



(10) **AT 518721 A1 2017-12-15**

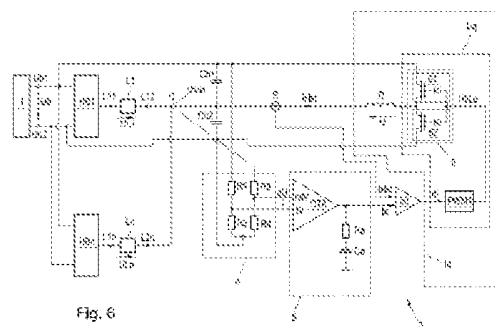
(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer:	A 50476/2016	(51) Int. Cl.:	H02P 7/02	(2016.01)
(22) Anmeldetag:	25.05.2016		H02P 7/292	(2016.01)
(43) Veröffentlicht am:	15.12.2017		H02P 6/28	(2016.01)
			H02M 3/156	(2006.01)
			H02M 7/219	(2006.01)
			G05F 1/575	(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen: US 5661382 A US 2005189891 A1 US 2009121665 A1 US 6362608 B1 US 2004008011 A1 US 4454457 A US 2006108955 A1	(71) Patentanmelder: BERNECKER + RAINER INDUSTRIE- ELEKTRONIK GES.M.B.H 5142 EGGELSBERG (AT) (72) Erfinder: Faschang Leopold Dipl.Ing. 5142 Eggelsberg (AT) Klappauf Christof 83404 Ainring (DE) (74) Vertreter: Patentanwälte Pinter & Weiss OG 1040 Wien (AT)
---	---

(54) **Steuerung von Langstatorlinearmotor-Spulen eines Langstatorlinearmotor-Stators**

(57) Um ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ansteuern der n LLM-Spulen ($L1, \dots, Ln$) eines LLM-Stators anzugeben, die es erlaubt mit geringerem Aufwand und in schaltungstechnisch einfache Weise die Polarität der Spulenspannung ($UL1, \dots, ULn$) der n LLM-Spulen ($L1, \dots, Ln$) zu wechseln, wird vorgeschlagen ein erstes Betriebspotential ($Ub1$) an n erste Eingangsanschlüsse ($A1, \dots, An$) von n Halbbrücken ($HB1, \dots, HBn$) anzulegen, ein zweites Betriebspotential ($Ub2$) an n zweite Eingangsanschlüsse ($B1, \dots, Bn$) der n Halbbrücken anzulegen. Je Halbbrücke ($HB1, \dots, HBn$) wird ein erster Schalter ($S11, \dots, S1n$) zwischen einem Mittelpunkt ($C1, \dots, Cn$) der jeweiligen Halbbrücke ($HB1, \dots, HBn$) und dem ersten Eingangsanschluss ($A1, \dots, An$) geschaltet und je ein zweiter Schalter ($S21, \dots, S2n$) zwischen dem Mittelpunkt ($C1, \dots, Cn$) der betreffenden Halbbrücke ($HB1, \dots, HBn$) und dem zweiten Eingangsanschluss ($B1, \dots, Bn$) geschaltet. Der Mittelpunkt ($C1, \dots, Cn$) der n Halbbrücken wird jeweils mit n ersten Anschlüssen ($L11, \dots, L1n$) der n LLM-Spulen ($L1, \dots, Ln$) verbunden, die zweiten Anschlüsse ($L11, \dots, L1n$) der n LLM-Spulen ($L1, \dots, Ln$) werden in einem Regelungspunkt (C) verbunden, der auf ein vorgegebenes Potential (Ux) geregelt wird.



