

(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
15. Dezember 2022 (15.12.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/258277 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02P 6/28 (2016.01) *G01R 19/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/062555

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Mai 2022 (10.05.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 115 138.4
11. Juni 2021 (11.06.2021) DE

(71) Anmelder: **BAYERISCHE MOTOREN WERKE AK-
TIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Petuelring 130, 80809
München (DE).

(72) Erfinder: **GLOSE, Daniel**; Hanselmannstr. 32a, 80809
München (DE). **KNEZEVIC, Jovan**; Eversbuschstraße 28,
80999 München (DE). **FEUSTEL, Silko**; Schumacherring
21, 81737 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, DJ, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, 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, ST, SV,
SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING PHASE CURRENTS, CONTROL DEVICE, DRIVE SYSTEM, AND MOTOR VEHI-
CLE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BESTIMMEN VON PHASENSTRÖMEN, STEUEREINRICHTUNG,
ANTRIEBSSYSTEM SOWIE KRAFTFAHRZEUG

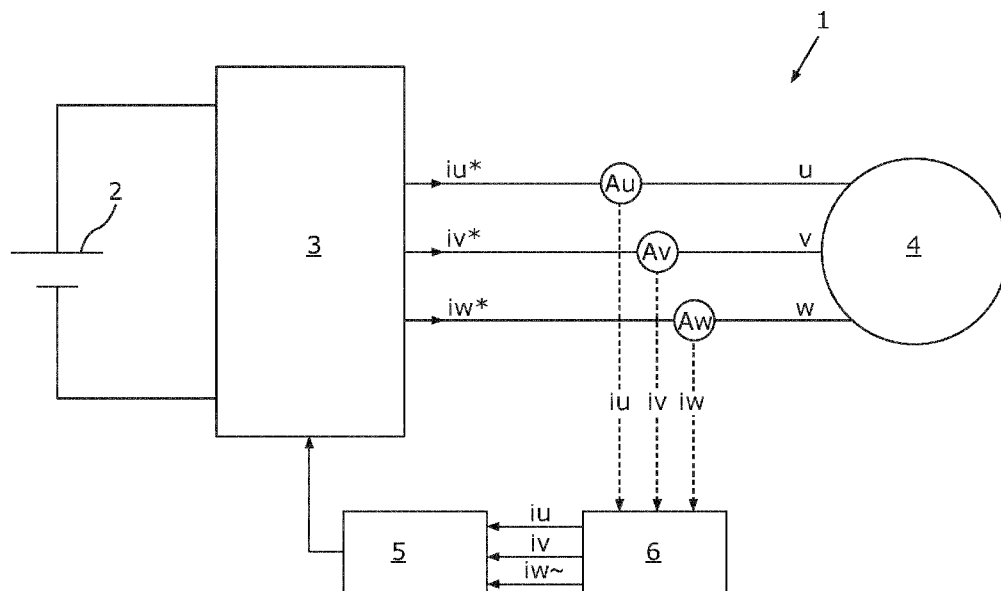


Fig.1

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining phase currents (i_u , i_v , i_w) for current control of an electric machine (4) of a drive system (1) for a motor vehicle, wherein measured characteristics of the phase currents (i_u , i_v , i_w) that are supplied to at least three phases (u , v , w) of a set of phases of the electric machine (4) and that are measured by at least three phase current sensors (A_u , A_v , A_w) of a set of phase current sensors of the drive system (1) are received, and wherein - zero crossings (N_{u1} , N_{v1} , N_{w1} , N_{u2} , N_{v2} , N_{w2}) in the at least three measured phase current sensor-specific characteristics (i_u , i_v , i_w) are identified, - a phase current value ($I_{u1}(v)$, $I_{u2}(v)$, $I_{u1}(w)$, $I_{u2}(w)$, $I_{v1}(u)$, $I_{v2}(u)$, $I_{v1}(w)$, $I_{v2}(w)$, $I_{w1}(u)$, $I_{w2}(u)$, $I_{w1}(v)$, $I_{w2}(v)$) of at least one other characteristic (i_u , i_v , i_w) is determined, per characteristic (i_u , i_v , i_w), for at least one zero crossing (N_{u1} , N_{v1} , N_{w1} , N_{u2} , N_{v2} , N_{w2}), - the determined



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

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

phase current values (Iu1(v), Iu2(v), Iu1(w), Iu2(w), Iv1(u), Iv2(u), Iv1(w), Iv2(w), Iw1(u), Iw2(u), Iw1(v), Iw2(v)) are taken as a basis for determining a characterization value, describing a gain factor of each phase current sensor (Au, Av, Aw), for the respective phase current sensor (Au, Av, Aw), - the phase currents (iu, iv, iw~) for the current control are determined taking into consideration the characterization values of the phase current sensors (Au, Av, Aw).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von Phasenströmen (iu, iv, iw~) für eine Stromregelung einer elektrischen Maschine (4) eines Antriebssystems (1) für ein Kraftfahrzeug, wobei gemessene Verläufe der Phasenströme (iu, iv, iw), welche zumindest drei Phasen (u, v, w) eines Phasensatzes der elektrischen Maschine (4) zugeführt werden und welche von zumindest drei Phasenstromsensoren (Au, Av, Aw) eines Phasenstromsensorsatzes des Antriebssystems (1) gemessen werden, empfangen werden, und wobei - Nulldurchgänge (Nu1, Nv1, Nw1, Nu2, Nv2, Nw2) in den zumindest drei gemessenen, phasenstromsensorspezifischen Verläufen (iu, iv, iw) erkannt werden, -pro Verlauf (iu, iv, iw) für zumindest einen Nulldurchgang (Nu1, Nv1, Nw1, Nu2, Nv2, Nw2) ein Phasenstromwert (Iu1(v), Iu2(v), Iu1(w), Iu2(w), Iv1(u), Iv2(u), Iv1(w), Iv2(w), Iw1(u), Iw2(u), Iw1(v), Iw2(v)) zumindest eines anderen Verlaufes (iu, iv, iw) bestimmt wird, - anhand der bestimmten Phasenstromwerte (Iu1(v), Iu2(v), Iu1(w), Iu2(w), Iv1(u), Iv2(u), Iv1(w), Iv2(w), Iw1(u), Iw2(u), Iw1(v), Iw2(v)) für jeden Phasenstromsensor (Au, Av, Aw) ein, einen Verstärkungsfaktor des jeweiligen Phasenstromsensors (Au, Av, Aw) beschreibender Charakterisierungswert bestimmt wird, - die Phasenströme (iu, iv, iw~) für die Stromregelung unter Berücksichtigung der Charakterisierungswerte der Phasenstromsensoren (Au, Av, Aw) bestimmt werden.

