betrifft dagegen Betriebszustände mit mittlerem Wirkungsgrad, z.B. einen Betriebszustand B3.

Ein Gebiet G3 liegt links und unterhalb der Kurve K2 und betrifft Betriebszustände mit einem kleinen Wirkungsgrad, siehe Betriebszustände B1 und B2.

Mit der vorliegenden Erfindung wird nun ein Ansatz gewählt, bei dem nicht mehr nur eine Konfiguration des Elektromotors verwendet wird sondern mehrere Konfigurationen. Damit kann im Betriebszustand B1 beim Anfahren bspw. das gleiche Moment M des Motors erzielt werden, wie im Betriebszustand B4, z.B. Fahren im Augenblick des Beschleunigens bei hoher Drehzahl, d.h. vier oder fünf Personen plus ggf. Gepäck. Das Konfigurieren des Radnabenmotors 10 wird an Hand der folgenden Figuren 3 bis 12 näher erläutert.

Die Figur 3 zeigt Einheiten zur Konfiguration und zum Betrieb eines Elektromotors 54, z.B. des Radnabenmotors 10, nämlich:
- eine Regelung/Steuerung 50, und
- eine Leistungselektronik 52.

Der Motor 10, 54 kann bspw. eine Zahnspulenwicklung enthalten. Der Motor 10, 54 kann als Außenläufer oder als Innenläufer realisiert sein. An Stelle einer Zahnspulenwicklung können auch andere Wicklungsschemata verwendet werden, z.B. Zweischicht-Bruchlochwicklung, Zweischicht-Ganzlochwicklung, usw.

Die Regelung/Steuerung 50 enthält ihrerseits:

- eine Ansteuereinheit 56,
- eine Regeleinheit 58, und
- eine Auswahleinheit 60.

Die Ansteuereinheit 56 enthält bspw. eine Anzahl von Pulsweitenmodulations-Schaltungen (PWM - Puls Width Modulation) bzw. PWM-Schaltungspaaren, die mit der Anzahl von Halbbrückenschaltungen im Falle einer Leistungselektronik 52 mit Halbbrücken bzw. mit der Anzahl von Vollbrückenschaltung in der Leistungselektronik 52 übereinstimmt.

Die Regeleinheit 58 enthält bspw. für jede einstellbare Konfiguration eine eigene Regelung/Steuerung oder zumindest für jede einstellbare Konfiguration eigene Regelungsparameter (Zeitkonstanten der Regler, Verstärkungsfaktoren der Regler, Führungsgrößen, Stellgrößen oder Regelgrößen) bzw. Modellparameter. Bei der Regelung liegt eine geschlossene Wirkungskette vor in der eine Regeldifferenz, die sich aus Istwert und Sollwert der Regelgröße ergibt, möglichst klein wird. Ein Beispiel für eine Regelung ist die feldorientierte Regelung. Bei einer Steuerung liegt dagegen eine offene Wirkungskette vor.

Die Auswahleinheit 60 wählt abhängig vom Betriebszustand des Motors 54 bzw. einer Maschine, die diesen Motor 54 enthält, eine geeignete Konfiguration des Motors 54 aus und veranlasst das Konfigurieren entsprechend der ausgewählten Konfiguration. Der Aufbau der Auswahleinheit 60 wird unten an Hand der Figur 10 noch näher erläutert.

Die Leistungselektronik 52 enthält Halbbrücken 62 bis 66. Alternativ können an stelle der Halbbrücken 62 bis 66 auch Vollbrücken verwendet werden. Beispielsweise hat der Elektromotor 54 zwölf oder mehr als zwölf Wicklungen W1 bis Wn. Die Leistungselektronik 52 kann dann bspw. zwölf oder mehr als zwölf Halbbrücken im Falle einer Leistungselektronik 52 mit Halbbrücken bzw. zwölf oder mehr Vollbrücken im Fall einer

Leistungselektronik 52 mit Vollbrücken enthalten. Somit kann bei zumindest einer Konfiguration eine separate Ansteuerung der Wicklungen mit jeweils einer Halbbrücke oder mit jeweils einer Vollbrücke erfolgen.

Die Figur 4 zeigt eine erste Konfiguration K1 des Elektromotors 54 mit bspw. zwölf Wicklungen W1 bis W12, wobei aus Symmetriegründen nur die Wicklungen W1 bis W6 dargestellt sind. Die den Wicklungen W7 bis W12 zugeordneten Schaltbrücken werden wie die den Wicklungen W1 bis W6 zugeordneten Schaltbrücken angesteuert bei entgegengesetztem Wicklungssinn der Wicklungen W7 bis W12 im Vergleich zum Wicklungssinn der Wicklungen W1 bis W6. Bei gleichem Wicklungssinn/Beschaltung werden die Wicklungen W7 bis W12 zugeordneten Schaltbrücken invers zu den Wicklungen W1 bis W6 zugeordneten Schaltbrücken angesteuert, wobei hier invers bedeutet, dass bspw. die Ansteuersignale für den oberen Brückentransistor/-schalter und die Ansteuersignale für den unteren Brückentransistor/-schalter vertauscht werden.

In der Konfiguration K1 werden sechs Phasen zur Ansteuerung der Halbbrücken HB1 bis HB12 verwendet, wobei die Halbbrücken HB6 bis HB12 nicht dargestellt sind, wegen der oben erwähnten Symmetrie des Motors 54. Alternativ werden nur die sechs Halbbrücken HB1 bis HB6 verwendet, wie unten noch näher erläutert ist.

Die Wicklungen W1 bis W12 sind an einem Sternpunkt SP miteinander verbunden. Für die anderen Enden der Wicklungen W1 bis W6 liegt die folgende Schaltung vor:

- die Wicklung W1 ist mit dem Mittelknoten der Halbbrücke HB1 verbunden, wobei der Mittelknoten an die Arbeitsstrecken beider Schaltelemente der Halbbrücke angeschlossen ist, was auch für die anderen Halbbrücken gilt.
- die Wicklung W2 ist mit dem Mittelknoten der Halbbrücke HB2 verbunden,

- die Wicklung W3 ist mit dem Mittelknoten der Halbbrücke HB3 verbunden,
- die Wicklung W4 ist mit dem Mittelknoten der Halbbrücke HB4 verbunden,
- die Wicklung W5 ist mit dem Mittelknoten der Halbbrücke HB5 verbunden, und
- die Wicklung W6 ist mit dem Mittelknoten der Halbbrücke HB6 verbunden.

Das untere Schaltelement der Halbbrücken HB1 bis HB6 ist jeweils mit einer gemeinsamen Minusleitung 100 verbunden. Das obere Schaltelement der Halbbrücken HB1 bis HB6 ist jeweils mit einer gemeinsamen Plusleitung 102 verbunden.

Jede Halbbrücke HB1 bis HB6 wird durch ein Ansteuersignal-Leitungspaar S1 bis S6 gesteuert, wobei die eine Ansteuerleitung jeweils an einen Steueranschluss des oberen Schaltelements, z.B. Gate, und die andere Ansteuerleitung jeweils an einen Steueranschluss des unteren Schaltelements der betreffenden Halbbrücke führt.

In der Konfiguration K1 sind die sechs Phasen zueinander mit zunehmender Phasenverschiebung zwischen einander benachbarten Phasen angeordnet, d.h. z.B. 0 Winkelgrad, 60, 120, 180, 240, und 300 Winkelgrad. Auf Grund der Verwendung von sechs Phasen zur Ansteuerung von zwölf Wicklungen W1 bis W12 ergibt sich eine erste Teilmaschine des Elektromotors 12 mit eigener Drehmomentkennlinie in Abhängigkeit von Drehzahl. Auch der Wirkungsgrad der ersten Teilmaschine ist abhängig von der Drehzahl anders als bei anderen Teilmaschinen, die bspw. unten an Hand der Figuren 5 bis 8 noch näher erläutert werden.

