



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 200 674.8**

(22) Anmeldetag: 17.01.2013

(43) Offenlegungstag: 17.07.2014

(51) Int Cl.: **H02P 21/00** (2006.01)

H02P 27/06 (2006.01)

H02J 1/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,
80809 München, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DF 102 44 229 A1

DE 102 44 229 A1

US 7 969 104 B2

US 2010 / 0 320 945 A1

US 2011 / 0 187 301 A1

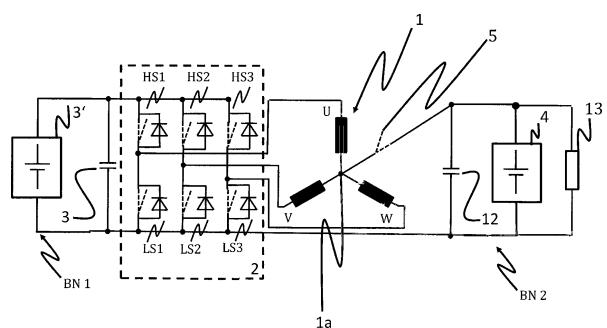
(72) Erfinder:
Gorka, Matthias, 80935, München, DE; Reuss, Jörg, 85716, Unterschleißheim, DE; Findeisen, Daniel, 85435, Erding, DE; Steinberger, Michael, 93096, Köfering, DE

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

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Fahrzeug mit einer elektrischen Maschine und zwei Teilbordnetzen**

(57) Zusammenfassung: Fahrzeug mit einer N-phasigen elektrischen Maschine, mit einem ersten Teilbordnetz (BN1) und mit einem zweiten Teilbordnetz (BN2), wobei die elektrische Maschine einen Rotor und ein Statorsystem (1) umfasst, das erste Teilbordnetz einen Inverter (2) umfasst, das Statorsystem dem Inverter zugeordnet ist, und die elektrische Maschine mit einem Inverterregler nach dem Prinzip einer feldorientierten Regelung betreibbar ist, derart, dass das Statorsystem in einer Sternschaltung ausgeführt ist, der Sternpunkt mit dem zweiten Teilbordnetz verbunden ist oder mit dem zweiten Teilbordnetz über einen Sternpunktsschalter (5) verbindbar ist, der Inverterregler einen Stromregler und einen Sternpunktregler umfasst, der Stromregler Phasenströme des Statorsystems regelt, und der Sternpunktregler einen Sternpunktstrom regelt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Fahrzeug mit einer N-phasigen elektrischen Maschine, mit einem ersten Teilbordnetz und mit einem zweiten Teilbordnetz, wobei die elektrische Maschine einen Rotor und ein Statorsystem umfasst, das erste Teilbordnetz einen Inverter umfasst, das Statorsystem dem Inverter zugeordnet ist, und die elektrische Maschine mit einem Inverterregler nach dem Prinzip der feldorientierten Regelung betreibbar ist.

[0002] Üblicherweise werden in einem Fahrzeug Komponenten, die elektrische Energieverbraucher darstellen, von einem Energiebordnetz mit einer Nennspannungslage von 14 Volt versorgt. Ein sekundärer 12 Volt-Energiespeicher, der im Bordnetz je nach Betriebssituation die Funktion einer Energiequelle oder die Funktion einer Energiesenke übernimmt, und ein 14 Volt-Generator werden darauf ausgelegt, eine elektrische Leistung von 2–3 kW im Fahrzeug bereitzustellen.

[0003] Besonders wenn in das Bordnetz des Fahrzeugs mehrere Verbraucher mit erhöhtem Leistungsbedarf integriert sind, kann das Bordnetz zwei Teilbordnetze aufweisen. Dann transferiert ein Gleichstromsteller elektrische Leistung zwischen den beiden Teilbordnetzen. Die elektrische Maschine, die bei einem Fahrzeug mit elektrifiziertem Antriebsstrang auch motorisch betreibbar sein kann, weist wie zumindest ein Energiespeicher je Teilbordnetz die Funktion als elektrische Energiequelle oder -senke im Fahrzeug auf. Eine solche Bordnetztopologie ist beispielsweise in der Schrift DE 102 44 229 A1 dargestellt.

[0004] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Fahrzeug mit einer mehrphasigen elektrischen Maschine, mit einem ersten Teilbordnetz und mit einem zweiten Teilbordnetz, wobei die elektrische Maschine einen Rotor und ein Statorsystem umfasst, das erste Teilbordnetz einen Inverter umfasst, das Statorsystem dem Inverter zugeordnet ist, und die elektrische Maschine mit einem Inverterregler nach dem Prinzip der feldorientierten Regelung betreibbar ist, zu beschreiben.

[0005] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Fahrzeug gemäß Anspruch 1. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0006] Erfindungsgemäß ist das Statorsystem in einer Sternschaltung ausgeführt, es ist der Sternpunkt mit dem zweiten Teilbordnetz verbunden oder über einen Sternpunktenschalter mit dem zweiten Teilbordnetz verbindbar und es umfasst der Inverterregler einen Stromregler und einen Sternpunktregler.