Verfahren zum Bestimmen von Phasenströmen, Steuereinrichtung, Antriebssystem sowie Kraftfahrzeug

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von Phasenströmen für eine Stromregelung einer elektrischen Maschine eines Antriebssystems für ein Kraftfahrzeug. Dabei werden gemessene Verläufe der Phasenströme, welche zumindest drei Phasen eines Phasensatzes der elektrischen Maschine zugeführt werden und welche von zumindest drei Phasenstromsensoren eines Phasenstromsensorsatzes des Antriebssystems gemessen werden, empfangen. Die Erfindung betrifft außerdem eine Steuereinrichtung, ein Antriebssystem sowie ein Kraftfahrzeug.

Vorliegend richtet sich das Interesse auf Antriebssysteme für elektrisch antreibbare Kraftfahrzeuge, welche zumindest eine elektrische Maschine aufweisen. Die elektrische Maschine ist dazu ausgelegt, ein spezifisches Drehmoment bzw. Antriebsmoment für das Kraftfahrzeug bereitzustellen, und umfasst einen Stator und einen bezüglich des Stators drehbar gelagerten Rotor. Der Stator weist üblicherweise zumindest einen Phasensatz mit zumindest drei Phasen bzw. Statorphasen auf. Dem zumindest einen Phasensatz wird ein mehrphasiger Strom zur Erzeugung eines drehmomentspezifischen magnetischen Drehfelds im Stator zugeführt. Dazu ist jede Phase mit einem Inverterstrang eines Inverters des Antriebssystems elektrisch verbunden, über welchen jeder Phase ein, insbesondere sinusförmiger, Phasenstrom zugeführt wird. Die drei Phasenströme bilden dabei den mehrphasigen Strom.

Zur Regelung der Phasenströme weist das Antriebssystem einen Stromregler auf, welcher Soll-Verläufe der Phasenströme basierend auf Ist-Verläufen der Phasenströme vorgeben kann. Zur Erfassung der Ist-Verläufe ist üblicherweise ein Phasenstromsensorsatz vorgesehen, welcher beispielsweise für jede Phase einen Phasenstromsensor aufweist. Die gemessenen Ist-Verläufe der Phasenströme können dabei aufgrund von unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren

von den tatsächlichen Ist-Verläufen abweichen. Diese unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren können sich negativ auf den Betrieb des Inverters auswirken.

Der Inverter weist dabei einen bestimmten Betriebsbereich auf, welcher um einen Toleranzbereich hinsichtlich Spitzenwerten der Phasenströme vergrößert ist. Bei Spitzenströmen außerhalb des Toleranzbereiches wird der Inverter üblicherweise abgeschaltet. Die Spitzenströme können insbesondere dann den Toleranzbereich des Inverters verlassen, falls zumindest ein Phasenstromsensor aufgrund eines zu geringen Verstärkungsfaktors einen gemessenen Verlauf des Phasenstroms ausgibt, welcher unterhalb des tatsächlichen Verlaufes des Phasenstroms liegt. Um dies zu verhindern, werden die Phasenstromsensoren üblicherweise regelmäßig kalibriert. Dazu werden zum einen die Offsetwerte und zum anderen die Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren eingestellt. Der Offsetwert wird bei einem sicheren Nullstrom, also im ausgeschalteten Zustand des Antriebssystems, durchgeführt. Der Verstärkungsfaktor wird üblicherweise mittels einer Phasenregelschleife (PLL- phase-locked loop) indirekt während des Betriebs des Antriebssystems ermittelt. Die Vorgehensweise zur Bestimmung des Verstärkungsfaktors hat sich als langsam und ungenau herausgestellt.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lösung bereitzustellen, mit welcher Phasenströme für eine Stromregelung einer elektrischen Maschine eines Antriebssystems eines Kraftfahrzeugs auf einfache und genaue Weise bestimmt werden können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren, eine Steuereinrichtung, ein Antriebssystem sowie ein Kraftfahrzeug mit den Merkmalen gemäß den jeweiligen unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche, der Beschreibung sowie der Figuren.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren dient zum Bestimmen von Phasenströmen für eine Stromregelung einer elektrischen Maschine eines Antriebssystems für ein Kraftfahrzeug. Bei dem Verfahren werden gemessene Verläufe der Phasenströme, welche zumindest drei Phasen eines Phasensatzes der elektrischen Maschine zugeführt werden und welche von zumindest drei Phasenstromsensoren eines Phasenstromsensorsatzes des Antriebssystems gemessen werden, empfangen. Außerdem werden Nulldurchgänge in den zumindest drei gemessenen, phasenstromsensoren-spezifischen Verläufen erkannt und pro Verlauf wird für zumindest einen Nulldurchgang ein Phasenstromwert zumindest eines anderen gemessenen Verlaufes bestimmt. Anhand der bestimmten Phasenstromwerte wird für jeden Phasenstromsensor ein, einen Verstärkungsfaktor des jeweiligen

Phasenstromsensors beschreibender Charakterisierungswert bestimmt. Die Phasenströme für die Stromregelung werden unter Berücksichtigung der Charakterisierungswerte der Phasenstromsensoren bestimmt.