Die zu den nicht dargestellten Wicklungen W6 bis W12 gehörenden Halbbrücken werden wie die Halbbrücken der Wicklungen W1 bis W6 angesteuert basierend auf den sechs Phasen. Es kann jedoch auch mit nur sechs Halbbrücken größerer Leistung gearbeitet werden, wenn die Halbbrücke HB1 bspw. den Strom durch

die Wicklungen W1 und W7, die Halbbrücke HB2 den Strom durch die Wicklungen W2 und W8 usw. steuert.

Für die Figur 4 gilt, Q = 12, p = 1 und m = 6, wobei Q die Anzahl der genutzten Nuten, p die Polpaarzahl und m die Anzahl der elektrischen Phasen sind. Weiterhin gilt:
$q = Q/(2p * m) = 1$,
wobei q die Anzahl der benutzen Nuten je Wicklung ist.

Die Figur 5 zeigt eine zweite Konfiguration K2 des Elektromotors 54. In der Konfiguration K2 werden nur drei Phasen zur Ansteuerung der Halbbrücken HB1 bis HB12 verwendet, wobei die Halbbrücken HB8 bis HB12 nicht dargestellt sind, wegen der oben erwähnten Symmetrie des Motors 54. Alternativ werden nur die sechs Halbbrücken HB1 bis HB6 verwendet, wie unten noch näher erläutert ist.

Die Wicklungen W1 bis W12 sind an einem Sternpunkt SP miteinander verbunden. Für die anderen Enden der Wicklungen W1 bis W6 liegt die oben an Hand der Figur 4 erläuterte Schaltung vor, d.h. z.B. dass die Wicklung W1 wieder mit dem Mittelknoten der Halbbrücke HB1 verbunden ist.

Das untere Schaltelement der Halbbrücken HB1 bis HB12 ist wieder jeweils mit der gemeinsamen Minusleitung 100 verbunden. Das obere Schaltelement der Halbbrücken HB1 bis HB12 ist jeweils mit der gemeinsamen Plusleitung 102 verbunden.

Jedoch sind in der Konfiguration K2 die Steueranschlüsse der Halbbrücken HB1 bis HB12 in jeweils Vierergruppen verbunden über Leitungspaare L1 bis L3, L1b, L1c sowie weitere nicht dargestellte Leitungspaare.

Jedes Halbbrückenvierergruppe wird durch ein Ansteuersignal-Leitungspaar S1, S2 bzw. S3 gesteuert, wobei die eine Ansteuerleitung jeweils an einen Steueranschluss des oberen Schaltelements, z.B. Gate, und die andere Ansteuerleitung jeweils

an einen Steueranschluss des unteren Schaltelements der betreffenden Halbbrücke führt.

Es liegt die folgende Verschaltung vor:

- das Leitungspaar L1 verbindet die Steuersignale der Hallbrücken HB1 und HB2,
- das Leitungspaar L2 verbindet die Steuersignale der Hallbrücken HB3 und HB4,
- das Leitungspaar L3 verbindet die Steuersignale der Hallbrücken HB5 und HB6,
- das Leitungspaar L1b verbindet die Steuersignale der Hallbrücken HB7 und HB8,
- ein nicht dargestelltes Leitungspaar verbindet die Steuersignale der Hallbrücken HB9 und HB10,
- ein nicht dargestelltes Leitungspaar verbindet die Steuersignale der Hallbrücken HB11 und HB12, und
- ein Leitungspaar L1c verbindet die Leitungspaare L1 und L1b zu der ersten Vierergruppe aus Halbbrücken HB1, HB2, HB7 und HB8.

Für die anderen beiden Vierergruppen HB3, HB4, HB9 und HB10 bzw. HB5, HB6, HB11 und HB12 gibt es ebenfalls noch nicht dargestellte Verbindungsleitungspaare analog zu dem Leitungspaar L1.

In der Konfiguration K2 sind die drei Phasen zueinander mit zunehmender Phasenverschiebung zwischen einander benachbarten Phasen angeordnet, d.h. z.B. 0 Winkelgrad, 120 und 240 Winkelgrad. Auf Grund der Verwendung von drei Phasen zur Ansteuerung von zwölf Wicklungen W1 bis W12 ergibt sich eine zweite Teilmaschine des Elektromotors 12, mit eigener Drehmomentkennlinie in Abhängigkeit von der Drehzahl. Auch der Wirkungsgrad der zweiten Teilmaschine ist abhängig von der Drehzahl anders als bei der ersten Teilmaschine bzw. einer unten noch näher erläutert dritten Teilmaschine.

Die zu den nicht dargestellten Wicklungen W9 bis W12 gehörenden Halbbrücken werden wie die Halbbrücken der Wicklungen W3 bis W6 angesteuert basierend auf den drei Phasen. Es kann jedoch auch mit nur sechs Halbbrücken größerer Leistung gearbeitet werden, wenn die Halbbrücke HB1 bspw. den Strom durch die Wicklungen W1 und W2, die Halbbrücke HB3 den Strom durch die Wicklungen W3 und W4 usw. steuert.

Auch kann ein Betrieb mit nur drei Halbbrücken erfolgen, wenn eine Halbbrücke den Strom durch 4 Wicklungen steuert, z.B. die Halbbrücke HB1 den Strom durch die Wicklungen W1, W2, W7 und W8.

Für die Figur 5 gilt, Q = 12, p = 1 und m = 3, wobei Q die Anzahl der genutzten Nuten, p die Polpaarzahl und m die Anzahl der elektrischen Phasen sind. Weiterhin gilt:
$q = Q/(2p * m) = 2$,
wobei q die Anzahl der benutzen Nuten je Wicklung ist.

Die Figur 6 zeigt ein Beispiel für die Anordnung von Wicklungen für die zweite Konfiguration des Elektromotors 54. Wicklungen gleicher Zahlen werden mit dem selben Sinussignal bzw. Kosinussignal bestromt, wobei es die drei Phasen 1, 2, 3 gibt.

In der in der Figur 6 gezeigten Anordnung können die einzelnen Wicklungen bspw. außen am Stator zurückgewickelt werden. Alternativ können zweischichtige Zahnspulenwicklung verwendet werden. Einschichtige Zahnspulwicklungen können bei doppelter Nutenanzahl verwendet werden. Aber auch verteilte Wicklungen sind möglich.

Die Figur 7 zeigt eine dritte Konfiguration K3 des Elektromotors 54, die auch für einen Fehlerfall geeignet ist. In der Konfiguration K3 werden ebenfalls nur drei Phasen zur Ansteuerung der Halbbrücken HB1, HB3, HB5, HB7, HB9 und HB11 verwendet, wobei die Halbbrücken HB6 bis HB12 nicht dargestellt

sind, wegen der oben erwähnten Symmetrie des Elektromotors 54. Alternativ werden nur die drei Halbbrücken HB1, HB3 und HB5 verwendet, wie unten noch näher erläutert ist. Die dritte Konfiguration kann aber auch in Fahrsituationen verwendet werden, in denen eine geringere Leistung des Elektromotors 54 benötigt wird und in der kein Fehlerfall vorliegt.

Die Wicklungen W1 bis W12 sind wieder an einem Sternpunkt SP miteinander verbunden. Für die anderen Enden der Wicklungen W1 bis W6 liegt die oben an Hand der Figur 4 erläuterte Schaltung vor, d.h. z.B. dass die Wicklung W1 wieder mit dem Mittelknoten der Halbbrücke HB1 verbunden ist.

Das untere Schaltelement der Halbbrücken HB1 bis HB6 ist wieder jeweils mit der gemeinsamen Minusleitung 100 verbunden. Das obere Schaltelement der Halbbrücken HB1 bis HB6 ist jeweils mit der gemeinsamen Plusleitung 102 verbunden.

Jedoch werden in der Konfiguration K3 nur die Halbbrücken HB1, HB3, HB5, HB7, HB9 und HB11 verwendet.