Zusammenfassung

Um ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ansteuern der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) eines LLM-Stators anzugeben, die es erlaubt mit geringerem Aufwand und in schaltungstechnisch einfache Weise die Polarität der Spulenspannung ($U_{L1}, \dots, U_{Ln}$) der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) zu wechseln, wird vorgeschlagen ein erstes Betriebspotential (U_{b1}) an n erste Eingangsanschlüsse ($A_1, \dots, A_n$) von n Halbbrücken ($HB_1, \dots, HB_n$) anzulegen, ein zweites Betriebspotential (U_{b2}) an n zweite Eingangsanschlüsse ($B_1, \dots, B_n$) der n Halbbrücken anzulegen. Je Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) wird ein erster Schalter ($S_{11}, \dots, S_{1n}$) zwischen einem Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der jeweiligen Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) und dem ersten Eingangsanschluss ($A_1, \dots, A_n$) geschaltet und je ein zweiter Schalter ($S_{21}, \dots, S_{2n}$) zwischen dem Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der betreffenden Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) und dem zweiten Eingangsanschluss ($B_1, \dots, B_n$) geschaltet. Der Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der n Halbbrücken wird jeweils mit n ersten Anschlüssen ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) verbunden, die zweiten Anschlüsse ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) werden in einem Regelungspunkt (C) verbunden, der auf ein vorgegebenes Potential (U_x) geregelt wird.

Fig. 6

Steuerung von Langstatorlinearmotor-Spulen eines Langstatorlinearmotor-Stators

Die gegenständliche Erfindung behandelt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ansteuern von einer Mehrzahl LLM-Spulen eines LLM Stators.

Ein Stator eines Langstatorlinearmotors (LLM) besteht aus einer Vielzahl von nebeneinander angeordneten LLM-Spulen, die zusammen den Stator des LLM bilden. Diese LLM-Spulen werden einzeln oder in Gruppen angesteuert, wobei es im Betrieb des Langstatorlinearmotors oftmals auch erwünscht oder notwendig ist die Polarität, d.h. die Stromrichtung der LLM-Spulen zu ändern. Durch das Ansteuern der LLM-Spulen wird ein bewegtes Magnetfeld erzeugt, das mit Erregungsmagneten (in der Regel Permanentmagnete) an einer Transporteinheit des LLM zusammenwirkt, um die Transporteinheit entlang des Stators zu bewegen. Der grundsätzliche Aufbau und die Funktion eines LLM ist dabei hinlänglich bekannt, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird. Zum Bestromen der LLM-Spulen zur Erzeugung des Magnetfeldes wird eine Betriebsspannung zwischen einem ersten Betriebspotential und einem zweiten Betriebspotential zur Verfügung gestellt.

Eine Möglichkeit LLM-Spulen anzusteuern und eine Änderung der Polarität der Spulenspannung zu gewährleisten, wäre die Verwendung einer Vollbrücke, wie sie in der US 2006/0220623 A1 offenbart ist. Die Betriebsspannung wird dabei jeweils an den ersten und zweiten Zweig der Vollbrücke angelegt, die LLM-Spule wird in den Quersweig der Vollbrücke geschaltet. Durch geeignete Ansteuerung der vier Schalter (Bipolar-Transistoren, MOSFETs, IGBTs, etc.) der Vollbrücke kann an die LLM-Spulen eine gewünschte, bzw. durch eine Spulenregelung vorgegebene, Spulenspannung in gewünschter Polarität und Höhe an die LLM-Spulen angelegt werden. Um die LLM-Spulen einzeln ansteuern zu können, muss jede LLM-Spule mit einer Vollbrücke versehen werden. Dies bedeutet jedoch, dass pro LLM-Spule vier Schalter benötigt werden. Bei einer naturgemäß hohen Anzahl an LLM-Spulen eines LLM-Stators entstehen somit hohe Kosten und ein hoher schaltungstechnischer Aufwand durch die hohe Anzahl an Schaltern.

Es ist Aufgabe der gegenständlichen Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ansteuern der LLM-Spulen eines LLM-Stators anzugeben, die mit geringerem Aufwand und schaltungstechnisch einfacher realisierbar sind und wobei auch die Polarität der Spulenspannung der LLM-Spulen wechselbar sein soll.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst, indem ein erstes Betriebspotential an die n ersten Eingangsanschlüsse von n Halbbrücken angelegt wird, ein zweites Betriebspotential an die n zweiten Eingangsanschlüsse der n Halbbrücken angelegt wird, je Halbbrücke ein erster Schalter zwischen einem Mittelpunkt der jeweiligen Halbbrücke und dem ersten Eingangsanschluss geschaltet wird und je ein zweiter Schalter zwischen dem Mittelpunkt der betreffenden Halbbrücke und dem zweiten Eingangsanschluss geschaltet wird. Der Mittel-