Die Erfindung betrifft außerdem eine Steuereinrichtung für ein Antriebssystem eines Kraftfahrzeugs, welche dazu ausgelegt ist, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Darüber hinaus gehört zur Erfindung ein Antriebssystem für ein Kraftfahrzeug, welches zumindest eine elektrische Maschine aufweist. Die elektrische Maschine weist zumindest einen Phasensatz mit jeweils zumindest drei Phasen auf. Außerdem umfasst das Antriebssystem einen Phasenstromsensorsatz mit zumindest drei Phasenstromsensoren zum Messen der den Phasen zugeführten Phasenströme sowie eine erfindungsgemäße Steuereinrichtung. Die elektrische Maschine, welche einen Stator und einen Rotor aufweist, kann beispielsweise eine permanenterregte Synchronmaschine (PSM) oder eine stromerregte Synchronmaschine (SSM) sein und ein Antriebsdrehmoment für das Kraftfahrzeug bereitstellen. Die elektrische Maschine kann beispielsweise eine dreiphasige Maschine sein und somit einen Phasensatz mit drei (Stator-)Phasen aufweisen. Auch kann die elektrische Maschine eine sechshephasige Maschine sein und zwei Phasensätze mit jeweils drei Phasen aufweisen. Der zumindest eine Phasensatz ist mit einem Inverter bzw. Wechselrichter des Antriebssystems elektrisch verbunden, welcher den von einem elektrischen Energiespeicher des Antriebssystems bereitgestellten Gleichstrom in einen mehrphasigen Wechselstrom für den Phasensatz umwandelt. Der mehrphasige Strom besteht insbesondere aus drei sinusförmigen, phasenversetzten Phasenströmen, welche in die Phasen der elektrischen Maschine eingeprägt werden.

Zur Regelung des mehrphasigen Stroms weist das Antriebssystem außerdem für jeden Phasensatz einen Phasenstromsensorsatz auf. Der Phasenstromsensorsatz weist insbesondere für jede Phase einen Phasenstromsensor auf, welcher den inverterausgangsseitigen, maschineneingangsseitigen Phasenstrom der jeweiligen Phase misst. Da diese gemessenen Ist-Verläufe der Phasenströme die Basis für die Stromregelung sind und abhängig von den Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren sind, werden die Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren validiert und bei der Bestimmung der Phasenströme berücksichtigt. Dazu werden von den gemessenen, phasenspezifischen Stromverläufen die Nulldurchgänge bestimmt. Während einer Grundwellenperiode erfährt jede Phase zwei Nulldurchgänge im zeitlichen Stromverlauf. Da die Phasenstromsensoren beim Nullstrom bereits kalibriert wurden (Offsetkalibration), können die Stromverläufe der beiden anderen Phasen hinsichtlich der

Verstärkungsfaktoren der zugehörigen Phasenstromsensoren miteinander verglichen werden. Dazu wird in Abhängigkeit von dem gemessenen Phasenstromwert zumindest eines Phasenstromsensors bei dem gemessenen Nulldurchgang eines anderen Phasenstromsensors der phasenstromsensorspezifische Charakterisierungswert bestimmt, welcher wiederum abhängig von dem Verstärkungsfaktor dieses Phasenstromsensors ist. In Abhängigkeit von den phasenstromsensorspezifischen Charakterisierungswerten, und damit in Abhängigkeit von den Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren, können dann die für die Stromregelung verwendeten Phasenströme bestimmt werden.

Dabei kann vorgesehen sein, dass die Phasenströme für die Stromregelung unter Berücksichtigung der Charakterisierungswerte bestimmt werden, indem anhand der Charakterisierungswerte diejenigen zwei Phasenstromsensoren ausgewählt werden, welche die größten Verstärkungsfaktoren aufweisen, wobei die zwei von diesen zwei Phasenstromsensoren gemessenen Verläufe für die Stromregelung verwendet werden und ein dritter Verlauf aus den zwei gemessenen Verläufen bestimmt und für die Stromregelung verwendet wird. Insbesondere werden die zwei Phasenstromsensoren mit den größten Verstärkungsfaktoren ausgewählt, indem derjenige Phasenstromsensor mit dem kleinsten Verstärkungsfaktor anhand der Charakterisierungswerte herausgefiltert wird. Bei einer Sternschaltung der Statorphasen addieren sich die Phasenströme zu jedem Zeitpunkt zu Null, sodass aus zwei gemessenen Phasenströmen der dritte Phasenstrom berechnet werden kann. Mittels des Verfahrens können anhand der Charakterisierungswerte diejenigen Phasenstromsensoren selektiert und zur Messung der Phasenstromverläufe von zwei der drei Phasen für die Stromregelung verwendet werden, welche die größten Verstärkungsfaktoren aufweisen. Der Verlauf der dritten Phase wird nicht von dem Phasenstromsensor mit der kleinsten Verstärkung gemessen, sondern aus den anderen zwei Verläufen berechnet. Die Stromregelung wird also nur mithilfe der Phasenstromsensoren mit den größten Verstärkungsfaktoren durchgeführt. Somit können Stromspitzen, die aus der fehlerhaften Stromregelung aufgrund eines zu geringen Verstärkungsfaktors resultieren, vermieden werden und hierdurch in vorteilhafter Weise der Toleranzbereich des Inverters vergrößert werden.