Die Leitungspaare S1, S3 bzw. S5 werden zur Steuerung der Halbbrücken HB1, HB3 und HB5 genutzt, wobei die eine Ansteuerleitung jeweils an einen Steueranschluss des oberen Schaltelements, z.B. Gate, und die andere Ansteuerleitung jeweils an einen Steueranschluss des unteren Schaltelements der betreffenden Halbbrücke führt.

In der Konfiguration K3 sind die drei Phasen zueinander mit zunehmender Phasenverschiebung zwischen einander benachbarten Phasen angeordnet, d.h. z.B. 0 Winkelgrad, 120 und 240 Winkelgrad. Auf Grund der Verwendung von drei Phasen zur Ansteuerung von sechs Wicklungen W1, W3, W5, W7, Wp und W11 ergibt sich eine dritte Teilmaschine des Elektromotors 12, mit eigener Drehmomentkennlinie in Abhängigkeit von der Drehzahl. Auch der Wirkungsgrad der dritten Teilmaschine ist abhängig

von der Drehzahl anders als bei der ersten Teilmaschine bzw. der zweiten Teilmaschine.

Die zu den nicht dargestellten Wicklungen W7, W9 und W11 gehörenden Halbbrücken werden wie die Halbbrücken der Wicklungen W1, W3 bzw. W5 angesteuert basierend auf den drei Phasen. Es kann jedoch auch mit nur drei Halbbrücken größerer Leistung gearbeitet werden, wenn die Halbbrücke HB1 bspw. den Strom durch die Wicklungen W1 und W7, die Halbbrücke HB3 den Strom durch die Wicklungen W3 und W9 usw. steuert.

Die Konfiguration K3 ist insbesondere geeignet für Fehlerfälle. Tritt bspw. ein Fehler 104 in der Wicklung W6 auf, z.B. Windungsschluss, so kann bspw. von der Konfiguration K1 bzw. K2 auf die Konfiguration K3 umgeschaltet werden. In der Konfiguration K3 wird die Wicklung W6 nicht verwendet, so dass der Fehler keinen Einfluss auf den Betrieb des Elektromotors 54 bzw. eines damit angetriebenen Fahrzeugs hat.

Der Fehler 104 könnte sich auch auf die Halbbrücke HB6 beziehen, z.B. Kurzschluss oder Unterbrechung in einer Schalteinheit. Auch in diesem Fall ist die Konfiguration K3 geeignet, den Einfluss des Fehlers 104 so klein wie möglich zu halten und dennoch einen Notbetrieb des Elektromotors 54 zu gewährleisten.

An Stelle der in den Figuren 4 bis 7 gezeigten Sternschaltungen der Wicklungen W1 bis W12 bzw. Wn können auch Vieleckschaltungen (Mesh) verwendet werden, d.h. z.B. eine Dreieckschaltung, Viereckschaltung usw. Bei einer Vieleckschaltung können die Wicklungen W1 bis Wn die Außenseite des Vielecks bilden. Alternativ können die Wicklungen jedoch auch sich überkreuzend verschaltet werden, was als sogenannte Spanne bezeichnet wird (Span).

Für die Figur 7 gilt, Q = 6, p = 1 und m = 3, wobei Q die Anzahl der genutzten Nuten, p die Polpaarzahl und m die Anzahl der elektrischen Phasen sind. Weiterhin gilt:
$q = Q/(2p * m) = 1$,
wobei q die Anzahl der benutzen Nuten je Wicklung ist.

Die Figur 8 zeigt ein Beispiel für die Anordnung von Wicklungen für die dritte Konfiguration des Elektromotors 54,
Im Fehlerfall kann eine von zwei Teilmaschinen verwendet werden, d.h. entweder die den Phasen 1, 2, 3 zugeordnete Teilmaschine aus den Wicklungen W1, W3, W5, W7, W9 und W11 oder die den Phasen 1', 2' bzw. 3' zugeordnete Teilmaschine aus den Wicklungen W2, W4, W6, W8, W10 und W12.

In der in der Figur 8 gezeigten Anordnung können die einzelnen Wicklungen bspw. außen am Stator zurückgewickelt werden. Alternativ können zweischichtige Zahnspulenwicklung verwendet werden. Einschichtige Zahnspulwicklungen können bei doppelter Nutenanzahl verwendet werden. Aber auch verteilte Wicklungen sind möglich.

Die Figur 9 zeigt Verfahrensschritte eines Verfahrens zum Konfigurieren eines Elektromotors, z.B. des Radnabenmotors 10 oder des Elektromotors 54.

Das Verfahren beginnt in einem Verfahrensschritt 201, der im Folgenden kurz auch als Schritt bezeichnet wird. In einem dem Schritt 201 unmittelbar folgenden Schritt 202 wird die Fahrsituation automatisch ermittelt, z.B. von einer zentralen Steuerung eines Fahrzeugs. Die Fahrsituation kann bspw. vom momentanen Drehmoment M, von der Drehzahl n und/oder von anderen Größen abhängen.

Danach wird in einem Schritt 203 von der Auswahleinheit 60 bzw. 280, siehe Figur 10, eine Konfiguration mit einem möglichst hohen Wirkungsgrad für die im Schritt 202 ermittelte Fahrsituation ausgewählt.

Dann wird in einem folgenden Schritt 204 auf die ausgewählte Konfiguration umgeschaltet, was bspw. innerhalb kurzer Zeiten möglich ist, z.B. in einer Zeit die kleiner als 100 ms oder sogar kleiner als 10 ms ist. Während des Umschaltens kann der Elektromotor 54 bspw. stromlos geschaltet werden.

In einem optionalen Schritt 205 wird geprüft, ob ein Fehlerfall vorliegt, bspw. Erfassen eines Fehlersignals, irregulärer Abweichungen usw. Liegt kein Fehler vor, so wird das Verfahren in dem Schritt 202 fortgesetzt und befindet sich dann in einer Schleife aus den Schritten 202 bis 205.

Diese Schleife wird im Schritt 205 nur dann verlassen, wenn ein Fehlerfall vorliegt. Liegt ein Fehler vor, so wird in einem dem Schritt 205 unmittelbar folgenden Schritt 206 eine Konfiguration ausgewählt, in der der Fehler keine Wirkung oder nur einen möglichst kleinen Einfluss auf den Motorbetrieb hat. Es wird also eine Teilmaschine des Motors abgeschaltet, die den Fehler enthält.

Kann eine solche Teilmaschine nicht abgeschaltet werden, so wird optional geprüft, ob ein Gegenregeln mit Hilfe einer anderen Teilmaschine des Elektromotors 54 möglich ist. Ist das Gegenregeln möglich, so wird eine entsprechende Konfiguration des Elektromotors 54 gewählt und die Gegenregelung wird aktiviert. Ist ein Gegenregeln nicht möglich, so wird der Elektromotor 54 bspw. automatisch ausgeschaltet. Das Gegenregeln kann auch alternativ zum Abschalten verwendet werden.

Das Verfahren wird in einem Schritt 207 beendet, z.B. durch Ausschalten des Fahrzeugs.

Bei einem anderen Ausführungsbeispiel wird der Schritt 205 nicht durchgeführt, wobei Fehlerfälle auf andere Art behandelt werden, bspw. vollständiges Abschalten des Elektromotors 54.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel kann auch nur im Fehlerfall eine Änderung der Konfiguration durchgeführt werden.

Die Figur 10 zeigt Einheiten eines Elektroautos 250, dass mindestens einen Elektromotor MGes bzw. 250 enthält, im Falle von Radnabenmotoren, mindestens zwei Radnabenmotoren MGes bzw. 250.

Jeder Motor MGes bzw. 250 enthält mehrere Teil-Maschinen M1 bis Mn, die alternativ zueinander oder auch gleichzeitig konfiguriert werden können.

Halbbrücken oder Vollbrücken 260 dienen zur Ansteuerung der Wicklungen des Motors 250 in den verschiedenen Konfigurationen. Bspw. gibt es mehr als sechs Halbbrücken HB1 bis HBn bzw. Vollbrücken.