punkt der n Halbbrücken wird jeweils mit n ersten Anschlüssen der n LLM-Spulen verbunden. Die zweiten Anschlüsse der n LLM-Spulen werden zu einem Regelungspunkt verbunden und durch eine Regelungseinheit ein Istpotential an den Regelungspunkt auf ein vorgegebenes Potential geregelt. Durch Schließen der n ersten Schalter und Öffnen der n zweiten Schalter der n Halbbrücken wird jeweils eine Spulenspannung erster Polarität an die n LLM-Spulen bzw. durch Öffnen der n ersten Schalter und Schließen der n zweiten Schalter der n Halbbrücken jeweils eine Spulenspannung zweiter Polarität an die n LLM-Spulen angelegt. Das Verbinden der n ersten bzw. n zweiten Anschlüsse der n LLM-Spulen mit dem Mittelpunkt der n Halbbrücken bzw. dem Regelungspunkt muss natürlich nicht direkt, d.h. ohne weitere elektrische Bauteile, insbesondere passive Bauteile, zwischen den einzelnen Elementen erfolgen. Vorstellbar sind z.B. zusätzliche Drosseln als Filterelemente, und insbesondere Shunts zur Messung von Strömen durch die LLM-Spulen. Es werden pro LLM-Spule also lediglich zwei Schalter benötigt, was also einer Ersparnis an $2 \cdot n$ entspricht. Es ist jedoch zu beachten, dass eine größere Differenz zwischen erstem Betriebspotential und zweitem Betriebspotential, d.h. eine größere Betriebsspannung, benötigt wird, als bei einer Vollbrückensteuerung.

Vorteilhafterweise entspricht das vorgegebene Potential der halben Betriebsspannung und/oder ist das zweite Betriebspotential Null. Bei einer beispielhaft angenommenen Betriebsspannung von 60 V würde sich beim erfindungsgemäßen Verfahren somit ein vorgegebenes Potential, und damit eine Spulenspannung von plusminus 30 V ergeben, wogegen eine Vollbrückensteuerung immer die gesamte Betriebsspannung (hier angenommene 60 V) positiv oder negativ an die LLM-Spule anlegt.

Vorteilhafterweise vergleicht eine Vergleichseinheit das Istpotential im Regelungspunkt C mit dem vorgegebenen Potential woraufhin die Regelungseinheit basierend auf einer Spannungsdifferenz zwischen Istpotential und vorgegebenem Potential einen Strom, z.B. mittels einer Stromquelle, in den Regelungspunkt eingespeist um die Potentialdifferenz auf Null zu regeln. Die zweiten Anschlüsse der n LLM-Spulen werden miteinander verbunden, womit nur ein Istpotential eingestellt werden muss. Damit ist nur eine Regelungseinheit für alle LLM-Spulen notwendig.

Die Stromquelle kann eine Drossel und eine Spannungsquelle beinhalten, wobei die Drossel mit dem Regelungspunkt verbunden ist und den Strom über eine von der Spannungsquelle an der Drossel erzeugte Spannung erzeugt.

Die Spannungsquelle wiederum kann ein PWM-Modul und eine Treiberhalbbrücke beinhalten, wobei das PWM-Modul die Treiberbrücke abhängig vom Differenzpotential regelt. Gerade für diese ist die Verwendung einer Drossel vorteilhaft, da diese eine von der Spannungsquelle gelieferte Spannung integriert und damit einen geglätteten Strom liefert. PWM-Module

schalten Treiberhalbbrücken bekanntermaßen derart, dass Rechteckspannungen entstehen, die von der Drossel zu Dreiecksströmen gewandelt werden, und dabei entstandene Spannungsspitzen filtern.

Ganz besonders vorteilhaft ist eine Fertigung der Treiberhalbbrücke mit GaN-Schaltern.

- 5 GaN-Schalter lassen eine sehr hohe Schaltfrequenz zu, womit die Baugröße der Drossel verringert werden kann.

