

(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
13. August 2020 (13.08.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/160740 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02P 6/182 (2016.01) H02P 29/60 (2016.01)
H02P 29/50 (2016.01)

(72) Erfinder: GÖTZ, Stefan; Schützenweg 5, 85659 Forstern
(DE). HEIL, Oliver; Am Hengstgarten 1, 30952 Rommen-
berg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/025373

(22) Internationales Anmeldedatum:
31. Oktober 2019 (31.10.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 102 889.2
06. Februar 2019 (06.02.2019) DE

(71) Anmelder: DR. ING. H.C. F. PORSCHE AKTIEN-
GESELLSCHAFT [DE/DE]; Porscheplatz 1, 70435 Stutt-
gart (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, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA,
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, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

(54) Title: METHOD FOR OPERATING AN ELECTRIC MOTOR WITH USE OF THE COUNTERVOLTAGE CURVE TO CON-
TROL THE ELECTRIC MOTOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES ELEKTROMOTORS MIT NUTZUNG DES
GEGENSpannungsverlaufes ZUR REGELUNG DES ELEKTROMOTORS

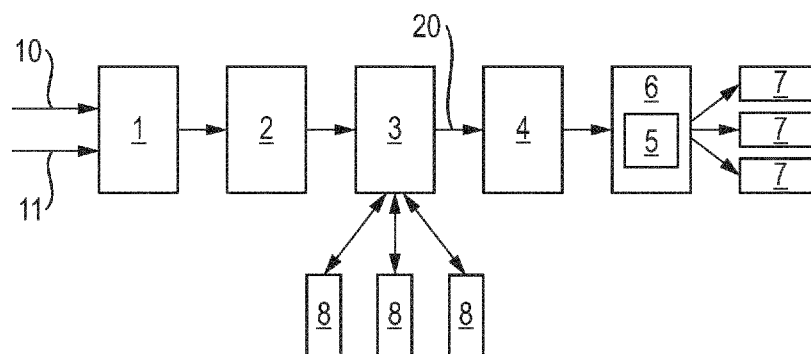


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a method for operating an electric motor (100), wherein: voltages with n phases are applied to windings (7) of the electric motor (100) by power electronics (6); the voltage curve of each individual phase of the n phases is controlled by a modulator (5) of the power electronics (6); a countervoltage curve (20) of the electric motor (100) is determined; the countervoltage curve (20) is used by the modulator (5) as a specification for the control of the voltage curves. The present invention further relates to a method for operating a motor vehicle (101), to an electric motor (100) and to a motor vehicle (101).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Elektromotors (100), wobei von einer Leistungselektronik (6) des Elektromotors (100) elektrische Spannungen mit n Phasen an Wicklungen (7) des Elektromotors (100) angelegt werden, wobei von einem Modulator (5) der Leistungselektronik (6) der Spannungsverlauf jeder einzelnen der n Phasen geregelt wird, wobei ein Gegenspannungsverlauf (20) des Elektromotors (100) ermittelt wird, wobei von dem Modulator (5) der Gegenspannungsverlauf (20) als Vorgabe für die Regelung der Spannungsverläufe genutzt wird, ein Verfahren zum Betrieb eines Kraftfahrzeugs (101), einen Elektromotor (100) und ein Kraftfahrzeug (101).

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)
- mit geänderten Ansprüchen gemäss Artikel 19 Absatz 1

Verfahren zum Betrieb eines Elektromotors mit Nutzung des Gegenspannungsverlaufes zur Regelung des Elektromotors

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Elektromotors mit
5 Nutzung des Gegenspannungsverlaufes zur Regelung des Elektromotors, einen
Elektromotor, ein Kraftfahrzeug aufweisend einen Elektromotor und ein Verfahren zum
Betrieb eines Kraftfahrzeugs.

Bei mit Wechselstrom betriebenen Elektromotoren wird üblicherweise von exakt
10 sinusförmigen zeitlichen Strom- und Spannungsverläufen am Elektromotor ausgegangen.
In der Realität weichen jedoch sowohl die Spannungsverläufe als auch die Stromverläufe
stark von der idealen Sinusform ab. Für diese Abweichungen sind unter anderem die
endliche Anzahl von Nuten zur Aufnahme von Wicklungen, Produktionstoleranzen und
diskrete Pole, insbesondere bei Synchronmaschinen verantwortlich. Neben dem besteht
15 ein Zusammenhang zwischen dem Spannungsverlauf eines Elektromotors und der
Drehmomentwelligkeit im Betrieb des Elektromotors. Die Drehmomentwelligkeit
bezeichnet das Verhalten elektrischer Maschinen über eine Umdrehung des Rotors der
elektrischen Maschine kein konstantes Drehmoment aufzubauen sondern oszillierend zu
beschleunigen und zu bremsen. Ist der Elektromotor in ein Kraftfahrzeug eingebaut, so
20 kann die Drehmomentwelligkeit den Fahrkomfort enorm beeinträchtigen und Vibrationen
hervorrufen, welche ungewollte Geräusche emittieren, elektrische Verluste erzeugen,
Materialermüdung beschleunigen oder sogar zu unmittelbaren Schäden führen.

Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Betrieb eines
25 Elektromotors bereitzustellen, welches die beschriebenen Nachteile nicht aufweist,
sondern die Drehmomentwelligkeit reduziert.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Betrieb eines Elektromotors, wobei
von einer Leistungselektronik des Elektromotors elektrische Spannungen mit n Phasen
30 an Wicklungen des Elektromotors angelegt werden, wobei von einem Modulator der

Leistungselektronik der Spannungsverlauf jeder einzelnen der n Phasen geregelt wird, wobei ein Gegenspannungsverlauf des Elektromotors ermittelt wird, wobei von dem Modulator der Gegenspannungsverlauf als Vorgabe für die Regelung der Spannungsverläufe genutzt wird.

5

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, die Spannungsverläufe so zu regeln, dass die Drehmomentwelligkeit minimiert wird. Der Gegenspannungsverlauf stellt den natürlichen Spannungsverlauf einer elektrischen Maschine dar. Wird der Elektromotor als Generator ohne Last betrieben, so entspricht die Spannung an den Klemmen des

10 Elektromotors dem Gegenspannungsverlauf. Der Gegenspannungsverlauf wird üblicherweise auch als Back-EMF oder Counter-Electromotive-Force bezeichnet. Unter Belastung kann der Gegenspannungsverlauf seine Form ändern, da beispielsweise durch Sättigungseffekte des Eisens in Rotor und/oder Stator des Elektromotors der magnetische Fluss andere Pfade wählt. Ferner ändert der Gegenspannungsverlauf mit

15 Temperaturänderungen seine Amplitude und Form. Dieser Effekt ist vor allem durch die Temperaturabhängigkeit der Permanentmagnete gegeben. Eine Regelung der Spannungsverläufe der Phasen des Elektromotors anhand des Gegenspannungsverlaufes passt die Spannungsverläufe an realistische Rahmenbedingungen an und verringert so die Drehmomentwelligkeit. Vorzugsweise ist die Anzahl der Phasen n drei. Denkbar ist,

20 dass der Gegenspannungsverlauf im regulären Betrieb des Elektromotors ermittelt wird. Denkbar ist aber auch, dass der Gegenspannungsverlauf bei oder direkt nach der Herstellung des Elektromotors, beispielsweise auf einem Prüfstand, oder während einer Applikationsphase ermittelt wird.

25 Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen, sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen entnehmbar.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der

30 Gegenspannungsverlauf in Perioden eingeteilt wird, wobei eine Periode einer

mechanischen Umdrehung eines Rotors des Elektromotors entspricht, wobei die Perioden jeweils in eine Mehrzahl von Segmenten eingeteilt werden, wobei die Segmente jeweils mit einer Umdrehungswinkel des Rotors verknüpft werden, wobei der Gegenspannungsverlauf zumindest während eines ersten Teiles der Mehrzahl von

5 Segmenten an einem elektrischen Anschluss der Wicklungen gemessen wird, wobei in den elektrischen Anschluss der Wicklungen zur Messung kein Strom eingespeist wird, wobei der Gegenspannungsverlauf während eines zweiter Teiles der Mehrzahl von Segmenten modelliert wird, wobei der zweite Teil der Mehrzahl von Segmenten alle Segmente umfasst, während denen der Gegenspannungsverlauf nicht gemessen wird.

10 Damit ist auf vorteilhafte Weise eine Verringerung von Zugkraftunterbrechungen möglich. Bei der Messung des Gegenspannungsverlaufes muss die Stromeinspeisung kurzzeitig unterbrochen werden. Wird nur kurzzeitig gemessen und wird der Gegenspannungsverlauf teilweise modelliert, so verringern sich die Zeiten mit unterbrochener Stromeinspeisung und damit unterbrochener Zugkraft. Im Ergebnis

15 entsteht aus dem ersten Teil der Mehrzahl von Segmenten und dem zweiten Teil der Mehrzahl von Segmenten eine Periode des Gegenspannungsverlaufes. Vorzugsweise sind die Segmente sehr kurz, insbesondere deutlich weniger als eine Sekunde lang. Denkbar ist, dass sich die Segmente teilweise zeitlich überlappen. Dies verbessert die Modellierung und beugt Messartefakten vor. Denkbar ist, dass die Segmente des ersten

20 Teils der Mehrzahl von Segmenten zeitlich systematisch verteilt sind. Denkbar ist dazu, dass die Segmente des ersten Teils der Mehrzahl von Segmenten zeitlich gleichmäßig verteilt sind. Denkbar ist aber auch, dass die Segmente des ersten Teils der Mehrzahl von Segmenten zeitlich randomisiert verteilt sind. Vorzugsweise werden die Segmente anhand des Umdrehungswinkels des Rotors sortiert und, falls sich Segmente überlappen,

25 diese gemittelt. Die Sortierung erfolgt durch Auftragen der Segmente über den mit diesen verknüpften Umdrehungswinkel des Rotors.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Umdrehungswinkel mit einem Rotorlagegeber und/oder einer Positionsschätzung

30 einer sensorlosen Schätzung ermittelt wird, wobei vorzugsweise die sensorlose

Schätzung auf Basis des ermittelten Gegenspannungsverlaufes erfolgt. Denkbar ist, dass als Rotorlagegeber ein Resolver, ein Encoder und/oder Hall-Sensoren verwendet werden. Denkbar ist, dass von dem Rotorlagegeber die Position von Rotorpolen des Elektromotors gegenüber Statorpolen des Elektromotors ermittelt wird.