Eine Regelungseinheit 270 enthält Regelkreise oder Steuerstrecken für die einzelnen Konfigurationen. Die Regelungseinheit 270 kann prozessorbasiert sein oder ohne Prozessor arbeiten.

Eine Auswahleinheit 280, die z.B. der Auswahleinheit 60 entspricht, dient der Auswahl der Konfigurationen des Elektromotors 250. Die Auswahleinheit 280 enthält bspw.:

- eine Eingabeeinheit EE, über die der Betriebszustand bspw. von einer zentralen Steuerung des Elektroautos 240 übermittelt wird,
- eine Ermittlungseinheit, die die zum jeweiligen Betriebszustand gehörende Konfiguration ermittelt, bspw. unter Verwendung eines Prozessors bzw. Mikroprozessor MP oder eines Mikrocontrollers und eines elektronischen Speichers M, in dem Programmbefehle und Daten gespeichert sind.
- Ausgabeeinheiten AE1, AE2, wobei die Ausgabeeinheit AE1 mit der Regeleinheit 270 gekoppelt ist und die Ausgabeeinheit AE2 bspw. mit einer nicht dargestellten Umschalteinheit.

An Stelle des Mikroprozessors MP und des Speichers M kann auch eine elektronische Schaltung ohne Mikroprozessor verwendet werden, z.B. ein FPGA (Field Programmable Gate Array).

Bei einem anderen Ausführungsbeispiel kann die Auswahleinheit 280 auch Bestandteil der zentralen Steuerung des Fahrzeugs / Autos 240 sein.

Sollgröße(n) 290 werden der Regelungseinheit 270 (ggf. auch nur Steuerung) vorgegeben von einer zentralen Steuerung des Elektroautos 240, z.B. ein Solldrehmoment. Die Regeleinheit 270 gibt abhängig von der konfigurierten Regelung Regelgröße(n) 292 and die Halbbrücken/Vollbrücken 260 aus.

Die Halbbrücken/Vollbrücken 260 sind über eine optionale Umschalteinheit mit den Wicklungsanschlüsse 293 verbunden. Mindestens ein Erfassungssignal 294 erfasst bspw. den Strom in den Wicklungen W1 bis Wn und wird zum Regeln verwendet. Das Erfassungssignal kann auch ein Drehzahlsignal sein, dass bspw. mit einem zusätzlichen Drehwinkelsensor erfasst wird. Das Fahrzustandssignal 295 wird in die Auswahleinheit 280 eingegeben.

Die Auswahleinheit 280 gibt ein optionales Auswahlsignal 296 an die Regeleinheit 270 aus, um einen für die ausgewählte Konfiguration geeignete Regelung/Steuerung bzw. geeignete Parameter zu konfigurieren. Bspw. wird hier auch die Anzahl der zu verwendenden Phasen berücksichtigt. Bei sechs Phasen kann bspw. eine erste feldorientierte Regelung für die Phasen 1, 3 und 5 verwendet werden. Eine zweite feldorientierte Regelung wird für die Phasen 2, 4 und 6 verwendet. Diese Phasen sind jeweils sinusförmig bzw. kosinusförmig. Andere Regelverfahren werden jedoch ebenfalls verwendet.

Ein optionales Auswahlsignal 298 wird von der Auswahleinheit 280 an eine nicht dargstellte Umschalteinheit gesendet und

dient bspw. zum Verschalten der Wicklungen des Elektromotors 250 untereinander und zum Verbinden mit den Halbbrücken HB1 bis HBn bzw. entsprechenden Vollbrücken abhängig von der ausgewählten Konfiguration.

Q	=	48	48	48	48	48
p	=	2	2	2	2	2
m	=	3	4	6	1	2
q	=	4	3	2	12	6

Q	=	36
p	=	2
m	=	3
q	=	3

Q	=	24	16	24	24	24
p	=	2	2	2	2	2
m	=	3	4	6	1	2
q	=	2	1	1	6	3

Q	12	12	12	12	8	6

	=						
p	=	1	1	1	1	1	1
m	=	3	2	1	6	4	3
q	=	2	3	6	1	1	1
		Fig. 5/6	Fig. 11		Fig. 4	Fig. 12	Fig. 7/8

wobei Q die Anzahl der genutzten Nuten, p die Polpaarzahl und m die Anzahl der elektrischen Phasen sind. Weiterhin gilt:

$q = Q/(2p * m)$,
wobei q die Anzahl der benutzen Nuten je Wicklung ist.

Andere Konfigurationen sind ebenfalls möglich, insbesondere mit nicht ganzzahligem q.

Neben Zahnspulenwicklungen sind auch Wicklungen möglich, bei denen außen um den Stator herumgewickelt wird. Die Zahlspulenwicklungen können einschichtig oder zweischichtig sein, wobei die zweischichtige Zahnspulenwicklung als Sonderfall der Zweischicht-Bruchlochwicklung angesehen werden kann. Andere verteilte Wicklungen können ebenfalls verwendet werden.

Die Figur 11 zeigt ein Beispiel für die Anordnung von Wicklungen für eine vierte Konfiguration des Elektromotors mit Q = 12, p = 1 und m = 2. Die zwei elektrischen Phasen 1 und 2 können wie dargestellt auf die einzelnen Wicklungen in den Nuten verteilt werden.

Die Figur 12 zeigt ein Beispiel für die Anordnung von Wicklungen für eine fünfte Konfiguration des Elektromotors mit Q = 12, p = 1 und m =4, d.h. vier Phasen, wobei manche Nuten frei bleiben.

Auch in den Anordnungen der Figuren 11 und 12 können die einzelnen Wicklungen bspw. außen am Stator zurückgewickelt werden. Alternativ können zweischichtige Zahnspulenwicklung verwendet werden. Einschichtige Zahnspulwicklungen können bei doppelter Nutenanzahl verwendet werden. Aber auch verteilte Wicklungen sind möglich.

Die an Hand der Figuren erläuterten Ausführungsbeispiele können insbesondere mit den in der Einleitung genannten Ausführungsbeispielen kombiniert werden. Die Ausführungsbeispiele sind nicht maßstabsgetreu und nicht beschränkend. Abwandlungen im Rahmen des fachmännischen Handelns sind möglich. Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben worden ist, ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzumfang der Erfindung zu verlassen.

Es können andere Elektromotoren, andere Polpaarzahlen (Rotor) und andere Wicklungsanzahlen oder Wicklungsschemata verwendet werden. Die Elektromotoren können Gleichstrom- oder Wechselstrommotore sein, insbesondere Wechselstrommotoren mit mindestens dreiphasigem Drehfeld.

Ansprüche

1. Auswahleinheit (60, 280) zur Auswahl der Konfiguration (K1 bis K3) eines Elektromotors (10, 54, 250), enthaltend:
- eine Eingabeeinheit (EE), die mindestens ein Signal (295) oder Daten empfangen kann, welche einen Fahrzustand (B1 bis B4) einer Transportmaschine (240) oder eine Drehzahl (n) eines Elektromotors (10, 54, 250) angibt,
- eine Ermittlungseinheit, die abhängig von dem mit der Eingabeeinheit (MP) empfangenen Signal (295) oder Daten eine Konfiguration des Elektromotors (10, 54, 250) ermittelt,
- eine Ausgabeeinheit (AE2), die mindestens ein Signal (298) oder Daten ausgibt, das die ausgewählte Konfiguration (K1 bis K3) bezeichnet oder vorgibt.

2. Auswahleinheit (60, 280) nach Anspruch 1, wobei die Ermittlungseinheit (MP) zu einem Fahrzustand (B1 bis B4) oder zu einer Drehzahl (n) eine Konfiguration mit hohem Wirkungsgrad des Elektromotors (10, 54, 250) ermittelt.