- Die Vergleichseinheit kann beispielsweise ein Widerstandsnetzwerk beinhalten, das mit dem ersten Betriebspotential, dem zweiten Betriebspotential und dem Regelungspunkt verbunden ist und aus dem ersten Betriebspotential, dem zweiten Betriebspotential und dem Istpotential am Regelungspunkt die Potentialdifferenz ermittelt. Ein derartiges Widerstandsnetzwerk erlaubt eine sehr einfache Ermittlung der Potentialdifferenz unter Verwendung von vier Widerständen.
- 10

- Es kann zudem eine Umwandlungseinheit, die mit der Vergleichseinheit verbunden ist und das Differenzpotential in einen vorgegebenen Strom wandelt, ein Sensor, der den Iststrom im Regelungspunkt misst und ein Stromregler, der eingangsseitig mit der Umwandlungseinheit und dem Stromsensor verbunden ist, ausgangsseitig mit der Stromquelle verbunden ist, den vorgegebenen Strom von der Vergleichseinheit und den Iststrom vom Sensor erhält, einen Differenzstrom ermittelt und damit die Stromquelle regelt, vorhanden sein. Vorteilhafterweise ist die Umwandlungseinheit als PI-Regler, vorzugsweise als Transkonduktanzverstärker (Operational Transconductance Amplifier oder OTA) mit ausgangsseitigem RC-Glied gegen Masse ausgestaltet. Der ermittelte vorgegebene Strom dient als Referenz für den Stromregler, welcher vom Sensor auch den Iststrom erhält. Gibt es eine Abweichung zwischen dem vorgegebenen Strom und dem Iststrom, wird die Stromquelle angesteuert. So wird beispielsweise das PWM-Modul angesteuert, welcher der Treiberhalbbrücke die Schaltbefehle liefert womit der Differenzstrom zwischen dem vorgegebenen Strom und dem Iststrom wieder ausgeglichen wird. Damit wird wiederum das Differenzpotential ausgeglichen und das Istpotential auf das vorgegebene Potential geregelt.
- 15
- 20
- 25

- Der Iststrom kann als um $360^\circ/m$ phasenverschobene m Phasenströme in den Regelungspunkt eingespeist werden, wobei $m > 1$. Hierzu können m Stromquellen, die die m Phasenströme liefern mit dem Regelungspunkt verbunden sein. Dies kann beispielsweise erfolgen, indem m Stromregler m PWM-Module phasenversetzt ansteuern, die wiederum m Treiberhalbbrücken phasenversetzt ansteuern, die die Phasenströme phasenversetzt jeweils über eine Drossel (also insgesamt m Drosseln) in den Regelungspunkt einprägen. Falls als Stromquellen mehrere identische Halbbrücken samt Drossel dienen, ist es ausreichend, den Iststrom nur bei einer Halbbrücke zu messen und diesen den m Stromreglern zuzuführen.
- 30
- 35

Wenn das Einprägen des Iststroms in $m > 1$ Phasen erfolgt, so ist es auch möglich die m Phasenströme abhängig von dem Differenzstrom teilweise oder zur Gänze abgeschaltet werden. So ist beispielsweise ein Lückbetrieb realisierbar. Sind der Differenzstrom und auch die Potentialdifferenz Null, so können alle Phasen deaktiviert werden, womit kein Iststrom in den Regelungspunkt eingespeist wird. Dadurch werden die Schaltverluste der Treiberhalbbrücken bei geringen Strömen vermieden. Auch kann bei geringem Differenzstrom nur eine Anzahl Phasen einen Phasenstrom liefern und bei Überschreiten bzw. Unterschreiten einer Differenzstromschwelle ein weiterer Phasenstrom dazu oder weg geschaltet werden.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 9 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1 eine Transporteinrichtung in Form eines Langstatorlinearmotors,