In einer Ausführungsform des Verfahrens wird als der Charakterisierungswert eines Phasenstromsensors der Phasenstromwert des von diesem Phasenstromsensor gemessenen Verlaufes bei einem Nulldurchgang eines anderen Verlaufes bestimmt. Beispielsweise werden bei bestimmten Nulldurchgängen der Verläufe die zugehörigen, sich beispielsweise auf der steigenden Flanke befindlichen Phasenstromwerte der

anderen Verläufe als Charakterisierungswerte bestimmt. So erhält man für jeden Phasenstromsensor zumindest einen Charakterisierungswert in Form von einem Phasenstromwert, wobei die Phasenstromwerte der Phasenstromsensoren miteinander verglichen werden können. Bei idealerweise identischen Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren sollten die Phasenstromwerte der unterschiedlichen Phasen gleich sein. Falls sie unterschiedlich sind, so kann dies auf unterschiedliche Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren hindeuten. Dies setzt jedoch eine sich nicht verändernde Grundwellenamplitude der Stromverläufe über einen längeren Zeitraum voraus.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden pro Nulldurchgang eines Verlaufs die zugehörigen Phasenstromwerte der zwei anderen Verläufe bestimmt, anhand dieser Phasenstromwerte wird eine relative Abweichung der Verstärkungsfaktoren der zwei zugehörigen Phasenstromsensoren bestimmt und die Charakterisierungswerte werden anhand der relativen Abweichungen bestimmt. Insbesondere wird die relative Abweichung der Verstärkungsfaktoren zweier Phasenstromsensoren als die Differenz der zugehörigen Phasenstromwerte bezogen auf den arithmetischen Mittelwert der Phasenstromwerte bestimmt. Zu einem Nulldurchgang jedes Verlaufes kann also ein Phasenpaar aus den Phasenstromwerten der beiden anderen Verläufe bestimmt werden. Diese Ausführungsform weist den Vorteil auf, dass sie robust gegenüber kleinen Änderungen der Grundwellenamplituden ist, welche selbst im stationären Zustand üblich sind.

Bevorzugt werden pro Grundwellenperiode eines Verlaufes zwei Nulldurchgänge erkannt und bei jedem Nulldurchgang werden die Phasenstromwerte der zwei anderen Verläufe bestimmt. Dann werden zwei relative Abweichungen der Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren pro Grundwellenperiode bestimmt und anhand der sechs relativen Abweichungen werden die Charakterisierungswerte bestimmt. Vorzugsweise werden anhand der relativen Abweichungen die Verstärkungsfaktoren der einzelnen Phasenstromsensoren als die Charakterisierungswerte der Phasenstromsensoren bestimmt. Pro Nulldurchgang können also zwei Phasen miteinander verglichen werden. Pro Grundwellenperiode kann dieser Vergleich zweimal mit allen Phasenpaaren durchgeführt werden. Aus diesen sechs Vergleichen können die Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren bestimmt und der Größe nach sortiert werden. So können auf einfache Weise die Phasenstromsensoren mit der größten Verstärkung für die Stromregelung ausgewählt werden.

Zur Erfindung gehört außerdem ein Kraftfahrzeug mit einem erfindungsgemäßen Antriebssystem. Das Kraftfahrzeug ist als ein elektrisch antreibbares Kraftfahrzeug ausgebildet.

Die mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren vorgestellten Ausführungsformen und deren Vorteile gelten entsprechend für die erfindungsgemäße Steuereinrichtung, für das erfindungsgemäße Antriebssystem sowie für das erfindungsgemäße Kraftfahrzeug.

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

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

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Antriebssystems 1 für ein Kraftfahrzeug; und

Fig. 2 eine Darstellung von Stromverläufen.

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

Fig. 1 zeigt ein Antriebssystem 1 für ein Kraftfahrzeug mit einem elektrischen Energiespeicher 2, beispielsweise einem Hochvoltakkumulator, einem mit dem elektrischen Energiespeicher 2 verbundenen Inverter 3 und einer mit dem Inverter 3 verbundenen elektrischen Maschine 4. Die elektrische Maschine 4 ist hier eine dreiphasige elektrische Maschine 4 und weist einen Phasensatz mit drei Phasen u, v, w auf. Zum Bereitstellen eines bestimmten Drehmoments durch die elektrische Maschine 4 wird den Phasen u, v, w von dem Inverter 3 jeweils ein Phasenstrom i_u^* , i_v^* , i_w^* eingeprägt. Zur Drehmomentregelung werden diese Phasenströme i_u^* , i_v^* , i_w^* von einem Stromregler 5 des Antriebssystems 1 geregelt. Dazu weist das Antriebssystem 1 für jeden Phasensatz einen Phasenstromsensorsatz auf. Der Phasenstromsensorsatz weist einen

der Phase u zugeordneten ersten Phasenstromsensor A_u , einen der Phase v zugeordneten zweiten Phasenstromsensor A_v und einen der Phase w zugeordneten dritten Phasenstromsensor A_w auf. Die Phasenstromsensoren A_u , A_v , A_w messen die zeitlichen Phasenstromverläufe i_u , i_v , i_w , welche aufgrund unterschiedlicher Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren A_u , A_v , A_w von den tatsächlichen Phasenstromverläufen i_u^* , i_v^* , i_w^* abweichen können. Tatsächliche Ist-Verläufe i_u^* , i_v^* , i_w^* sowie die davon abweichenden gemessenen Verläufe i_u , i_v , i_w sind in Fig. 2 gezeigt. Dort ist beispielhaft dargestellt, dass der gemessene Verlauf i_u über dem tatsächlichen Verlauf i_u^* liegt, der gemessene Verlauf i_v dem tatsächlichen Verlauf i_v^* entspricht und der gemessene Verlauf i_w unter dem tatsächlichen Verlauf i_w^* liegt. Der erste Phasenstromsensor A_u weist also hier den größten Verstärkungsfaktor auf und der Phasenstromsensor A_w weist den kleinsten Verstärkungsfaktor auf.