3. Auswahleinheit (60, 280) nach Anspruch 2, wobei der Wirkungsgrad durch die Wahl einer für den Fahrzustand (B1 bis B4) oder die Drehzahl (n) geeigneten Anzahl von zu verwendenden Wicklungen (W1 bis Wn) erhöht wird, und wobei sich die Anzahl bei einer ersten Konfiguration (K1, K2) von der Anzahl bei einer zweiten Konfiguration (K3) unterscheidet,
oder wobei der Wirkungsgrad durch die Wahl einer für den Fahrzustand (B1 bis B4) oder die Drehzahl (n) geeigneten Anzahl von Phasen (m) verändert wird, und wobei sich die Anzahl bei einer ersten Konfiguration (K1, K3) von der Anzahl bei einer zweiten Konfiguration (K2) unterscheidet, vorzugsweise bei gleichbleibender Anzahl von verwendeten Wicklungen (W1 bis Wn).

4. Auswahleinheit (60, 280) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ermittlungseinheit (MP), zwischen einem

fehlerfreien Betrieb des Elektromotors (10, 54, 250) und einem Fehlerbetrieb unterscheidet (205).

5. Auswahleinheit (60, 280) nach Anspruch 4, wobei die Ermittlungseinheit (MP) im Fehlerbetrieb eine Wicklung (W6) nicht verwendet, die eine Fehler (104) enthält.

6. Auswahleinheit (60, 280) nach Anspruch 4, wobei die Ermittlungseinheit (MP) im Fehlerbetrieb eine Konfiguration auswählt, die es erlaubt, einem durch den Fehler (104) verursachtem Moment (M) entgegen zu regeln oder zu steuern.

7. Transportmaschine (240) enthaltend eine Auswahleinheit (60, 280) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

8. Transportmaschine (240) nach Anspruch 7, enthaltend eine elektronische Ansteuereinheit (56, 260) zur Ansteuerung der Wicklungen (W1 bis Wn) des Elektromotors (10, 54, 250) gemäß von Steuersignalen.

9. Transportmaschine (240) nach Anspruch 8, enthaltend eine Regeleinheit (50, 270) zum Erzeugen der Steuersignale gemäß mindestens einem Regelverfahren.

10. Transportmaschine (240) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, enthaltend eine Konfigurationseinheit, die mit der Ausgabeeinheit (AE2) gekoppelt ist, und die die bezeichnete oder vorgegebene Konfiguration (K1 bis K3) einstellt.

11. Transportmaschine (240) nach einem der Ansprüche 6 bis 9, enthaltend mindestens einen Radnabenmotor (10).

12. Verfahren zum Auswählen einer Konfiguration (K1 bis K3) eines Elektromotors (10, 54, 250), enthaltend:
- Erfassen eines ersten Fahrzustands (B1 bis B4) oder einer ersten Drehzahl (n),

- Auswahl einer ersten Konfiguration (K1, K2) eines Elektromotors (10, 54, 250) abhängig von dem erfassten ersten Fahrzustand (B1 bis B4),
- Erfassen eines zweiten Fahrzustands (B1 bis B4) oder einer zweiten Drehzahl (n),
- Auswahl einer zweiten Konfiguration (K3) des Elektromotors (10, 54, 250) abhängig von dem erfassten zweiten Fahrzustand (B1 bis B4), wobei sich die zweite Konfiguration (K3) von der ersten Konfiguration unterscheidet.

13. Verfahren nach Anspruch 11, wobei sich die zweite Konfiguration (K3) von der ersten Konfiguration (K1, K2) hinsichtlich der Anzahl der einbezogenen Wicklungen (W1 bis Wn) unterscheidet,
sich die zweite Konfiguration (K2) von der ersten Konfiguration (K1, K3) hinsichtlich der Anzahl von Phasen (m) unterscheidet, vorzugsweise bei gleichbleibender Anzahl von verwendeten Wicklungen (W1 bis Wn).

14. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei der Elektromotor (10, 54, 250) in beiden Konfigurationen (K1 bis K3) fehlerfrei ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die Konfigurationen (K1 bis K3) so ausgewählt werden, dass sich abhängig vom Fahrzustand (B1 bis B4) ein möglichst großer Wirkungsgrad beim Betrieb des Elektromotors (10, 54, 250) ergibt.