[0007] Dies bedeutet, dass der Sternpunkt der elektrischen Maschine über den Sternpunktenschalter mit dem Potential des zweiten Teilbordnetzes verbunden werden kann oder dauerhaft verbunden ist. Somit wird ein Stromfluss über den Sternpunkt ermöglicht, der als Sternpunktstrom bezeichnet wird. Der Sternpunktstrom wird also als ein zusätzlicher Freiheitsgrad in die Maschine eingeführt, sofern diese über den Sternpunktenschalter mit dem zweiten Teilbordnetz verbunden ist. Das Regelprinzip der elektrischen Maschine wird erweitert, indem der Inverterregler, der die elektrische Maschine regelt und einen Stromregler für das Statorsystem aufweist, um einen Sternpunktregler ergänzt wird. Durch den Sternpunktregler ist der Strom über den Sternpunkt regelbar. Das zweite Teilbordnetz kann beispielsweise durch elektrische Verbraucher oder alternativ oder ergänzend durch ein weiteres Statorsystem in Stern- oder Dreieckschaltung einer elektrischen Maschine gebildet sein. Dem Inverter kann zudem ein Zwischenkreiskondensator zugeordnet sein.

[0008] Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist aus der Anzahl der N Phasenströme des Statorsystems zumindest eine Anzahl von N-1 Phasenströmen messbar, die gemessenen Phasenströme sind über eine erweiterte Clarke-Park-Transformation in einen feldorientierten Stromzeiger mit einer flussbildenden Komponente, mit einer momentenbildenden Komponente und mit einer Stromnullkomponente transformierbar, wobei der Sternpunktstrom das Dreifache der Stromnullkomponente ist.

[0009] Unter einer dauerhaften elektrischen Verbindung ist ein nicht offener und nicht öffnenbarer Strompfad zu verstehen. Dies bedeutet beispielsweise, dass Dioden in den Strompfad eingebracht sein können.

[0010] Demnach ist die elektrische Maschine nach dem dem Fachmann für elektrische Maschinen bekannten Prinzip der feldorientierten Regelung regelbar. Nach diesem Prinzip werden etwa bei einer dreiphasigen elektrischen Maschine zwei Phasenströme des Statorsystems gemessen und über eine zweidimensionale Clarke-Park-Transformation in zwei rotorfeste Stromgrößen transformiert. Die beiden rotorfesten Stromgrößen bezeichnen eine flussbildende Stromkomponente und eine momentenbildende Stromkomponente. Die Transformation erfolgt durch eine Steuereinheit, z. B. durch ein Steuergerät.

[0011] Nach der bevorzugten Ausführungsform werden zwei Phasenströme sowie der Sternpunktstrom gemessen oder alternativ die drei Phasenströme gemessen.

[0012] Bei einer Messung der drei Phasenströme werden diese einer erweiterten dreidimensionalen Clarke-Park-Transformation zugeführt, die dem Fachmann bekannte zweidimensionale Clarke-Park-Transformation in geschickter Weise modifiziert. Neben der flussbildenden Stromkomponente und der momentenbildenden Stromkomponente wird als weitere Komponente eine Stromnullkomponente erhalten. Diese Stromnullkomponente beträgt ein Drittel des Sternpunktstroms, d. h. des Stromflusses über den Sternpunkt der elektrischen Maschine.

[0013] Im Allgemeinen, d. h. bei einer beliebigen, mehrphasigen elektrischen Maschine, ist insgesamt eine Anzahl von Strommessstellen über Strommessmittel vorgesehen, die zumindest der Anzahl N der Phasen der elektrischen Maschine entspricht.

[0014] Ferner ist es besonders vorteilhaft, wenn der Inverterregler als eine Regelgröße die flussbildende Stromkomponente hat, als eine Regelgröße die momentenbildende Stromkomponente hat, als eine Regelgröße die Stromnullkomponente hat, als eine Sollgröße eine erste Sollstromgröße für die flussbildende Stromkomponente hat, und als eine Sollgröße eine zweite Sollstromgröße für die momentenbildende Stromkomponente hat, und als eine Sollgröße einen Sternpunktstrom für den Sternpunktstrom hat, und als eine Stellgröße eine erste Statorstellspannung, die der flussbildenden Stromkomponente zugeordnet ist, ausgibt, als eine Stellgröße eine zweite Statorstellspannung, die der momentenbildenden Stromkomponente zugeordnet ist, ausgibt, und als eine Stellgröße eine dritte Statorstellspannung, die der Stromnullkomponente zugeordnet ist, ausgibt.

[0015] Die dritte Statorstellspannung ist aufgrund des Zusammenhangs zwischen der Stromnullkomponente und dem Sternpunktstrom unmittelbar dem Sternpunktstrom zugeordnet. Die dritte Statorstellspannung ist also als die Stellgröße des Sternpunktreglers aufzufassen, die erste und die zweite Statorstellspannung dienen als Stellgrößen des Stromreglers für das Statorsystem.

[0016] Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind der Stromregler und der Sternpunktregler im Wesentlichen als PI-Regler ausgeführt.

[0017] Die Auslegung des Stromreglers und des Sternpunktreglers als robuste PI-Regler ist aufgrund der Regelstrecke, die den Zusammenhang zwischen den Größen der elektrischen Maschine wie Drehzahl, abgenommenes Drehmoment, eingehendes Drehmoment, Winkellage des Rotors relativ zum Stator, Magnetflüsse durch Stator und Rotor sowie Phasenspannungen und Phasenströme beschreibt, ist besonders vorteilhaft.