Bei der Stromregelung werden die Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren A_u , A_v , A_w berücksichtigt. Dazu werden die von den Phasenstromsensoren A_u , A_v , A_w gemessenen Verläufe i_u , i_v , i_w einer Steuereinrichtung 6 des Antriebssystems 1 zugeführt. Die Steuereinrichtung 6 kann auch in den Stromregler 5 integriert sein. Die Steuereinrichtung 6 ist dazu ausgelegt, die Phasenströme für die Stromregelung unter Berücksichtigung der Verstärkungsfaktoren zu bestimmen. Hierzu selektiert die Steuereinrichtung 6 diejenigen Phasenstromsensoren A_u , A_v mit den größten Verstärkungsfaktoren und führt die von diesen Phasenstromsensoren A_u , A_v gemessenen Phasenströme i_u , i_v dem Stromregler 5 zu. Der gemessene Stromverlauf i_w des Phasenstromsensors A_w mit der geringsten Verstärkung wird dem Stromregler 5 nicht zugeführt, sondern der Stromverlauf $i_{w\sim}$ wird anhand der gemessenen Phasenströme i_u , i_v berechnet und dem Stromregler 5 zugeführt.

Zum Auswählen der Phasenstromsensoren A_u , A_v mit den größten Verstärkungsfaktoren bzw. zum Herausfiltern des Phasenstromsensors A_w mit dem geringsten Verstärkungsfaktor kann die Steuereinrichtung 6 den jeweiligen Verstärkungsfaktor bzw. jeweils einen den Verstärkungsfaktor charakterisierenden Charakterisierungswert der Phasenstromsensoren A_u , A_v , A_w bestimmen. Dazu ermittelt die Steuereinrichtung 6, wie in Fig. 2 gezeigt, Nulldurchgänge Nu_1 , Nv_1 , Nw_1 , Nu_2 , Nv_2 , Nw_2 der gemessenen Stromverläufe i_u , i_v , i_w . Pro Grundwellenperiode existieren dabei für jeden gemessenen Verlauf i_u , i_v , i_w zwei Nulldurchgänge Nu_1 , Nv_1 , Nw_1 , Nu_2 , Nv_2 , Nw_2 . Zu jedem Nulldurchgang Nu_1 , Nv_1 , Nw_1 , Nu_2 , Nv_2 , Nw_2 eines gemessenen Verlaufes i_u^* , i_v^* , i_w^* werden dann Phasenstromwerte $I_{u1}(v)$, $I_{u2}(v)$, $I_{u1}(w)$, $I_{u2}(w)$, $I_{v1}(u)$, $I_{v2}(u)$, $I_{v1}(w)$, $I_{v2}(w)$, $I_{w1}(u)$, $I_{w2}(u)$, $I_{w1}(v)$, $I_{w2}(v)$ der anderen Verläufe i_u , i_v , i_w bestimmt. Für den

ersten Nulldurchgang $Nu1$ des gemessenen Verlaufes i_u werden also die Phasenstromwerte $lw1(u)$ des Verlaufes i_w und $lv1(u)$ des Verlaufes i_v bestimmt. Für den zweiten Nulldurchgang $Nu2$ des gemessenen Verlaufes i_u werden die Phasenstromwerte $lv2(u)$ des Verlaufes i_v und $lw2(u)$ des Verlaufes i_w bestimmt. Für den ersten Nulldurchgang $Nw1$ des gemessenen Verlaufes i_w werden die Phasenstromwerte $lu1(w)$ des Verlaufes i_u und $lv1(w)$ des Verlaufes i_v bestimmt, usw. Aus den Wertepaaren $lu1(v)$, $lw1(v)$; $lu1(w)$, $lv1(w)$; $lv1(u)$, $lw1(u)$; $lu2(v)$, $lw2(v)$; $lu2(w)$, $lv2(w)$; $lv2(u)$, $lw2(u)$ können dann die Verstärkungsfaktoren der offsetkalibrierten Phasenstromsensoren A_u , A_v , A_w berechnet und miteinander verglichen werden. Dieser Vergleich lässt sich im Laufe einer Umdrehung, also einer Grundwellenperiode, zweimal mit allen Phasenpaaren $lu1(v)$, $lw1(v)$; $lu1(w)$, $lv1(w)$; $lv1(u)$, $lw1(u)$; $lu2(v)$, $lw2(v)$; $lu2(w)$, $lv2(w)$; $lv2(u)$, $lw2(u)$ durchführen. Am Ende ergeben sich eine Gesamtverstärkung und eine Differenzverstärkung der Phasenstromsensoren A_u , A_v , A_w untereinander. Im weiteren Verlauf kann vereinfacht angenommen werden, dass die Gesamtverstärkung „1“ ist und die Differenzverstärkungen denen der einzelnen Phasenstromsensoren A_u , A_v , A_w entspricht. Anhand der Differenzverstärkungen können dann die beiden Phasenstromsensoren A_u , A_v mit den größten Verstärkungsfaktoren identifiziert werden