FIG 1

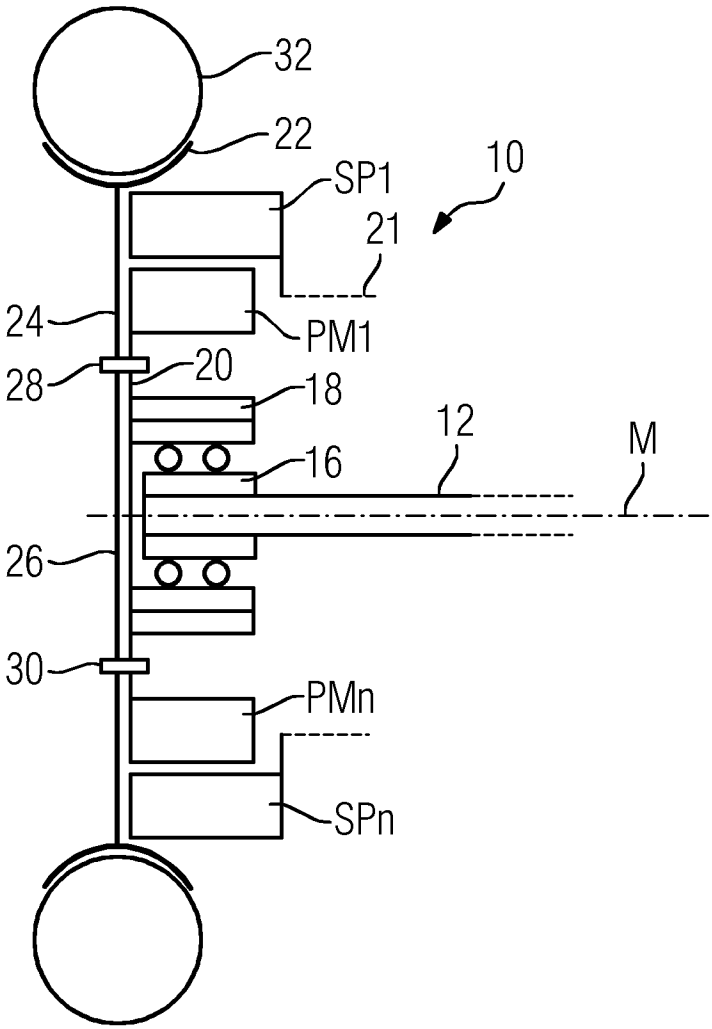

32
22
SP1
10
21
24
PM1
28
20
18
12
M
16
26
30
PMn
SPn

FIG 2

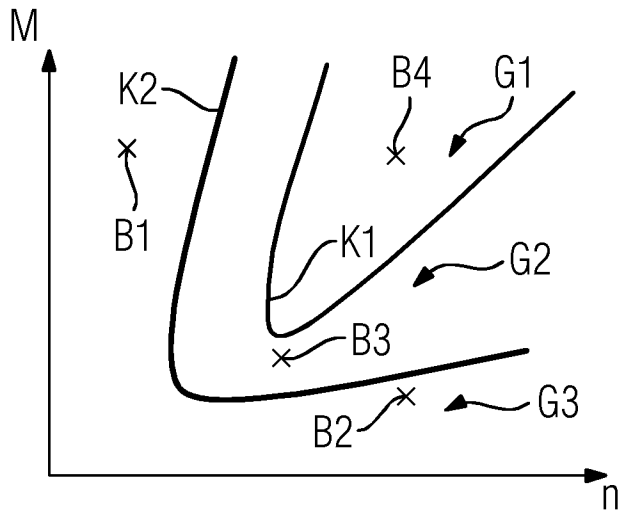

M
K2
B4
G1
B1
K1
G2
B3
G3
B2
n

FIG 3

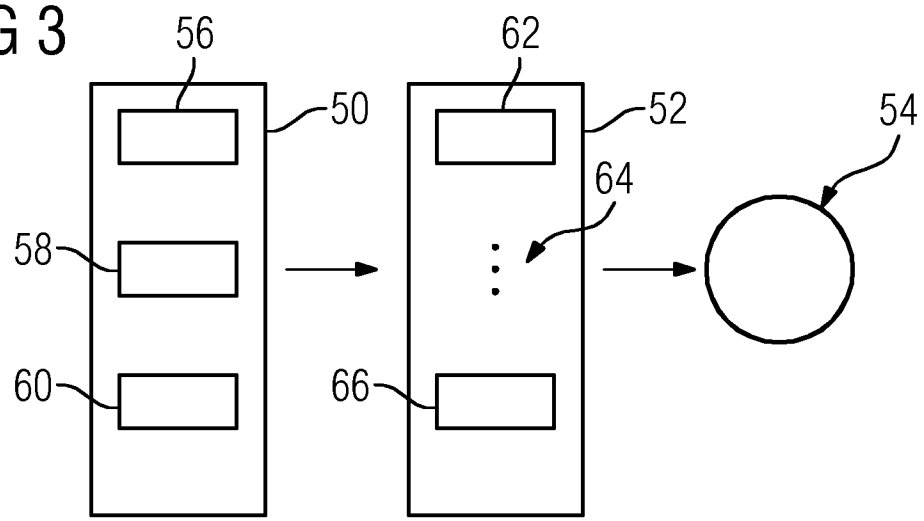
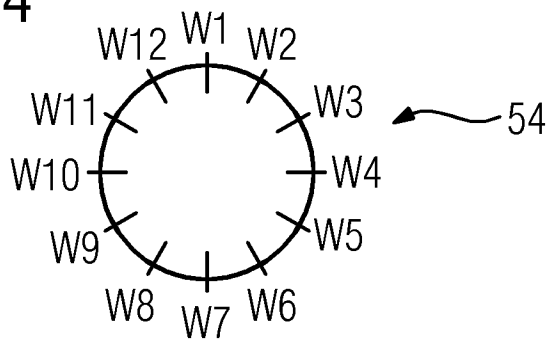


FIG 4



Q=12
p=1
m=6

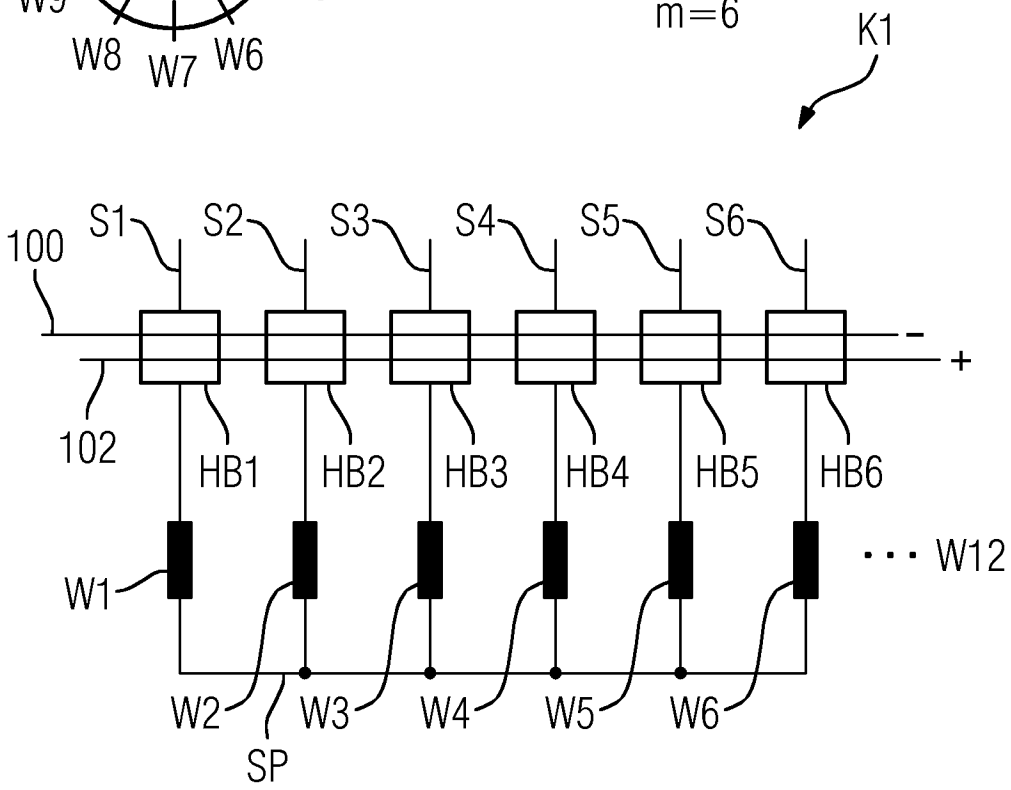


FIG 5

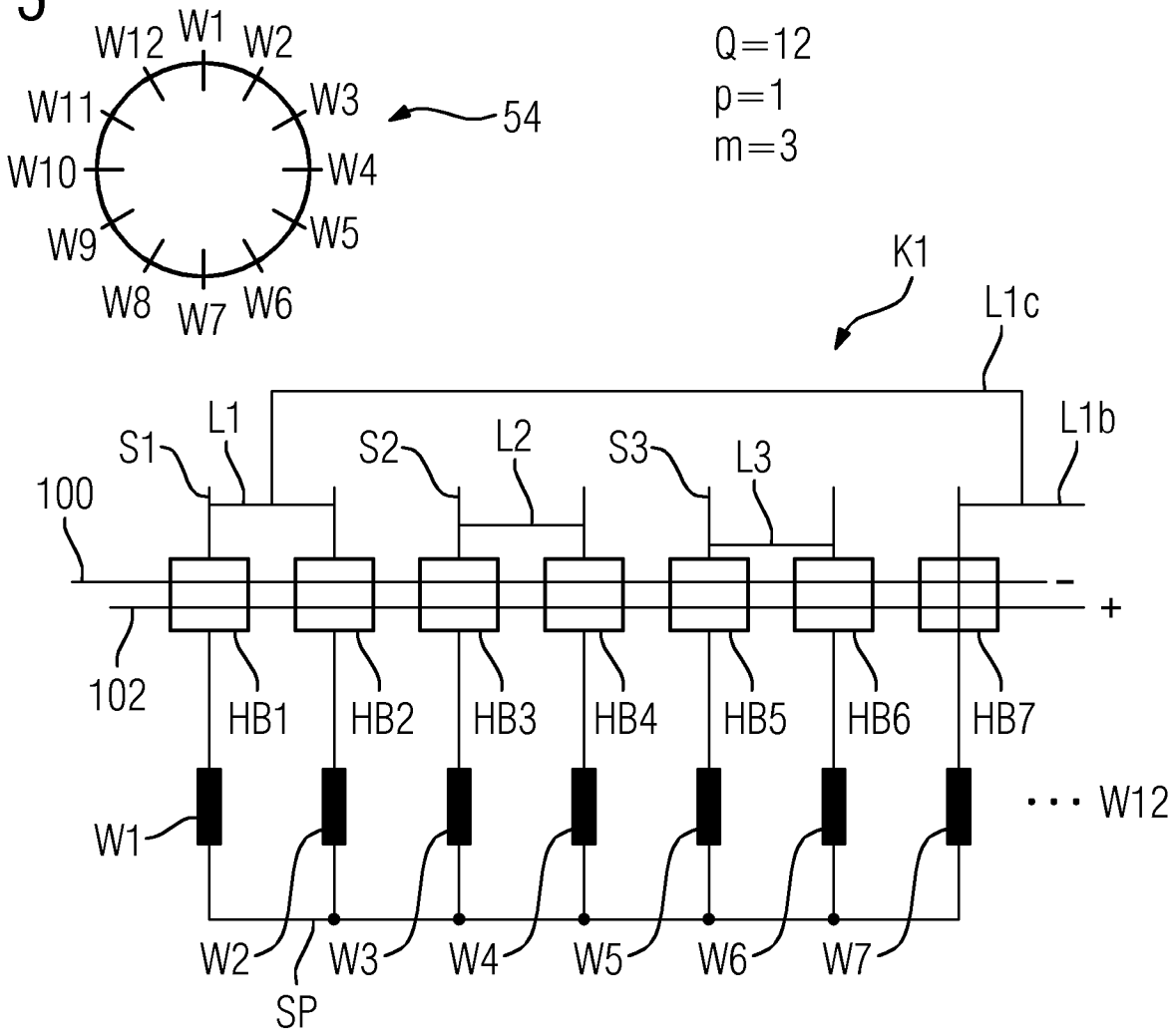

W12
W1
W2
W3
W4
W5
W6
W7
W8
W9
W10
W11
54
Q=12
p=1
m=3
K1
L1c
L1
L1b
S1
S2
S3
L2
L3
100
102
HB1
HB2
HB3
HB4
HB5
HB6
HB7
W1
W2
W3
W4
W5
W6
W7
SP
W12