5

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Modellieren des Gegenspannungsverlaufes während des zweiten Teiles der Mehrzahl von Segmenten einer ersten Periode auf Grundlage des Gegenspannungsverlaufes während mindestens einer zweiten Periode durchgeführt wird, wobei die mindestens eine

10 zweite Periode der ersten Periode zeitlich vorhergeht. Dies ermöglicht eine hervorragende Anpassung der Modellierung des Gegenspannungsverlaufes an die tatsächlichen Verhältnisse und eine Berücksichtigung der zeitlichen Änderung des Gegenspannungsverlaufes. Denkbar ist, dass der zeitliche Abstand zwischen der ersten Periode und der mindestens zweiten Periode gering, vorzugsweise nur wenige Sekunden

15 lang, besonders bevorzugt weniger als eine Sekunde lang ist. Dies ermöglicht eine hohe Dynamik der Modellierung, wie sie beispielsweise bei Antrieben für Kraftfahrzeuge von Vorteil ist. Vorstellbar ist, dass die Modellierung auf Grundlage der mindestens einen zweiten Periode entsprechend einer Taylor-Entwicklung der mindestens einen zweiten Periode erster Ordnung oder höherer Ordnungen durchgeführt wird. Dazu ist denkbar,

20 dass die nötigen zeitlichen Ableitungen über finite Differenzterme geschätzt werden. Dazu würde beispielsweise eine Taylor-Entwicklung erster Ordnung wie folgt aussehen:

$$v^t(\varphi) = v^{t_{i-1}}(\varphi) + (t - t_{i-1}) \cdot \frac{\partial v(\varphi)}{\partial t} + \sigma((t - t_{i-1})^2)$$

mit

$$\frac{\partial v(\varphi)}{\partial t} = \frac{v^{t_i}(\varphi) - v^{t_{i-1}}(\varphi)}{t - t_{i-1}} + \sigma((t - t_{i-1})^2)$$

25 beziehungsweise genauer mit

$$\frac{\partial v(\varphi)}{\partial t} = \frac{v^{t_i}(\varphi) - 2v^{t_{i-1}}(\varphi) + v^{t_{i-2}}(\varphi)}{t - t_{i-2}} + \sigma((t - t_{i-1})^2)$$

Eine Taylor-Entwicklung zweiter Ordnung würde wie folgt aussehen:

$$v^t(\varphi) = v^{t_{i-1}}(\varphi) + (t - t_{i-1}) \cdot \frac{\partial v(\varphi)}{\partial t} + 1/2 (t - t_{i-1})^2 \cdot \frac{\partial^2 v(\varphi)}{\partial t^2} + \sigma((t - t_{i-1})^3)$$

mit der ersten Ableitung wie oben beschrieben und mit

$$\frac{\partial^2 v(\varphi)}{\partial t^2} = \frac{v^{t_i}(\varphi) - 2v^{t_{i-1}}(\varphi) + v^{t_{i-2}}(\varphi)}{1/4 (t - t_{i-2})^2} + \sigma((t - t_{i-1})^3)$$

Hier kann die Form des Gegenspannungsverlaufes auch prädiktiv für eine Zeit in der
 5 Zukunft aus den erfolgten Messungen $v^{t_i}(\varphi)$ und $v^{t_{i-1}}(\varphi)$ vorgenommen werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass bei der Modellierung des Gegenspannungsverlaufes während des zweiten Teiles der Segmente abschätzbare den Gegenspannungsverlauf beeinflussende Parameter mit
 10 einbezogen werden, wobei vorzugsweise abschätzbare Lastschwankungen und/oder Erwärmungsveränderungen mit einbezogen werden. Dies ermöglicht, dass Veränderungen und Parameterabhängigkeiten des Gegenspannungsverlaufes durch dynamische Veränderungen des Gegenspannungsverlaufes berücksichtigt werden. Eine parametrische Abspeicherung eines Gegenspannungsverlaufes für einen entsprechenden
 15 Parametersatz, wie beispielsweise eine vorliegende Temperatur bei einer vorgegebenen Drehzahländerung, kann somit unterbleiben. Denkbar ist, dass Veränderungen des Gegenspannungsverlaufes bei Veränderungen von abschätzbaren den Gegenspannungsverlauf beeinflussenden Parametern von einem neuronalen Netz des Elektromotors erlernt werden und das von dem neuronalen Netz Erlernte in die
 20 Modellierung mit einfließt. Denkbar dazu ist, dass Veränderungen des Gegenspannungsverlaufes bei Veränderungen von abschätzbaren den Gegenspannungsverlauf beeinflussenden Parametern von dem neuronalen Netz des Elektromotors bei oder direkt nach der Herstellung des Elektromotors beispielsweise auf einem Prüfstand zum Prüfen des Elektromotors und/oder in einem Trainingsmodus des
 25 Elektromotors unter realistischen Bedingungen im Betrieb des Elektromotors und/oder auch im Alltagsbetrieb des Elektromotors erlernt werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass auf den Gegenspannungsverlauf zur Nutzung als Vorgabe die n-fache Harmonische des

Gegenspannungsverlaufes aufaddiert wird. Dieses Vorgehen ermöglicht, Spannungsreserven zu nutzen und effektiv jede Phase mit einer höheren Spannung zu belasten, ohne die Spannung am Eingang eines Inverters des Elektromotors anheben zu müssen. Die n-fache Harmonische des Gegenspannungsverlaufes ist dabei der