[0018] Alternativ sind auch Regelkreis mit einer zu PI-Reglern vergleichbaren Dynamik und Genauigkeit bei ebenso geringer Komplexität einsetzbar wie etwa PID-Regler oder Regler mit einer Vorsteuerung.

[0019] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die N-phatische elektrische Maschine als eine 3-phatische elektrische Maschine ausgebildet und es umfasst der Inverter sechs Inverterschalter, die in drei Halbbrücken für die drei Phasen des Statorsystems angeordnet sind, und es schaltet der Inverter in einem Schalttakt nach dem Prinzip der Pulsweitenmodulation die Phasenspannung für jede der Phasen, wobei die erste Statorstellspannung, die zweite Statorstellspannung und die dritte Statorstellspannung durch eine erweiterte inverse Clarke-Park-Transformation in die zu schaltenden Phasenspannungen des Statorsystems transformierbar sind.

[0020] Die zu schaltenden Phasenspannungen werden also durch eine modifizierte inverse Clarke-Park-Transformation ermittelt, wobei die Modifizierung der inversen Clarke-Park-Transformation der Modifizierung der Clarke-Park-Transformation zur erweiterten Clarke-Park-Transformation entspricht. Die erhaltenen Phasenspannungen sind durch den Inverter pulsweitenmoduliert schaltbar, d. h. es wird die Phasenspannung eingestellt durch Schalten der jeweiligen Halbbrückenmitte auf das höhere Potential des ersten Teilbordnetzes für eine bestimmte Schaltzeit durch Öffnen des Inverterschalters zwischen der Halbbrückenmitte und dem niedrigeren Potential des ersten Teilbordnetzes und Schließen des weiteren Schalters der Halbbrücke, wobei das Verhältnis der Schaltzeit zur Taktzeit direkt proportional zur einzustellenden Phasenspannung ist. Somit wird im Zeitmittel eines Taktes die Phasenspannung eingestellt.

[0021] Nach einer weiteren Variante der Erfindung bewirkt die elektrische Maschine bei geschlossenem Sternpunktsschalter und bei einem Sternpunktstrom mit einer Stromrichtung vom Sternpunkt zum zweiten Teilbordnetz einen Transfer elektrischer Leistung von dem ersten Teilbordnetz zu dem zweiten Teilbordnetz.

[0022] Dies bedeutet, dass, wenn der elektrischen Maschine ein Sternpunktsollstrom vorgegeben und eingestellt wird, der einem Stromfluss vom Sternpunkt zum zweiten Teilbordnetz entspricht, die elektrische Maschine als Tiefsetzsteller wirkt.

[0023] Nach einer weiteren Variante der Erfindung bewirkt die elektrische Maschine bei geschlossenem Sternpunktsschalter und bei einem Sternpunktstrom mit einer Stromrichtung vom zweiten Teilbordnetz zum Sternpunkt einen Transfer elektrischer Leistung von dem zweiten Teilbordnetz zu dem ersten Teilbordnetz.

[0024] Dies bedeutet, dass, wenn der elektrischen Maschine ein Sternpunktsollstrom vorgegeben und eingestellt wird, der einem Stromfluss vom zweiten Teilbordnetz zum Sternpunkt entspricht, die elektrische Maschine als Hochsetzsteller wirkt.

[0025] Ferner ist bei geschlossenem Sternpunktsschalter durch die Vorgabe des Sternpunktsollstroms und die Einstellung der Sternpunktstellspannung ein Sternpunktstrom einstellbar ist, der einem Stromfluss vom zweiten Teilbordnetz zum Sternpunkt entspricht oder vom Sternpunkt zum zweiten Teilbordnetz entspricht.

[0026] Somit wirkt die elektrische Maschine als bidirektonaler Leistungssteller. Dies gilt sowohl für drehenden als auch für stehenden Rotor.

[0027] Im Folgenden wird anhand der beigefügten Zeichnung ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben. Daraus ergeben sich weitere Details, bevorzugte Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung. Im Einzelnen zeigt schematisch

[0028] **Fig. 1** Fahrzeug mit zwei Teilbordnetzen, elektrischer Maschine und Sternpunktsschalter

[0029] Die Ausführungsform gemäß **Fig. 1** zeigt exemplarisch eine N-phasige Maschine als eine dreiphasig ausgeführte elektrische Maschine mit einem Rotor und einer einem Statorsystem **(1)**. Die drei Phasen werden als (u, v, w) bezeichnet. Der elektrischen Maschine sind ein Inverter **(2)** und ein Zwischenkreiskondensator **(3)** zugeordnet. Die elektrische Maschine, der Inverter und der Zwischenkreiskondensator sind Bestandteile eines ersten Teilbordnetzes (BN1) eines Fahrzeugs. Dieses Teilbordnetz weist zudem zumindest einen ersten elektrischen Energiespeicher **(3')** auf, der als elektrochemischer Energiespeicher ausgeführt sein kann. Die Ansteuerung der elektrischen Maschine, die sowohl generatorisch als auch elektrisch betreibbar ist, erfolgt über den Inverter nach dem einem Fachmann auf dem Gebiet bekannten Prinzip der feldorientierten Regelung (FOR). Hierzu ist der Inverter bevorzugt als ein Brückenumrichter ausgestaltet, d. h. jeder Phase der elektrischen Maschine ist eine elektrische Halbbrücke des Inverters zugeordnet. Eine Halbbrücke besteht aus einer Reihenschaltung von zwei Schaltern, wobei der dem höheren elektrischen Potential zugeordnete Schalter jeweils als High-Side-Schalter (HS1, HS2, HS3) und die der dem niedrigeren elektrischen Potential zugeordnete Schalter jeweils als Low-Side-Schalter (LS1, LS2, LS3) bezeichnet wird.