FIG 6

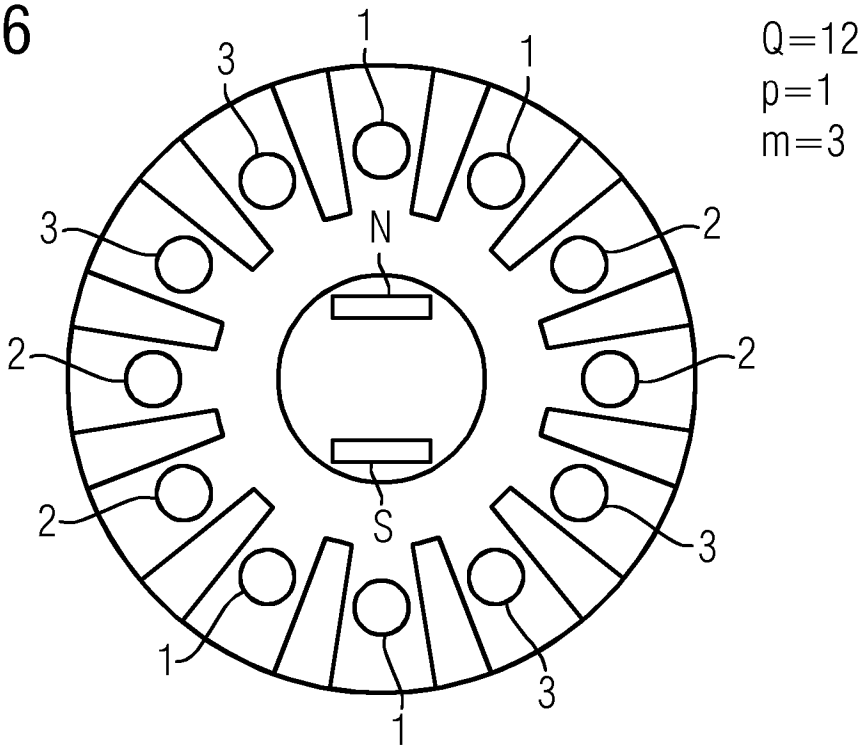

N
S
1
2
3
Q=12
p=1
m=3

FIG 7

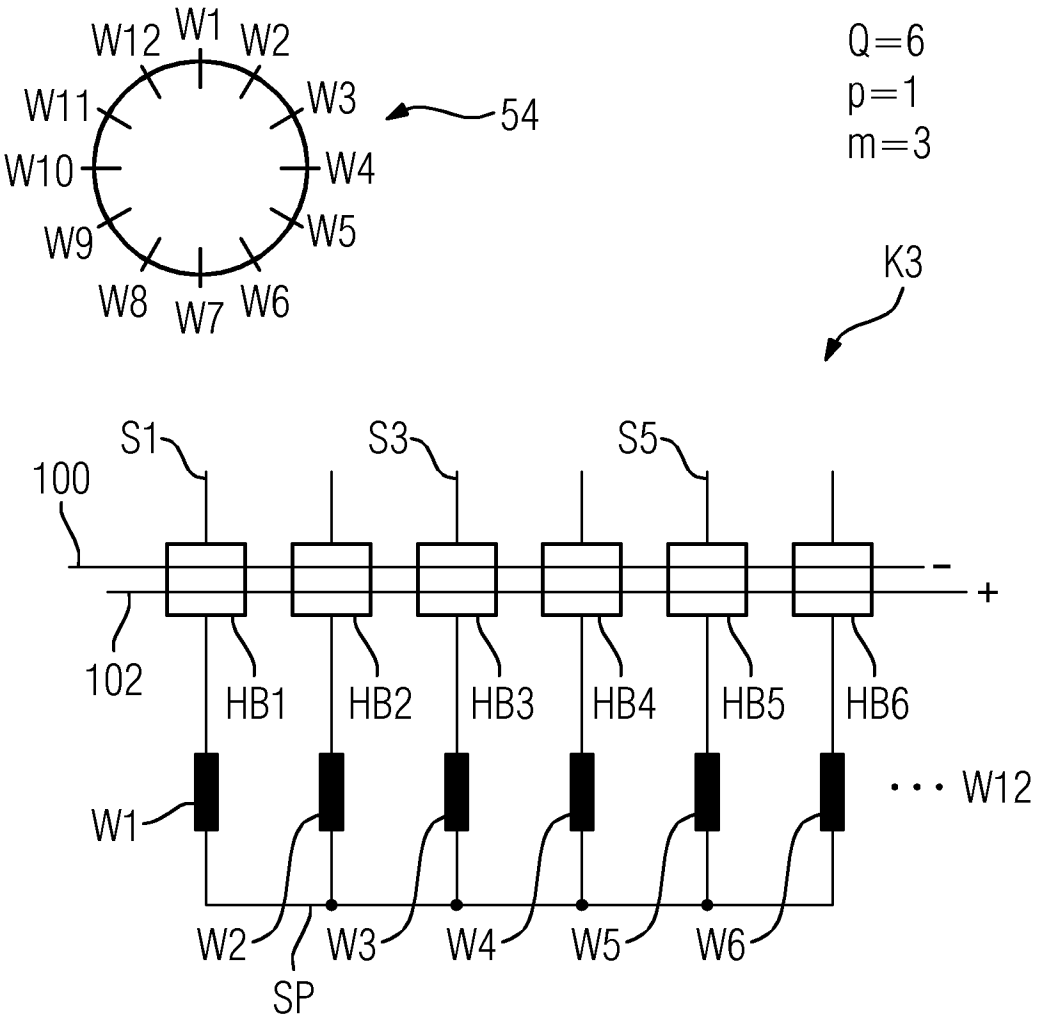

W12
W1
W2
W3
W4
W5
W6
W7
W8
W9
W10
W11
54
Q=6
p=1
m=3
K3
S1
S3
S5
100
102
HB1
HB2
HB3
HB4
HB5
HB6
W1
W12
W2
W3
W4
W5
W6
SP