- 5 Gegenspannungsverlauf mit einem um den Faktor n beschleunigten Drehwinkel. Denkbar ist auch, dass gezielt Frequenzkomponenten zum Gegenspannungsverlauf addiert werden. Dazu ist denkbar, dass die hinzuaddierten Frequenzkomponenten in einem festen Phasenverhältnis zu einer Grundwelle des Gegenspannungsverlaufes addiert werden.
- 10 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Gegenspannungsverlauf zur Nutzung als Vorgabe gefiltert wird. Dies ermöglicht, unerwünschte Artefakte aus dem Gegenspannungsverlauf zu entfernen und/oder bestimmte Harmonische oder Frequenzbereiche zu dämpfen oder zu verstärken. Denkbar ist, dass bei der Filterung ein lineares Filter verwendet wird. Denkbar ist auch, dass
- 15 ungewollte Rauschkomponenten aus dem Gegenspannungsverlauf, welche beispielsweise bei der Messung entstanden sind, entfernt werden. Denkbar ist weiterhin, dass ein abgespeicherter Gegenspannungsverlauf aus einer vorhergehenden Periode gefiltert wird und der abgespeicherte Gegenspannungsverlauf aus der vorhergehenden Periode zusätzlich zeitlich invertiert gefiltert wird, wobei der abgespeicherte
- 20 Gegenspannungsverlauf aus der vorhergehenden Periode und zur Modellierung genutzt wird. Damit wird vorteilhaft die Gruppendispersion des Phasenverlaufes unterbunden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Gegenspannungsverlauf mit einem linearen Filter gefiltert wird, wobei das lineare

- 25 Filter durch eine numerische Optimierung berechnet wird. Hierzu ermittelt ein Optimierer die Gesamtverluste des Elektromotors und modifiziert basierend auf dem Ergebnis mit einem numerischen Optimierungsverfahren ein neues, geeignetes Filter, das niedrigere Gesamtverluste erwarten lässt. Die dazu notwendigen Schritte werden iterativ durchgeführt. Beispiele für geeignete numerische Optimierungsverfahren sind Simplex-
- 30 Optimierung, Gradient-Descend-Optimierung oder Particle-Swarm-Optimierung und

bevorzugt ein Kiefer-Wolfowitz-Verfahren. Die Optimierung kann während des Betriebs des Elektromotors erfolgen. Vorzugsweise wird der Elektromotor entweder in einem ersten Modus betrieben, wobei das Filter optimiert wird um die Gesamtverluste zu minimieren, oder der Elektromotor wird in einem zweiten Modus betrieben, in welchem zur Filterung
5 ein zuvor optimiertes Filter verwendet wird. Das zuvor optimierte Filter kann beispielsweise zuvor im ersten Modus optimiert worden sein. Neben dem ersten Modus und dem zweiten Modus kann der Elektromotor vorzugsweise in weiteren Modi betrieben werden.

10 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Perioden jeweils in eine Mehrzahl von zeitlich gleichlangen Segmenten eingeteilt werden, wobei Frequenzanteile des Gegenspannungsverlaufes mit einer Frequenz des Inversen der zeitlichen Segmentlänge und/oder Frequenzanteile des
15 Gegenspannungsverlaufes mit einem ganzzahligen Vielfachen der Frequenz des Inversen der zeitlichen Segmentlänge in ihrer Amplitude vermindert und/oder herausgefiltert werden. Dies reduziert deutlich das Vorkommen von ungewollten Artefakten im Gegenspannungsverlauf.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Betrieb eines
20 Kraftfahrzeugs, wobei ein Elektromotor des Kraftfahrzeugs mit dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben wird

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Elektromotor aufweisend einen Modulator, wobei der Modulator zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens konfiguriert ist.
25 Denkbar ist, dass der Elektromotor einen Speicher zum Speichern von Gegenspannungsverläufen aufweist. Denkbar ist, dass der Elektromotor eine Mehrzahl von Speichern zum Speichern von unterschiedlichen Gegenspannungsverläufen aufweist. Denkbar dazu ist, dass der Speicher oder die Mehrzahl von Speichern ein oder mehrere Schieberegister und/oder ein oder mehrere FIFO-Puffer aufweisen. Denkbar ist, dass der
30 Elektromotor in Stern-Schaltung oder in Dreieck-Schaltung verschaltet ist. Denkbar ist

weiterhin, dass der Gegenspannungsverlauf von einem Phasenausgang eines Inverters des Elektromotors zu einem Sternpunkt oder einem virtuellen Sternpunkt des Elektromotors gemessen wird.

- 5 Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Kraftfahrzeug aufweisend einen erfindungsgemäßen Elektromotor.

Alle vorstehenden Ausführungen gelten gleichermaßen für das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb eines Elektromotors, das erfindungsgemäße Verfahren zum

- 10 Betrieb eines Kraftfahrzeugs, den erfindungsgemäßen Elektromotor und das erfindungsgemäße Kraftfahrzeug.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Zeichnungen sowie aus der nachfolgenden Beschreibung von bevorzugten

- 15 Ausführungsformen anhand der Zeichnungen. Die Zeichnungen illustrieren dabei lediglich beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung, welche den Erfindungsgedanken nicht einschränken.