[0030] Alternativ zu einem Brückenumrichter kann auch ein Multilevel-Umrichter eingesetzt werden. Ohne Beschränkung dieser Allgemeinheit wird weiterhin von einem Brückenumrichter ausgegangen.

[0031] Das Fahrzeug weist zudem ein zweites Teilbordnetz (BN2) auf, das etwa einen zweiten elektrischen Energiespeicher **(4)** mit einem optionalen Zwischenkreiskondensator **(12)** und elektrische Verbraucher **(13)** umfasst. Es kann das zweite Teilbordnetz verschiedene Ausführungsformen zeigen. Diesen ist gemeinsam, dass das niedrigere Potential des zweiten Teilbordnetzes dem niedrigen Potential des ersten Teilbordnetzes entspricht. Es besteht insbesondere keine elektrische Verbindung zwischen dem höheren Potential des zweiten Teilbordnetzes mit dem höheren Potential des ersten Teilbordnetzes.

[0032] Es ist jedoch der Sternpunkt **(1a)** der elektrischen Maschine mit dem höheren Potential des zweiten Teilbordnetzes dauerhaft elektrisch verbunden oder über einen Schalter, der als Sternpunktsschalter **(5)** bezeichnet wird, elektrisch verbindbar.

[0033] Nach weiteren Ausgestaltungsformen des zweiten Teilbordnetzes umfasst dasselbe einen Stator, der bevorzugt im Stern, alternativ im Dreieck, verschaltet sein kann. Dann ist der Sternpunkt **(1a)** mit dem Stern oder mit dem Dreieck des zweiten Teilbordnetzes verbindbar oder über den Sternpunktsschalter verbunden.

[0034] Es sind die Phasenströme der elektrischen Maschine (I_u, I_v, I_w) messbar. Die gemessenen Phasenströme werden folgender Transformation zugeführt:

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} = 2/3 \cdot \begin{bmatrix} \cos(\beta_{el}) & \cos(\beta_{el} - 120^\circ) & \cos(\beta_{el} + 120^\circ) \\ -\sin(\beta_{el}) & -\sin(\beta_{el} - 120^\circ) & -\sin(\beta_{el} + 120^\circ) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_U \\ I_V \\ I_W \end{bmatrix}, \quad (\text{Gleichung 1})$$

wobei gilt

$$\beta_{el} = \beta_{mech} \cdot Z_p$$

und β_{el} den elektrischen Winkel des Rotors und Z_p die Polpaarzahl der elektrischen Maschine bezeichnet.

[0035] Das Ergebnis der Transformation aus (Gleichung 1) ist ein feldorientierter Stromzeiger (I_d , I_q , I_0), wobei die Komponente I_d einer flussbildenden Komponente und die Komponente I_q einer momentenbildenden Komponente entspricht.

[0036] Bezuglich der Komponenten I_d und I_q entspricht die Transformation einer dem Fachmann bekannten Clarke-Parke-Transformation, d. h. eine 2×2 -Matrix der 3×3 -Matrix aus Gleichung 1 entspricht der Clarke-Parke-Matrix. Diese ist in Gleichung 1 in geschickter Weise auf eine 3×3 -Matrix erweitert, derart, dass die erhaltene Stromnullkomponente (I_0) einem Drittel des Sternpunktstroms (I_{Stern}) entspricht. Die 3×3 -Matrix begründet die so genannte erweiterte Clarke-Park-Transformation.

[0037] Dies bedeutet, dass die Messung der drei Phasenströme über die Transformation aus Gleichung 1 und Verdreifachung der Stromnullkomponente zum Sternpunkt führt, ohne diesen messtechnisch zu erfassen. Bei einer dreiphasigen Maschine und anhand der geschickten Erweiterung der 2×2 -Clarke-Parke-Matrix zu erweiterten 3×3 -Clarke-Parke-Matrix ergibt sich dies aus folgenden Zusammenhängen der elektrischen Maschine: Der Sternstrom ist durch die Summe der Phasenströme gebildet nach:

$$I_{\text{Stern}} = I_U + I_V + I_W$$

[0038] Jeder der Phasenströme ist ein Sinusstrom mit dem Offset I_0 , wobei der Offset über die Phasen gleichverteilt geregelt ist bzw. die Gleichverteilung ein Regelziel ist (Statorstromregler siehe unten):

$$I_{U,V,W} = \hat{I}_{U,V,W} \cdot \sin(\omega t + \varphi) + I_0 \quad (\text{Gleichung 1a})$$

[0039] Der Sternstrom ergibt sich aus der Knotenregel somit zu

$$I_{\text{Stern}} = [\hat{I}_U \cdot \sin(\omega t + 0^\circ) + I_0] + [\hat{I}_V \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) + I_0] + [\hat{I}_W \cdot \sin(\omega t + 120^\circ) + I_0]$$