FIG 8

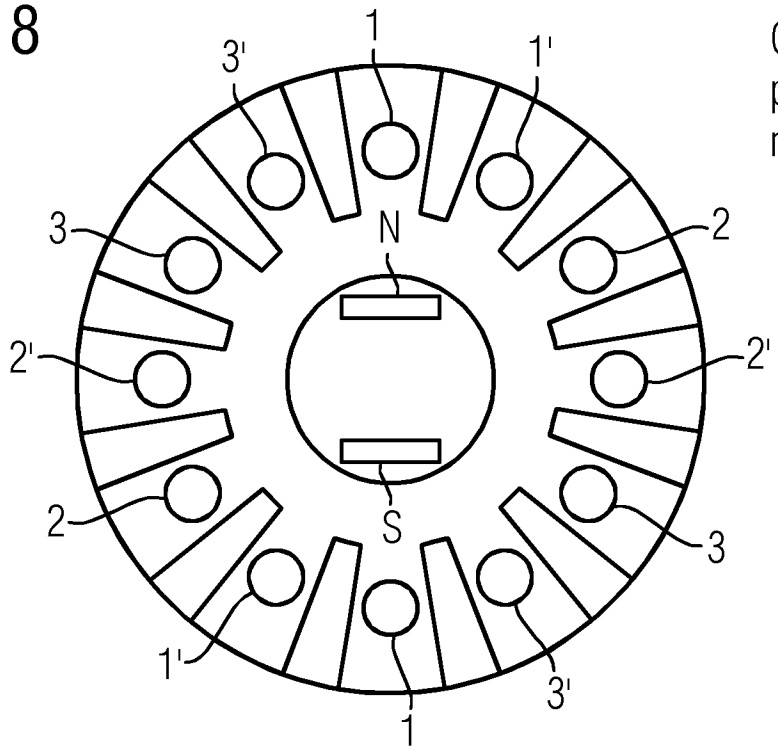

1
1'
3'
2
2'
3
N
S
Q=6
p=1
m=3

FIG 9

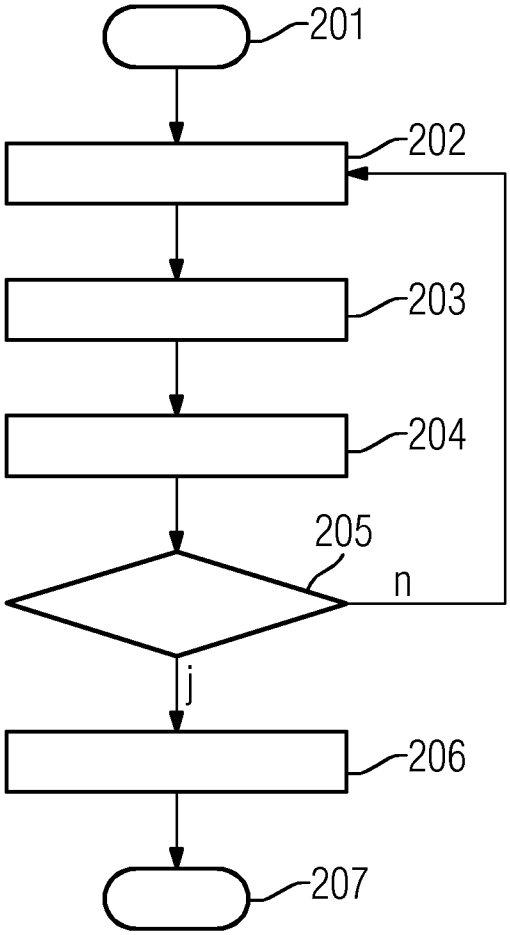

201
202
203
204
205
n
j
206
207

FIG 10

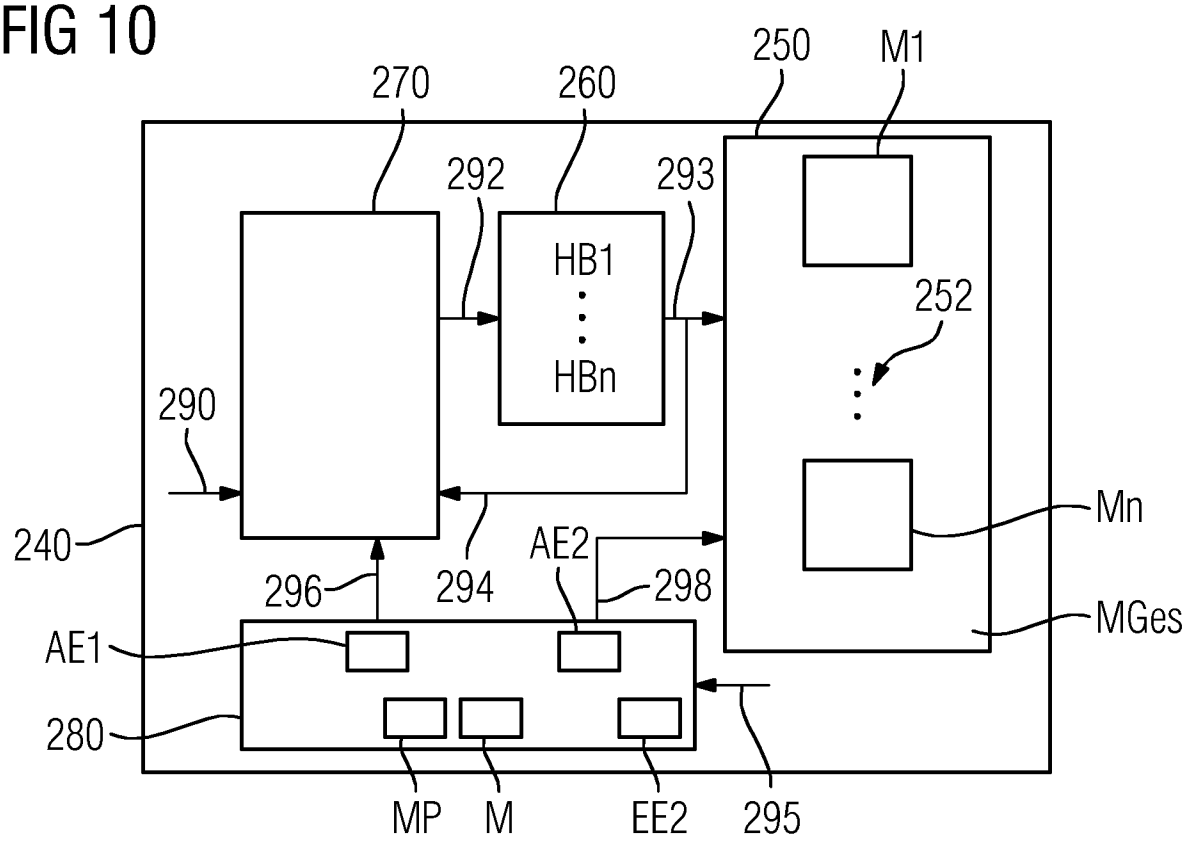

250
M1
270
260
292
293
HB1
HBn
252
290
Mn
240
AE2
296
294
298
MGes
AE1
280
MP
M
EE2
295

FIG 11

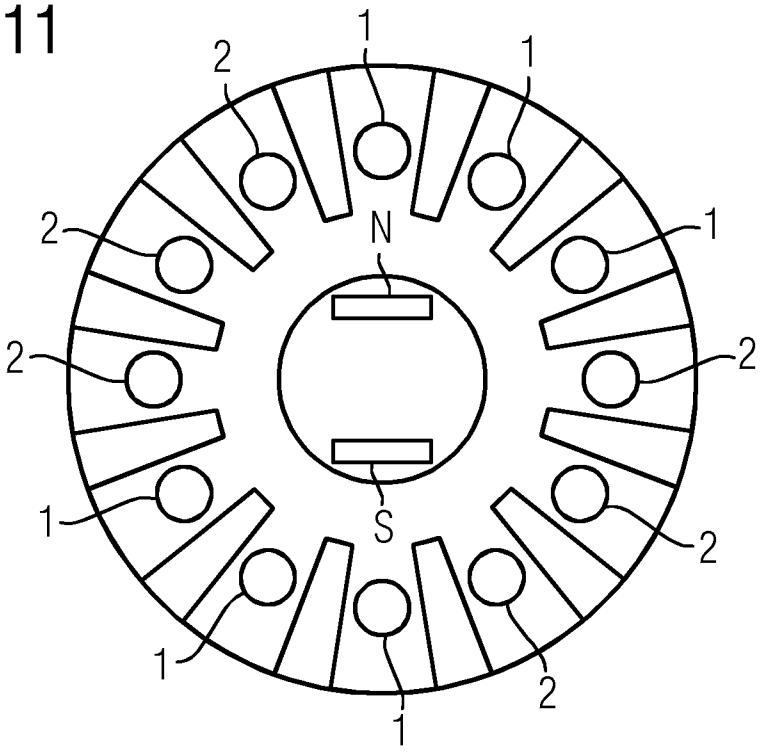


FIG 12