Figur 1 illustriert schematisch das Verfahren gemäß einer beispielhaften

- 20 Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Figur 2 illustriert schematisch einen Teil des Verfahrens gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

- 25 **Figur 3** illustriert schematisch ein Kraftfahrzeug gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

In **Figur 1** ist schematisch das Verfahren gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. An den Windungen eines mit drei Phasen

- 30 betriebenen Elektromotors (hier nicht gezeigt, siehe Figur 3) werden Segmente 10 einer

Periode der durch den Betrieb des Elektromotors im Elektromotor erzeugten
Gegenspannung 20 und der Drehwinkel 11 des Rotors des Elektromotors gemessen. Die
gemessenen Segmente 10 werden mit dem zugehörigen Drehwinkel 11 verknüpft 1. Die
verknüpften Daten werden gefiltert 2, insbesondere werden Frequenzanteile der
5 gemessenen Segmente des Gegenspannungsverlaufes 20, welche eine Frequenz des
Inversen der zeitlichen Länge der Segmente 10 und/oder Frequenzanteile mit einem
ganzzahligen Vielfachen der Frequenz des Inversen der zeitlichen Länge der Segmente
10 herausgefiltert. Anschließend werden Segmente des Gegenspannungsverlaufes,
welche nicht gemessen wurden, modelliert 3. Als Grundlage dazu dienen zum einen die
10 gemessenen Segmente 10 und zum anderen im Speicher 8 abgespeicherte zeitlich
vorhergehende Gegenspannungsverläufe 20. Die Segmente werden sodann anhand des
Drehwinkels 11 sortiert und ergeben über den Drehwinkel aufgetragen den gefilterten
Gegenspannungsverlauf. Dem Gegenspannungsverlauf 20 wird anschließend die dritte
Harmonische des Gegenspannungsverlaufes 20 aufaddiert und dem Modulator 5 der
15 Leistungselektronik 6 zur Steuerung der Spannungsverläufe an den Wicklungen 7
übergeben.

In **Figur 2** ist schematisch einen Teil des Verfahrens gemäß einer beispielhaften
Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Der Gegenspannungsverlauf 20'
20 wird in Segmenten 10 bei unterschiedlichen Drehwinkeln 11 des Rotors des
Elektromotors gemessen. Bei der Messung der Gegenspannung wird kein Strom in den
Elektromotor eingespeist, was bedeutet, dass während der Messung eine Unterbrechung
der Zugkraft des Motors stattfindet. Damit diese Zugkraftunterbrechungen möglichst kurz
bleiben, wird nur segmentweise gemessen, wobei hier die Segmente 10 zeitlich sehr
25 kurz und randomisiert verteilt sind. Jedem Segment wird der Drehwinkel 11 des Rotors
des Elektromotors zugeordnet. Die Sortierung der Segmente 10 nach dem Drehwinkel
11 ergibt den Gegenspannungsverlauf 20.

In **Figur 3** ist schematisch ein Kraftfahrzeug 101 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Kraftfahrzeug weist den Elektromotor 100 mit der Leistungselektronik 6, dem Modulator 5 und den Wicklungen 7 auf.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Elektromotors (100), wobei von einer Leistungselektronik (6) des Elektromotors (100) elektrische Spannungen mit n
5 Phasen an Wicklungen (7) des Elektromotors (100) angelegt werden, wobei von einem Modulator (5) der Leistungselektronik (6) der Spannungsverlauf jeder einzelnen der n Phasen geregelt wird, wobei ein Gegenspannungsverlauf (20) des Elektromotors (100) ermittelt wird, wobei von dem Modulator (5) der Gegenspannungsverlauf (20) als Vorgabe für die Regelung der Spannungsverläufe
10 genutzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Gegenspannungsverlauf (20) in Perioden eingeteilt wird, wobei eine Periode einer mechanischen Umdrehung eines Rotors des Elektromotors (100) entspricht, wobei die Perioden jeweils in eine Mehrzahl
15 von Segmenten (10) eingeteilt werden, wobei die Segmente (10) jeweils mit einer Umdrehungswinkel (11) des Rotors verknüpft werden, wobei der Gegenspannungsverlauf (20) zumindest während eines ersten Teiles der Mehrzahl von Segmenten (10) an einem elektrischen Anschluss der Wicklungen (7) gemessen wird, wobei in den elektrischen Anschluss der Wicklungen (7) zur
20 Messung kein Strom eingespeist wird, wobei der Gegenspannungsverlauf (20) während eines zweiten Teiles der Mehrzahl von Segmenten (10) modelliert (3) wird, wobei der zweite Teil der Mehrzahl von Segmenten (10) alle Segmente (10) umfasst, während denen der Gegenspannungsverlauf (20) nicht gemessen wird.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Umdrehungswinkel (11) mit einem Rotorlagegeber und/oder einer Positionsschätzung einer sensorlosen Schätzung ermittelt wird, wobei vorzugsweise die sensorlose Schätzung auf Basis des ermittelten Gegenspannungsverlaufes (20) erfolgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 3, wobei das Modellieren (3) des
Gegenspannungsverlaufes (20) während des zweiten Teiles der Mehrzahl von
Segmenten (10) einer ersten Periode auf Grundlage des
Gegenspannungsverlaufes (20) während mindestens einer zweiten Periode
5 durchgeführt wird, wobei die mindestens eine zweite Periode der ersten Periode
zeitlich vorhergeht.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei bei der Modellierung (3) des
Gegenspannungsverlaufes (20) während des zweiten Teiles der Segmente (10)
10 abschätzbare den Gegenspannungsverlauf (20) beeinflussende Parameter mit
einbezogen werden, wobei vorzugsweise abschätzbare Lastschwankungen
und/oder Erwärmungsveränderungen mit einbezogen werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei auf den
15 Gegenspannungsverlauf (20) zur Nutzung als Vorgabe die n-fache Harmonische
des Gegenspannungsverlaufes (20) aufaddiert wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der
20 Gegenspannungsverlauf (20) zur Nutzung als Vorgabe gefiltert (2) wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Gegenspannungsverlauf mit einem linearen
Filter gefiltert wird, wobei das lineare Filter durch eine numerische Optimierung
berechnet wird.
- 25 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Perioden jeweils in eine Mehrzahl
von zeitlich gleichlangen Segmenten (10) eingeteilt werden, wobei Frequenzanteile
des Gegenspannungsverlaufes (20) mit einer Frequenz des Inversen der zeitlichen
Segmentlänge und/oder Frequenzanteile des Gegenspannungsverlaufes (20) mit
einem ganzzahligen Vielfachen der Frequenz des Inversen der zeitlichen