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Phasenströmen (i_u , i_v , i_w) für eine Stromregelung einer elektrischen Maschine (4) eines Antriebssystems (1) für ein Kraftfahrzeug, wobei gemessene Verläufe (i_u , i_v , i_w) der Phasenströme, welche zumindest drei Phasen (u , v , w) eines Phasensatzes der elektrischen Maschine (4) zugeführt werden und welche von zumindest drei Phasenstromsensoren (A_u , A_v , A_w) eines Phasenstromsensorsatzes des Antriebssystems (1) gemessen werden, empfangen werden, dadurch gekennzeichnet, dass
 - Nulldurchgänge (Nu_1 , Nv_1 , Nw_1 , Nu_2 , Nv_2 , Nw_2) in den zumindest drei gemessenen, phasenstromsensorspezifischen Verläufen (i_u , i_v , i_w) erkannt werden,
 - pro gemessenem Verlauf (i_u , i_v , i_w) für zumindest einen Nulldurchgang (Nu_1 , Nv_1 , Nw_1 , Nu_2 , Nv_2 , Nw_2) ein Phasenstromwert ($I_{u1}(v)$, $I_{u2}(v)$, $I_{u1}(w)$, $I_{u2}(w)$, $I_{v1}(u)$, $I_{v2}(u)$, $I_{v1}(w)$, $I_{v2}(w)$, $I_{w1}(u)$, $I_{w2}(u)$, $I_{w1}(v)$, $I_{w2}(v)$) zumindest eines anderen gemessenen Verlaufes (i_u , i_v , i_w) bestimmt wird,
 - anhand der bestimmten Phasenstromwerte ($I_{u1}(v)$, $I_{u2}(v)$, $I_{u1}(w)$, $I_{u2}(w)$, $I_{v1}(u)$, $I_{v2}(u)$, $I_{v1}(w)$, $I_{v2}(w)$, $I_{w1}(u)$, $I_{w2}(u)$, $I_{w1}(v)$, $I_{w2}(v)$) für jeden Phasenstromsensor (A_u , A_v , A_w) ein, einen Verstärkungsfaktor des jeweiligen Phasenstromsensors (A_u , A_v , A_w) beschreibender Charakterisierungswert bestimmt wird, und
 - die Phasenströme (i_u , i_v , i_w) für die Stromregelung unter Berücksichtigung der Charakterisierungswerte der Phasenstromsensoren (A_u , A_v , A_w) bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenströme (i_u , i_v , i_w) für die Stromregelung unter Berücksichtigung der Charakterisierungswerte bestimmt werden, indem anhand der Charakterisierungswerte diejenigen zwei Phasenstromsensoren (A_u , A_v) ausgewählt werden, welche die größten Verstärkungsfaktoren aufweisen, wobei die zwei von diesen zwei Phasenstromsensoren (A_u , A_v) gemessenen Verläufe (i_u , i_v)

und ein aus den zwei gemessenen Verläufen (iu, iv) berechneter dritter Verlauf (iw~) der Stromregelung bereitgestellt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei Phasenstromsensoren (Au, Av) mit den größten Verstärkungsfaktoren für die Stromregelung ausgewählt werden, indem derjenige Phasenstromsensor (Aw) mit dem kleinsten Verstärkungsfaktor anhand der Charakterisierungswerte herausgefiltert wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass pro Nulldurchgang (Nu1, Nv1, Nw1, Nu2, Nv2, Nw2) eines Verlaufs (iu, iv, iw) die zugehörigen Phasenstromwerte (lu1(v), lw1(v); lu1(w), lv1(w); lv1(u), lw1(u); lu2(v), lw2(v); lu2(w), lv2(w); lv2(u), lw2(u)) der zwei anderen Verläufe (iu, iv, iw) bestimmt werden, anhand der Phasenstromwerte (lu1(v), lw1(v); lu1(w), lv1(w); lv1(u), lw1(u); lu2(v), lw2(v); lu2(w), lv2(w); lv2(u), lw2(u)) eine relative Abweichung der Verstärkungsfaktoren der zwei zugehörigen Phasenstromsensoren (Au, Av, Aw) bestimmt wird und die Charakterisierungswerte anhand der relativen Abweichungen bestimmt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Abweichung der Verstärkungsfaktoren zweier Phasenstromsensoren (Au, Av, Aw) als die Differenz der zugehörigen Phasenstromwerte (lu1(v), lw1(v); lu1(w), lv1(w); lv1(u), lw1(u); lu2(v), lw2(v); lu2(w), lv2(w); lv2(u), lw2(u)) bezogen auf den arithmetischen Mittelwert der Phasenstromwerte (lu1(v), lw1(v); lu1(w), lv1(w); lv1(u), lw1(u); lu2(v), lw2(v); lu2(w), lv2(w); lv2(u), lw2(u)) bestimmt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass pro Grundwellenperiode eines Verlaufes (iu, iv, iw) zwei Nulldurchgänge (Nu1, Nv1, Nw1, Nu2, Nv2, Nw2) erkannt werden, bei jedem Nulldurchgang (Nu1, Nv1, Nw1, Nu2, Nv2, Nw2) die Phasenstromwerte (lu1(v), lw1(v); lu1(w), lv1(w); lv1(u), lw1(u); lu2(v), lw2(v); lu2(w), lv2(w); lv2(u), lw2(u)) der zwei anderen Verläufe (iu, iv, iw)

bestimmt werden, zwei relative Abweichungen der Verstärkungsfaktoren der Phasenstromsensoren (A_u , A_v , A_w) pro Verlauf (i_u , i_v , i_w) bestimmt werden und anhand der sechs relativen Abweichungen die Charakterisierungswerte bestimmt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass aus den relativen Abweichungen die Verstärkungsfaktoren der einzelnen Phasenstromsensoren (A_u , A_v , A_w) als die Charakterisierungswerte der Phasenstromsensoren (A_u , A_v , A_w) bestimmt werden.
8. Steuereinrichtung (6) für ein Antriebssystem (1) eines Kraftfahrzeugs, welche dazu ausgelegt ist, ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.
9. Antriebssystem (1) für ein Kraftfahrzeug aufweisend:
 - zumindest eine elektrische Maschine (4) mit zumindest einem Phasensatz aufweisend zumindest drei Phasen (u , v , w),
 - einen Phasenstromsensorsatz mit zumindest drei Phasenstromsensoren (A_u , A_v , A_w) zum Messen der den Phasen (u , v , w) zugeführten Phasenströme (i_u , i_v , i_w), und
 - eine Steuereinrichtung (6) nach Anspruch 8.
10. Kraftfahrzeug mit einem Antriebssystem (1) nach Anspruch 9.