[0040] Die Summe der drei um jeweils 120° versetzten Sinusströmen (dem Statoraufbau der 3-phasischen Maschine entsprechend) gleicher Amplitude ergibt sich zu Null. Die Gleichheit der Amplituden $\hat{I}_{U,V,W}$ ist ebenfalls ein Regelziel bei der feldorientierten Regelung und ein zentrales Element für die Symmetrie des Statorsystems. Somit vereinfacht sich I_{Stern} zu:

$$I_{\text{Stern}} = 3 \cdot I_0$$

[0041] Die Clarke-Park-Transformation aus Gleichung 1 wiederum führt zu:

$$I_0 = 2/3 \cdot [1/2 \quad 1/2 \quad 1/2] \cdot \begin{bmatrix} I_U \\ I_V \\ I_W \end{bmatrix},$$

was durch Einsetzen der Gleichung 1a führt zu:

$$I_0 = 2/3 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (\hat{I}_U \cdot \sin(\omega t + 0^\circ) + I_0) + \frac{1}{2} \cdot (\hat{I}_V \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) + I_0) + 1/2 \cdot (\hat{I}_W \cdot \sin(\omega t + 120^\circ) + I_0) \right]$$

[0042] Trigonometrisches Umformen resultiert in $I_0 = \frac{2}{3} \left[\frac{1}{2} \cdot I_0 + \frac{1}{2} \cdot I_0 + \frac{1}{2} \cdot I_0 \right] = \frac{2}{3} \cdot \frac{3}{2} \cdot I_0 = I_0$, wodurch gezeigt ist, dass die Ermittlung der Stromnullkomponente durch Gleichung 1 einer Messung des Sternpunktstroms entspricht.

[0043] Die Randbedingung der Clarke-Park-Transformation ist üblicherweise $I_{\text{Stern}} = 0 \text{ A}$. Für die erweiterte Clarke-Park-Transformation gilt also: $1/3 \cdot I_{\text{Stern}} = 1/3 \cdot (I_u + I_v + I_w) = I_0$.

[0044] Der zusätzliche Freiheitsgrad durch die erweiterte Clarke-Park-Transformation im Vergleich zur Clarke-Park-Transformation wird weiterhin in geschickter Weise genutzt.

[0045] Der elektrischen Maschine ist ein Regler zugeordnet, der Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen sowie Sollgrößen aufweist. Wie bei einer dem Fachmann bekannten feldorientierten Regelung fungieren als Sollgrößen für die elektrische Maschine ein flussbildender Sollstrom (I_d^*) und ein momentenbildender Sollstrom (I_q^*). Die Vorgabe dieser Sollgrößen ergibt sich aus einer Betriebsstrategie der elektrischen Maschine und folgt im Wesentlichen aus einer Drehmomentanforderung an die elektrische Maschine. Dies ist nicht Gegenstand des vorliegenden Dokuments.

[0046] Als den Sollgrößen (I_d^*) und (I_q^*) entsprechende Regelgrößen dienen der flussbildende Strom (I_d) und der momentenbildende Strom (I_q). Der Regler gibt als Stellgrößen eine erste Statorstellspannung (U_d) und eine zweite Statorstellspannung (U_q) aus. Der Teil des Reglers, der die erste und die zweite Statorstellspannung ausgibt, wird als Statorstromregler bezeichnet.

[0047] Der Statorstromregler ist um einen zusätzlichen Regler erweitert, der als Sternpunktregler bezeichnet wird. Als Sollgröße dient ein Sternpunktssollstrom (I_{Stern}^*), wobei der Sternpunktstrom (I_{Stern}) als eine Regelgröße dient. Dazu gibt der Sternpunktregler als weitere Stellgröße des Systems eine dritte Statorstellspannung (U_0) aus.

[0048] Dadurch ist ein wesentlicher Vorteil des Systems aus **Fig. 1** begründet, da über die Verbindung des Sternpunktes **(1a)** mit dem zweiten Teilbordnetz ein gezielter Sternpunktstrom vom Sternpunkt zum zweiten Teilbordnetz oder vom zweiten Teilbordnetz zum Sternpunkt einstellbar ist. Der Freiheitsgrad des Systems aus **Fig. 1**, der sich durch die elektrische Verbindung des Sternpunkts **(1a)** mit dem zweiten Teilbordnetz im Vergleich zu einem elektrisch isolierten Statorsystem ergibt, wird bei der Regelung der elektrischen Maschine durch die Erweiterung der Clarke-Park-Matrix und die Einführung der Stromnullkomponente berücksichtigt.

[0049] In der Regelstrecke wird der zusätzliche Freiheitsgrad berücksichtigt, dadurch, dass neben dem Statorstromregler aus der dem Fachmann bekannten FOR der zusätzliche Sternpunktregler mit einer Sollgröße für den Sternpunktstrom implementiert ist.

[0050] Die von dem Statorstromregler und dem Sternpunktregler erhaltenen rotorfesten Stellspannungen U_d , U_q und U_0 werden über eine inverse Transformation in die statorfesten Spannungsgrößen U_u , U_v und U_w für jede Phase überführt, die über den Inverter **(2)** an der elektrischen Maschine in dem jeweiligen Takt einstellbar sind.