Segmentlänge in ihrer Amplitude vermindert und/oder herausgefiltert werden.

10. Verfahren zum Betrieb eines Kraftfahrzeugs (101), wobei ein Elektromotor (100)
des Kraftfahrzeugs (101) mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden
5 Ansprüche betrieben wird.
11. Elektromotor (100) aufweisend einen Modulator (5), wobei der Modulator (5) zur
Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 konfiguriert ist.
- 10 12. Kraftfahrzeug (101) aufweisend einen Elektromotor (100) gemäß Anspruch 11.

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

beim Internationalen Büro eingegangen am 18. März 2020 (18.03.2020)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Elektromotors (100), wobei von einer Leistungselektronik (6) des Elektromotors (100) elektrische Spannungen mit n
5 Phasen an Wicklungen (7) des Elektromotors (100) angelegt werden, wobei von einem Modulator (5) der Leistungselektronik (6) der Spannungsverlauf jeder einzelnen der n Phasen geregelt wird, wobei ein Gegenspannungsverlauf (20) des Elektromotors (100) ermittelt wird, wobei von dem Modulator (5) der Gegenspannungsverlauf (20) als Vorgabe für die Regelung der Spannungsverläufe
10 genutzt wird, das heißt, dass die Spannungsverläufe der Phasen des Elektromotors anhand des Gegenspannungsverlaufes geregelt werden, wobei der Gegenspannungsverlauf (20) in Perioden eingeteilt wird, wobei eine Periode einer mechanischen Umdrehung eines Rotors des Elektromotors (100) entspricht, wobei die Perioden jeweils in eine Mehrzahl von Segmenten (10) eingeteilt
15 werden, wobei die Segmente (10) jeweils mit einem Umdrehungswinkel (11) des Rotors verknüpft werden, wobei der Gegenspannungsverlauf (20) zumindest während eines ersten Teiles der Mehrzahl von Segmenten (10) an einem elektrischen Anschluss der Wicklungen (7) gemessen wird, wobei in den elektrischen Anschluss der Wicklungen (7) zur Messung kein Strom eingespeist
20 wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Gegenspannungsverlauf (20) während eines zweiten Teiles der Mehrzahl von Segmenten (10) modelliert (3) wird, wobei der zweite Teil der Mehrzahl von Segmenten (10) alle Segmente (10) umfasst, während denen der Gegenspannungsverlauf (20) nicht gemessen wird.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Umdrehungswinkel (11) mit einem Rotorlagergeber und/oder einer Positionsschätzung einer sensorlosen Schätzung ermittelt wird, wobei vorzugsweise die sensorlose Schätzung auf Basis des ermittelten Gegenspannungsverlaufes (20) erfolgt.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Modellieren (3) des Gegenspannungsverlaufes (20) während des zweiten Teiles der Mehrzahl von Segmenten (10) einer ersten Periode auf Grundlage des
5 Gegenspannungsverlaufes (20) während mindestens einer zweiten Periode durchgeführt wird, wobei die mindestens eine zweite Periode der ersten Periode zeitlich vorhergeht.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei der Modellierung (3) des Gegenspannungsverlaufes (20) während des zweiten Teiles der Segmente
10 (10) abschätzbare den Gegenspannungsverlauf (20) beeinflussende Parameter mit einbezogen werden, wobei vorzugsweise abschätzbare Lastschwankungen und/oder Erwärmungsveränderungen mit einbezogen werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei auf den
15 Gegenspannungsverlauf (20) zur Nutzung als Vorgabe die n-fache Harmonische des Gegenspannungsverlaufes (20) aufaddiert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der
20 Gegenspannungsverlauf (20) zur Nutzung als Vorgabe gefiltert (2) wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Gegenspannungsverlauf mit einem linearen Filter gefiltert wird, wobei das lineare Filter durch eine numerische Optimierung berechnet wird.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Perioden jeweils in eine Mehrzahl von zeitlich gleichlangen Segmenten (10) eingeteilt werden, wobei Frequenzanteile des Gegenspannungsverlaufes (20) mit einer Frequenz des Inversen der zeitlichen Segmentlänge und/oder Frequenzanteile des Gegenspannungsverlaufes (20) mit einem ganzzahligen Vielfachen der Frequenz des Inversen der zeitlichen

Segmentlänge in ihrer Amplitude vermindert und/oder herausgefiltert werden.