Fig.2 eine Vollbrückensteuerung einer LLM-Spule

Fig.3 eine erfindungsgemäße Halbbrückensteuerung einer LLM-Spule

Fig.4 eine Ansteuerung von n LLM-Spulen mit n Halbbrücken

Fig.5 eine Ansteuerung mit einer Ausgestaltung der Regelungseinheit

Fig.6 eine detaillierte Ausgestaltung der Regelungseinheit

Fig.7 eine Regelungseinheit mit dreiphasiger Stromregelung

Fig.8a, b eine Regelung mittels drei Phasenströmen

Fig.9 den Iststrom abhängig von Ab- und An-Anschaltung von Phasenströmen

In Fig.1 ist eine Transporteinrichtung in Form eines Langstatorlinearmotors (LLM) beispielhaft dargestellt. Die Transporteinrichtung besteht hier nur aus einem Transportabschnitt, natürlich sind in der Praxis mehrere Transportabschnitte, auch nicht in sich geschlossene Bahnen bildende, die zur Transporteinrichtung zusammengestellt sind, möglich. Die Transporteinrichtung ist als LLM ausgeführt, bei dem ein Transportabschnitt in an sich bekannter Weise jeweils einen Teil eines Langstators eines LLM ausbildet. Ein Transportabschnitt kann dabei in bekannter Weise auch noch weiter unterteilt sein, beispielsweise in eine Anzahl von einzelnen Transportsegmenten in Form von Spulenbaugruppen mit einer Mehrzahl von LLM-Spulen. Entlang des Transportabschnitts ist daher in Längsrichtung in bekannter Weise eine Vielzahl von elektrischen LLM-Spulen $L_1, \dots, L_n$ angeordnet, die mit Erregungsmagneten $Y_1, \dots, Y_n$ an den Transporteinheiten $Z_1 \dots Z_x$ zusammenwirken. In ebenso bekannter Weise wird mittels Spulenregelungseinheiten 101, 10n durch Kontrolle der Spulenspannungen $U_{L1}, \dots, U_{Ln}$, der einzelnen LLM-Spulen $L_1, \dots, L_n$ für jede der Transporteinheiten $Z_1 \dots Z_x$ unabhängig eine Vortriebskraft erzeugt, die die Transporteinheiten $Z_1 \dots Z_x$ in Längsrichtung

entlang des Transportabschnitts entlang der Transportstrecke, bewegt. In der Regel wirken auf eine Transporteinheit $Z1 \dots Zx$ gleichzeitig mehrere LLM-Spulen $L1, \dots, Ln$, die gemeinsam die Vortriebskraft erzeugen. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind in Fig. 1 nur einige LLM-Spulen $L1, \dots, Ln$ und nur zwei Spulenregelungseinheiten 101, 10n eingezeichnet. Natürlich wird jede Spulenspannung $UL1, \dots, ULn$ jeder LLM-Spule $L1, \dots, Ln$ mit einer Spulenregelungseinheit 101, 10n geregelt, wobei mehrere Spulenregelungseinheit 101, 10n auch in einer Einheit integriert sein können. Jede der Transporteinheiten $Z1 \dots Zx$ kann dabei mittels einer den Spulenregelungseinheiten 101, 10n übergeordneten Transportsteuerung 100 individuell (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bahn, Richtung) und unabhängig (bis auf die Vermeidung von möglichen Kollisionen) von den anderen Transporteinheiten $Z1 \dots Zx$ bewegt werden. Dazu wird von der Transportsteuerung 100 oftmals für jede zu bewegende Transporteinheit $Z1 \dots Zx$ laufend eine Positionsvorgabe (äquivalent auch Geschwindigkeitsvorgabe) vorgegeben, die von den Spulenregelungseinheiten 101, 10n in entsprechende, für die Bewegung benötigte Spulenspannungen $UL1, \dots, ULn$ umgesetzt werden. Nachdem dieses grundlegende Prinzip eines Langstatorlinearmotors hinreichend bekannt ist, wird hier nicht näher darauf eingegangen.