[0051] Die inverse Transformation wird als erweiterte inverse Clarke-Park-Transformation bezeichnet und transformiert die erhaltenen Stellspannungen gemäß der Vorschrift:

$$\begin{bmatrix} U_u \\ U_v \\ U_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta_{el}) & -\sin(\beta_{el}) & 1 \\ \cos(\beta_{el} - 120^\circ) & -\sin(\beta_{el} - 120^\circ) & 1 \\ \cos(\beta_{el} + 120^\circ) & -\sin(\beta_{el} + 120^\circ) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \\ U_0 \end{bmatrix} \quad (\text{Gleichung 2})$$

[0052] Dies bedeutet, dass die inverse Clarke-Park-Transformation, die in dem jeweiligen Takt zu stellenden Phasenspannungen angibt.

[0053] Die 3×3 -Matrix aus Gleichung 2 ist die zur 3×3 -Matrix aus Gleichung 1 inversen Transformationsmatrix.

[0054] Die aus Gleichung 2 erhaltenen statorfesten Spannungsgrößen können über den Inverter **(2)** durch Aufschaltung der Spannung U_{Zk} des Zwischenkreises **(3)** mit einem dem Fachmann bekannten Verfahren, z. B. mit dem Verfahren der Pulsweitenmodulation durch Einstellung entsprechender Schaltzeiten des High-Side-Schalters und des Low-Side-Schalters der jeweiligen zur Phase gehörigen Halbbrücke, eingestellt werden.

[0055] Auf diese Weise wird ermöglicht, einen durch die Sollgröße I_{Stern}^* vorgegebenen Sternpunktstrom der elektrischen Maschine einzustellen. Dies gilt unabhängig davon, ob die elektrische Maschine in einem generatorischen oder motorischen Betriebszustand oder im Stillstand oder Leerlauf befindlich ist. Die gezielte Einstellung des Sternpunktstroms wirkt sich im Fahrzeug, z. B. bei einer Nennspannungslage des ersten Teilb-

ordnetzes von 48 Volt und bei einer Nennspannungslage des zweiten Teilbordnetzes von 12 Volt, besonders vorteilhaft aus: Das 12-Volt Teilbordnetz ist über den Sternpunktstrom mit elektrischer Leistung versorgbar. Dies macht einen separaten Generator im 12 Volt-Teilbordnetz verzichtbar. Vor allem ist jedoch kein Gleichstromsteller zum Leistungstransfer zwischen den beiden Teilbordnetzen notwendig. Über die Richtung des Sternpunktstroms ist elektrische Leistung bidirektional zwischen den beiden Teilbordnetzen transferierbar. Mit anderen Worten übernimmt die elektrische Maschine die Funktion eines Gleichstromstellers bei äußerst geringem Bauteileinsatz. Dies spart Gewicht, Kosten und Bauraum. Ferner sind die beiden Teilbordnetze über die Einstellung des Sternpunktstroms gegenseitig stützbar, d. h. durch den einstellbaren Sternpunktstrom ist eine Spannungsstabilisierung erreichbar. Die Verteilung von Energieflüssen im Fahrzeug ist zudem sehr variabel umsetzbar, z. B. beim Rekuperieren. Falls etwa keine Rekuperationsleistung von dem 48 Volt-Teilbordnetz aufnehmbar ist, kann diese in das 12 Volt-Bordnetz umgeleitet werden. Dadurch ist das Rekuperationspotential erhöht.

[0056] Nach einer weiteren Ausführungsform ist für die Regelung durch den Statorstromregler und den Sternpunktregler ein anderes Bezugssystem wählbar, indem z. B. statt der Messung der drei Phasenströme (I_u , I_v , I_w) eine beliebige Auswahl von zwei Phasenströmen und zusätzlich dem Sternpunktstrom I_{Stern} gemessen wird. Die Transformation in für den Regelaufwand möglichst geeignete Größen erfolgt dann über eine entsprechend modifizierte Clarke-Park-Transformation und über eine entsprechend modifizierte erweiterte inverse Clarke-Park-Transformation.

[0057] Ebenso ist eine entsprechende Anpassung der Gleichung 1 und der Gleichung 2 in analoger Weise notwendig, wenn die elektrische Maschine eine andere Phasenzahl als $N = 3$ wie im ersten Ausführungsbeispiel aufweist. Bei einer 5-phasigen Maschine mit $N = 5$ werden fünf Strommessungen (z. B. Messung der fünf Phasenströme) vorgenommen und die Matrix für die Clarke-Park-Transformation und die Matrix für die inverse Clarke-Park-Transformation sind jeweils als 5×5 -Matrix ausgebildet.

[0058] Bei den gezeigten Ausführungsformen ist der Inverter ein Bestandteil einer leistungselektronischen Einheit, die den Statorstromregler, den Sternpunktregler und Strommessmittel für die Phasenstrommessung umfasst. Die Phasenstrommessung kann beispielsweise über Hall-Sensoren oder Shuntwiderstände erfolgen. Eine folgende Wandlung der analogen Messsignale in digital weiterverarbeitbare Signale erfolgt bevorzugt durch A/D-Wandlung in einem Mikrocontroller der leistungselektronischen Einheit. Der Statorstromregler und der Sternpunktregler sind als bevorzugt in Form eines Mikrocontrollers oder eines FPGA implementiert.