9. Verfahren zum Betrieb eines Kraftfahrzeugs (101), wobei ein Elektromotor (100) des Kraftfahrzeugs (101) mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche betrieben wird.
10. Elektromotor (100) aufweisend einen Modulator (5), wobei der Modulator (5) zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 konfiguriert ist.
11. Kraftfahrzeug (101) aufweisend einen Elektromotor (100) gemäß Anspruch 10.

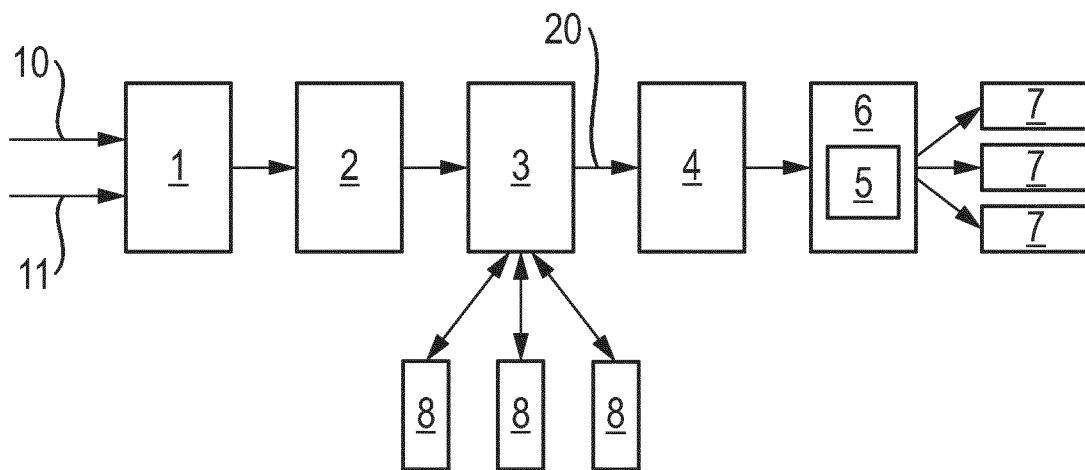
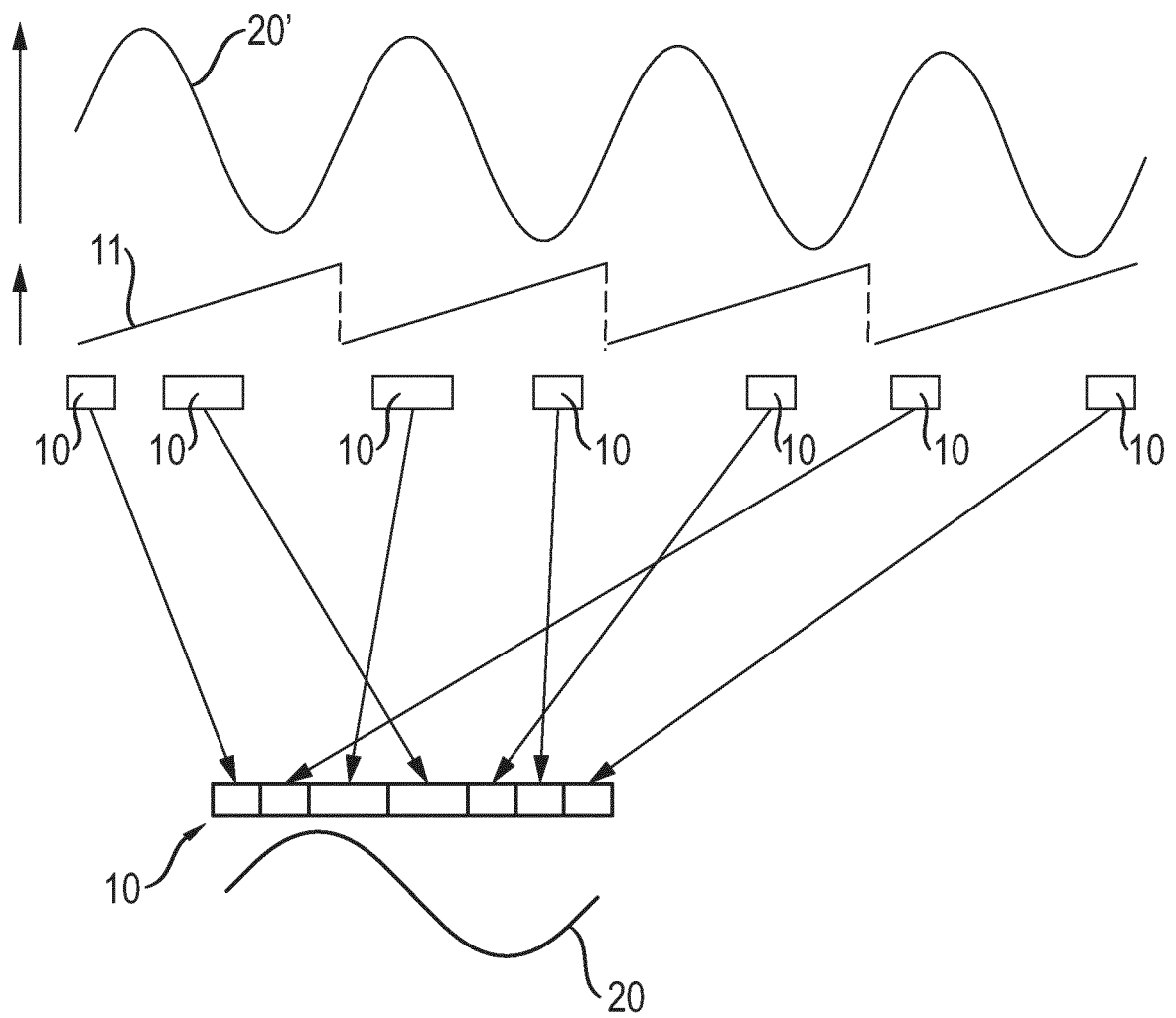