1/2

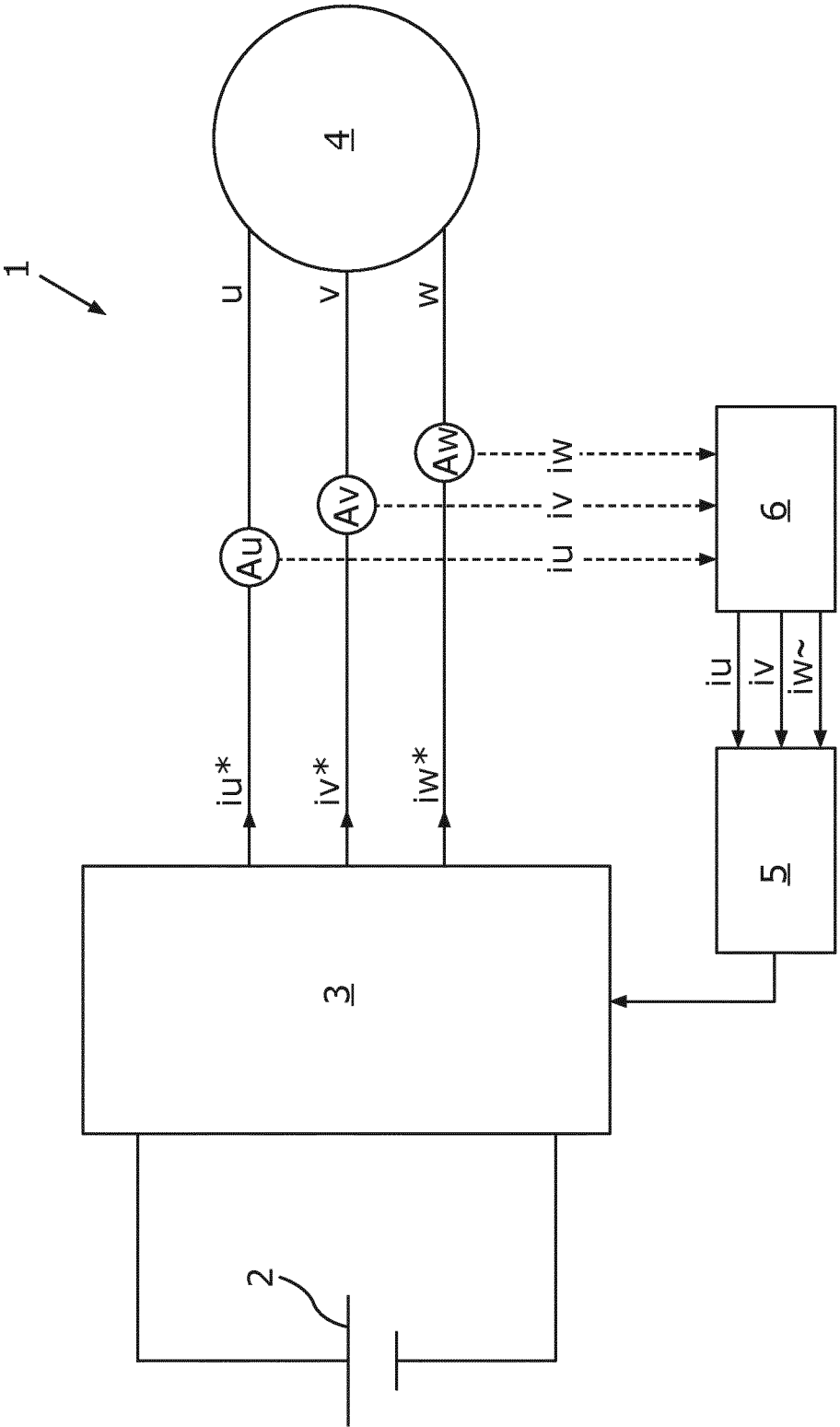


Fig.1

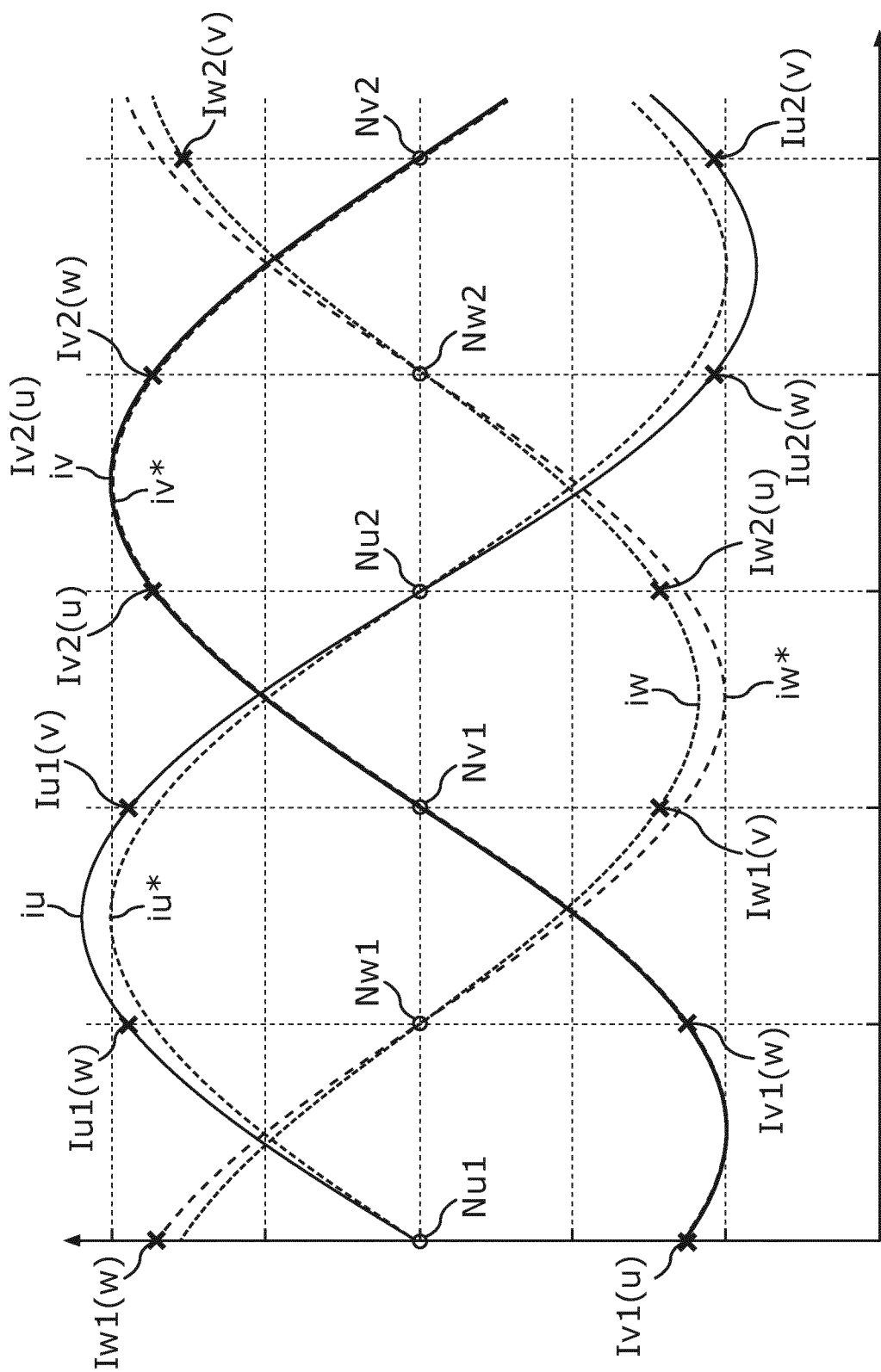


Fig.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/062555

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02P 6/28**(2016.01)i; **G01R 19/00**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P; G01R

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.
A	EP 2607914 A1 (LSIS CO LTD [KR]) 26 June 2013 (2013-06-26) paragraph [0034] - paragraph [0054]; figures 1,2	1-10
A	DE 102019130638 A1 (HYUNDAI MOBIS CO LTD [KR]) 20 May 2020 (2020-05-20) paragraph [0051] - paragraph [0058]; figures 8A,8B,9	1-10
A	JP 2006304483 A (TOYOTA MOTOR CORP) 02 November 2006 (2006-11-02) abstract	1-10
A	US 2009189553 A1 (ARNET BEAT J [US]) 30 July 2009 (2009-07-30) paragraph [0020] - paragraph [0021]	1-10



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 September 2022

Date of mailing of the international search report

10 October 2022

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

Schürle, Patrick

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/062555

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2607914	A1	26 June 2013	CN	103166567	A	19 June 2013
				EP	2607914	A1	26 June 2013
				ES	2727035	T3	11 October 2019
				JP	2013128403	A	27 June 2013
				KR	101238943	B1	04 March 2013
				US	2013154526	A1	20 June 2013
DE	102019130638	A1	20 May 2020	CN	111200386	A	26 May 2020
				DE	102019130638	A1	20 May 2020
				KR	20200057340	A	26 May 2020
				US	2020162001	A1	21 May 2020
JP	2006304483	A	02 November 2006	NONE			
US	2009189553	A1	30 July 2009	CA	2713403	A1	06 August 2009