[0059] Nach den beschriebenen Ausführungsformen ist der Sternpunkt der elektrischen Maschine optional über den Sternpunktenschalter angebunden. Dies ist besonders vorteilhaft. Bei einer dauerhaften, feststehenden Verbindung des Sternpunktes mit dem zweiten Teilbordnetz und bei geregeltem Sternpunktstrom erreicht die elektrische Maschine früher, d. h. bei geringerer Drehzahl den sogenannten Feldschwächungsbereich. Das frühere Einsetzen der Feldschwächung führt dazu, dass bei einer bestimmten Drehzahl die Maschine ein geringeres Drehmoment abzugeben in der Lage ist als bei nicht elektrischen verbundenem Sternpunkt. Ein Öffnen des Sternpunktorschalters unterbindet den Sternpunktstrom und erhöht das bei der bestimmten Drehzahl entnehmbare Drehmoment.

[0060] Bei einer elektrischen Maschine mit einem nicht elektrisch angebundenen Sternpunkt, d. h. bei einer konventionell über die Raumzeigermodulation betriebenen elektrischen Maschine werden die Nullvektoren gleichverteilt und es ist möglich die Spannung der jeweiligen Phase bei einem maximalen Wert

$$\frac{U_{Zk}}{\sqrt{3}}$$

zu betreiben. Die Spannung am Sternpunkt schwankt dann um den Wert $U_{Zk}/2$. Gleichverteilte Nullvektoren bei der FOR sind dem Fachmann bekannt und bedeuten, dass die Nullzeiten, d. h. Zeiten, zu denen entweder alle Phasen auf das höhere Potential oder alle Phasen auf das niedrigere Potential geschaltet sind, in einem Schaltakt möglichst symmetrisch verteilt sind.

[0061] Falls nun der Sternpunkt dauerhaft mit dem zweiten Bordnetz verbunden ist, so schwankt die Sternpunktspannung um den Spannungswert $U_{Bn}/2$, wobei die Spannung U_{Bn} den Spannungswert des Zwischenkreises (12) beschreibt. Dies hat den Nachteil, dass die Drehzahl (die sogenannte Nenndrehzahl), ab welcher in Richtung höherer Drehzahlen die Feldschwächung beginnt, in Richtung kleinerer Drehzahl sinkt. Somit kann die elektrische Maschine in Bezug auf das entnehmbare Drehmoment nicht optimal ausgenutzt werden. Die

Nullzeiten können nicht frei verteilt werden. Es folgte eine Reduzierung der maximalen Phasenspannung und somit der Verschiebung der Nenndrehzahl zu kleineren Maschinendrehzahlen.

[0062] Das Öffnen des Sternpunktschalters unterbindet die Verschiebung der Nenndrehzahl zu kleineren Maschinendrehzahlen und somit die Erniedrigung der der Maschine entnehmbaren mechanischen Leistung.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 10244229 A1 [0003]

Patentansprüche

1. Fahrzeug mit einer N-phasigen elektrischen Maschine, mit einem ersten Teilbordnetz (BN1) und mit einem zweiten Teilbordnetz (BN2), wobei die elektrische Maschine einen Rotor und ein Statorsystem (1) umfasst, das erste Teilbordnetz einen Inverter (2) umfasst, das Statorsystem dem Inverter zugeordnet ist, und die elektrische Maschine mit einem Inverterregler nach dem Prinzip einer feldorientierten Regelung betreibbar ist,
dadurch gekennzeichnet, dass

- das Statorsystem in einer Sternschaltung ausgeführt ist,
- der Sternpunkt mit dem zweiten Teilbordnetz verbunden ist oder mit dem zweiten Teilbordnetz über einen Sternpunktsschalter (5) verbindbar ist,
- der Inverterregler einen Stromregler und einen Sternpunktregler umfasst,
- der Stromregler Phasenströme des Statorsystems regelt, und
- der Sternpunktregler einen Sternpunktstrom regelt.

2. Fahrzeug nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Fahrzeug Messmittel zur Messung einer Anzahl von zumindest N-1 Phasenströmen und dem Sternpunktstrom umfasst oder das Fahrzeug Messmittel zur Messung einer Anzahl von zumindest N Phasenströmen umfasst, und
- das Fahrzeug eine Steuereinheit aufweist, die den Inverterregler umfasst.

3. Fahrzeug nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Messmittel N Ströme (I_u , I_v , I_w) der elektrischen Maschine misst, und
- die Steuereinheit die gemessenen Ströme (I_u , I_v , I_w) über eine erweiterte Clarke-Park-Transformation in einen feldorientierten Stromzeiger (I_d , I_q , I_0) mit einer flussbildenden Komponente (I_d), mit einer momentenbildenden Komponente (I_q) und mit einer Stromnullkomponente (I_0) transformiert, wobei der Sternpunktstrom (I_{Stern}) das Dreifache der Stromnullkomponente ist.