Fig. 1

**Fig. 2**

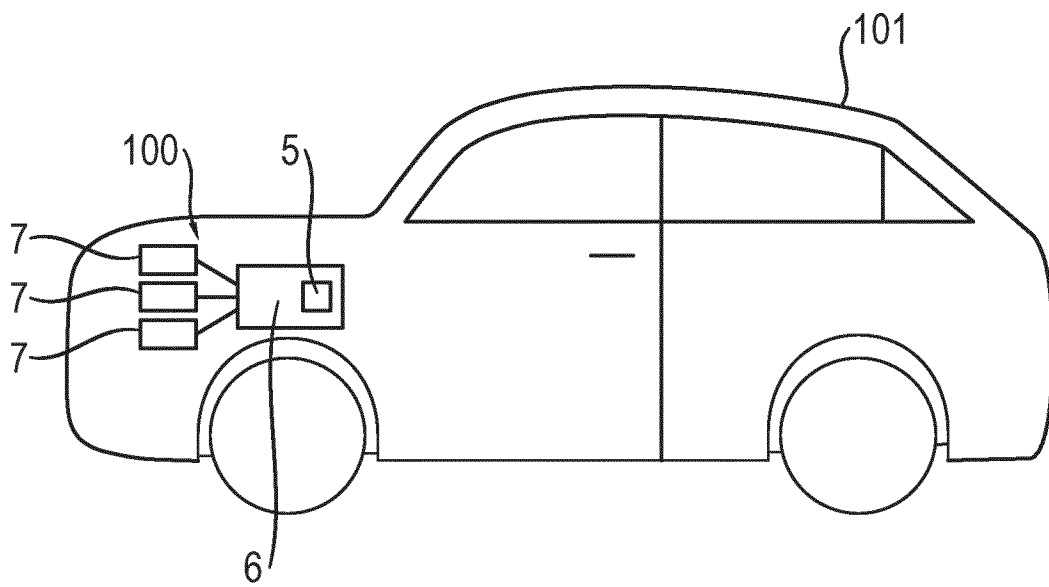


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/025373

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02P 6/182**(2016.01)i; **H02P 29/50**(2016.01)i; **H02P 29/60**(2016.01)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)

H02P

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	DE 102016211406 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 28 December 2017 (2017-12-28)	1,6-12
Y	the whole document	2-5,10-12
X	DE 102014001184 A1 (BOCK OTTO HEALTHCARE PROD GMBH [AT]) 30 July 2015 (2015-07-30)	1-5
Y	the whole document	2-5,10-12
A		6-9

☐ 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

16 January 2020

Date of mailing of the international search report

31 January 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

Wimböck, Thomas

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/025373

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102016211406	A1	28 December 2017	CN	109478859	A	15 March 2019
				DE	102016211406	A1	28 December 2017
				EP	3476038	A1	01 May 2019
				US	2019207545	A1	04 July 2019
				WO	2017220234	A1	28 December 2017
DE	102014001184	A1	30 July 2015	DE	102014001184	A1	30 July 2015
				EP	3100349	A1	07 December 2016
				TW	201539969	A	16 October 2015
				US	2017170760	A1	15 June 2017
				WO	2015113766	A1	06 August 2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02P6/182 H02P29/50 H02P29/60 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H02P		
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	DE 10 2016 211406 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 28. Dezember 2017 (2017-12-28)	1,6-12
Y	das ganze Dokument	2-5, 10-12
X	DE 10 2014 001184 A1 (BOCK OTTO HEALTHCARE PROD GMBH [AT]) 30. Juli 2015 (2015-07-30)	1-5
Y	das ganze Dokument	2-5, 10-12
A		6-9
☐ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
16. Januar 2020		31/01/2020
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 Wimböck, Thomas

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/025373

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102016211406 A1	28-12-2017	CN 109478859 A	15-03-2019
		DE 102016211406 A1	28-12-2017
		EP 3476038 A1	01-05-2019
		US 2019207545 A1	04-07-2019
		WO 2017220234 A1	28-12-2017

DE 102014001184 A1	30-07-2015	DE 102014001184 A1	30-07-2015
		EP 3100349 A1	07-12-2016
		TW 201539969 A	16-10-2015
		US 2017170760 A1	15-06-2017
		WO 2015113766 A1	06-08-2015