				EP	2238680	A1	13 October 2010
				US	RE45880	E	02 February 2016
				US	2009189553	A1	30 July 2009
				WO	2009097079	A1	06 August 2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02P6/28 G01R19/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H02P G01R		
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.
A	EP 2 607 914 A1 (LSIS CO LTD [KR]) 26. Juni 2013 (2013-06-26) Absatz [0034] – Absatz [0054]; Abbildungen 1,2 -----	1-10
A	DE 10 2019 130638 A1 (HYUNDAI MOBIS CO LTD [KR]) 20. Mai 2020 (2020-05-20) Absatz [0051] – Absatz [0058]; Abbildungen 8A, 8B, 9 -----	1-10
A	JP 2006 304483 A (TOYOTA MOTOR CORP) 2. November 2006 (2006-11-02) Zusammenfassung -----	1-10
A	US 2009/189553 A1 (ARNET BEAT J [US]) 30. Juli 2009 (2009-07-30) Absatz [0020] – Absatz [0021] -----	1-10
☐ 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. September 2022		10/10/2022
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 Schürle, Patrick

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/062555

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2607914 A1	26-06-2013	CN 103166567 A	19-06-2013
		EP 2607914 A1	26-06-2013
		ES 2727035 T3	11-10-2019
		JP 2013128403 A	27-06-2013
		KR 101238943 B1	04-03-2013
		US 2013154526 A1	20-06-2013

DE 102019130638 A1	20-05-2020	CN 111200386 A	26-05-2020
		DE 102019130638 A1	20-05-2020
		KR 20200057340 A	26-05-2020
		US 2020162001 A1	21-05-2020

JP 2006304483 A	02-11-2006	KEINE	

US 2009189553 A1	30-07-2009	CA 2713403 A1	06-08-2009
		EP 2238680 A1	13-10-2010
		US RE45880 E	02-02-2016
		US 2009189553 A1	30-07-2009
		WO 2009097079 A1	06-08-2009