4. Fahrzeug nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der Inverterregler als eine Regelgröße die flussbildende Komponente hat,
- der Inverterregler als eine Regelgröße die momentenbildende Komponente hat,
- der Inverterregler als eine Regelgröße die Stromnullkomponente hat,
- der Inverterregler als eine Sollgröße eine erste Sollstromgröße (I_d^*) für die flussbildende Komponente hat,
- der Inverterregler als eine Sollgröße eine zweite Sollstromgröße (I_q^*) für die momentenbildende Komponente hat,
- der Inverterregler als eine Sollgröße einen Sternpunktssollstrom hat (I_{Stern}^*),
- der Inverterregler als eine Stellgröße eine erste Statorstellspannung (U_d^*) ausgibt,
- der Inverterregler als eine Stellgröße eine zweite Statorstellspannung (U_q^*) ausgibt, und
- der Inverterregler als eine Stellgröße eine dritte Statorstellspannung (U_0^*) ausgibt.

5. Fahrzeug nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der Stromregler und der Sternpunktregler im Wesentlichen als PI-Regler ausgeführt sind.

6. Fahrzeug nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die N-phasige elektrische Maschine als eine 3-phasige elektrische Maschine ausgebildet ist,
- der Inverter sechs Inverterschalter (HS1, HS2, HS3, LS1, LS2, LS3) umfasst,
- die sechs Inverterschalter in drei Halbbrücken für die drei Phasen des Statorsystems angeordnet sind,
- die erste Statorstellspannung, die zweite Statorstellspannung und die dritte Statorstellspannung durch eine erweiterte inverse Clarke-Park-Transformation in Phasenspannungen (U_u , U_v , U_w) des Statorsystems transformierbar sind, und
- der Inverter in einem Schalttakt nach dem Prinzip der Pulsweitenmodulation die Phasenspannung für jede der Phasen schaltet.

7. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 2 bis 6,

dadurch gekennzeichnet, dass bei geschlossenem Sternpunktsschalter die elektrische Maschine

– bei einem Sternpunktstrom (I_{Stern}) mit einer Stromrichtung vom Sternpunkt zum zweiten Teilbordnetz elektrische Leistung von dem ersten Teilbordnetz zu dem zweiten Teilbordnetz transferiert und als Tiefsetzsteller wirkt.

8. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 2 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass bei geschlossenem Sternpunktschalter die elektrische Maschine
– bei einem Sternpunktstrom (I_{Stern}) mit einer Stromrichtung vom zweiten Teilbordnetz zum Sternpunkt elektrische Leistung von dem zweiten Teilbordnetz zu dem ersten Teilbordnetz transferiert und als Hochsetzsteller wirkt.

9. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 4 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
– durch die Vorgabe des Sternpunktsollstroms und die Einstellung der Sternpunktstellspannung ein Sternpunktstrom (I_{Stern}) einstellbar ist, und
– die elektrische Maschine bei geschlossenem Sternpunktschalter als unidirektonaler oder als bidirektonaler Leistungssteller wirkt.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

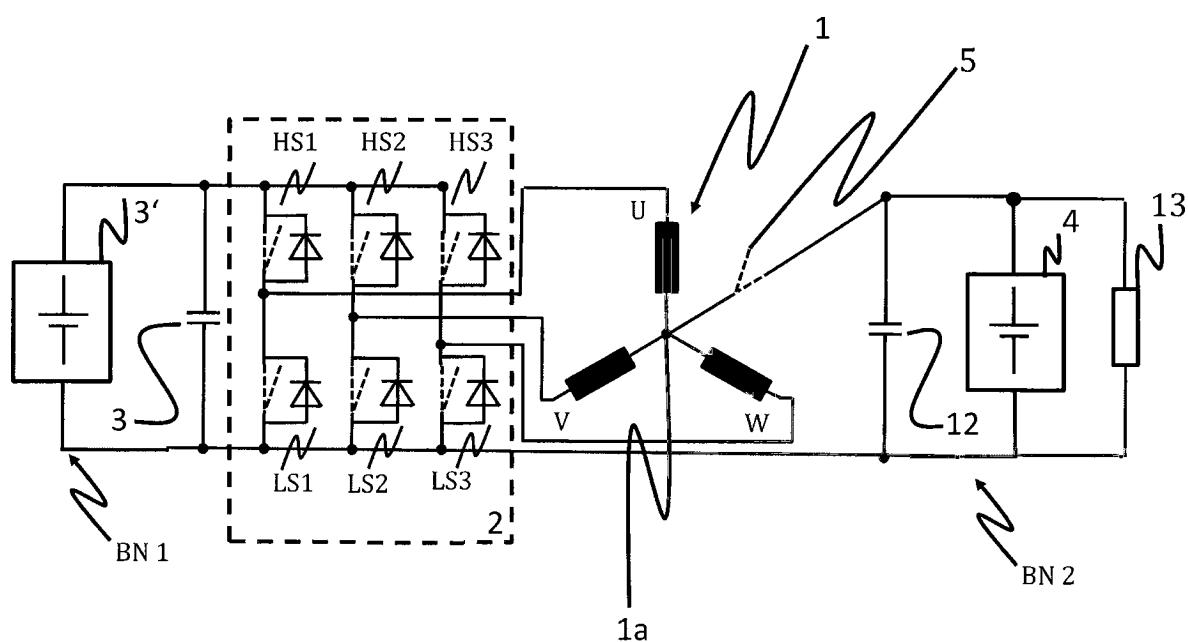


Fig. 1