Fig.2 zeigt eine Vollbrücke einer LLM-Spule $L1$ nach dem Stand der Technik. Dabei ist die LLM-Spule $L1$ als Induktivität L in Serie mit einer Spannungsquelle U_{ind} modelliert. Die Spannungsquelle U_{ind} beschreibt eine induzierte Spannung, z.B. für den Fall, dass eine Transporteinheit $Z1 \dots Zx$ des LLM mit Erregungsmagneten vorbeibewegt wird. Zudem weist die LLM-Spule $L1$ wie üblich einen ersten Spulenanschluss $L11$ und einen zweiten Spulenanschluss $L12$ auf. Die Vollbrücke besteht aus zwei Hauptzweigen, wobei der erste Hauptzweig aus zwei Schaltern $S11, S21$ besteht, die in Serie an einer Betriebsspannung U_b liegen, die durch die Differenz aus einem ersten Betriebspotential U_{b1} und einem zweiten Betriebspotential U_{b2} an den Eingangsanschlüssen der Vollbrücke gebildet wird. Auch der zweite Hauptzweig besteht aus zwei Schaltern $S11', S21'$, die in Serie an der Betriebsspannung U_b liegen. Zwischen dem Verbindungspunkt des ersten Schalters $S11$ und des zweiten Schalters $S21$ des ersten Hauptzweiges befindet sich der erste Queranschluss $Q1$ für einen Querzweig. Äquivalent befindet sich zwischen dem Verbindungspunkt des ersten Schalters $S11'$ und des zweiten Schalters $S21'$ des zweiten Hauptzweiges der zweite Queranschluss $Q2$ des Querzweigs. Der erste Spulenanschluss $L11$ der LLM-Spule $L1$ ist mit dem ersten Queranschluss $Q1$ verbunden, der zweite Spulenanschluss $L12$ der LLM-Spule $L1$ ist mit dem zweiten Queranschluss $Q2$ verbunden. Durch geeignetes Ansteuern der Schalter $S11, S21, S11', S21'$ kann eine Spulenspannung $UL1$ zwischen ersten Spulenanschluss $L12$ und zweiten Spulenanschluss $L22$ angelegt werden. Die Ansteuerung der Vollbrücke zur Erzeugung einer Spulenspannung $UL1$ sieht im Wesentlichen zwei Schalterstellungen vor. In der ersten Schalterstellung sind der erste Schalter $S11$ des ersten Hauptzweiges und der zweite

Schalter S21' des zweiten Hauptzweiges geschlossen, wogegen der zweite Schalter S21 des ersten Hauptzweiges und der erste Schalter S11' des zweiten Hauptzweiges offen sind. Damit liegt an der LLM-Spule L1 die Betriebsspannung U_b als Spulenspannung U_{L1} an. In der zweiten durch die Ansteuerung der Vollbrücke vorgesehenen Schalterstellung sind der

5 erste Schalter S11 des ersten Hauptzweiges und der zweite Schalter S21' des zweiten Hauptzweiges offen, wogegen der zweite Schalter S21 des ersten Hauptzweiges und der erste Schalter S11' des zweiten Hauptzweiges geschlossen sind, womit die negative Betriebsspannung $-U_b$ als Spulenspannung U_{L1} an der LLM-Spule L1 anliegt. So werden beide Polaritäten für die Spulenspannung U_{L1} der LLM-Spule L1 erreicht.

10 Natürlich besteht ein LLM-Stator nicht nur aus einer, sondern aus einer Vielzahl n von nebeneinander angeordneten LLM-Spulen $L_1, \dots, L_n$. Um nun alle n LLM-Spulen $L_1, \dots, L_n$ einzeln ansteuern zu können, wäre je LLM-Spule $L_1, \dots, L_n$ eine Vollbrücke gemäß Fig.2 notwendig, d.h. dass damit $4 \cdot n$ Schalter S11, S21, S11', S21' benötigt werden, die üblicherweise als Halbleiterschalter, wie Bipolartransistoren, Mosfets, IGBTs, etc. ausgeführt sind.

15 Nachteilig an dieser hohen Anzahl an Schaltern S11, S21, S11', S21' sind die hohen Kosten und der erhöhte Platzbedarf für die schaltungstechnische Umsetzung. Da bei einer hohen Anzahl an LLM-Spulen $L_1, \dots, L_n$ bereits viel Platz für die Leistungsbauteile benötigt wird, ist es wünschenswert weniger Schalter S11, S21, S11', S21' zu verwenden. Auch das Routing (Verdrahtung z.B. auf einer Platine) wird mit zunehmender Anzahl an Bauelementen immer

20 komplizierter und je mehr Bauteile verwendet werden, desto höher ist die Chance für einen Ausfall eines Bauteils.

Daher wird erfindungsgemäß eine Ansteuerung der LLM-Spulen $L_1, \dots, L_n$ über n Halbbrücken HB1, ..., HBn vorgeschlagen. In Fig.3 ist eine erfindungsgemäße Ansteuerung von n , wobei n eine ganze Zahl größer eins ist, LLM-Spulen $L_1, \dots, L_n$ mittels jeweils einer zugeordneten Halbbrücke HB1, ..., HBn ersichtlich. Es wird auf die zweiten Hauptzweige der Vollbrücken verzichtet, womit die Betriebsspannung U_b nur an den ersten Hauptzweigen, also pro Halbbrücke HB1, ..., HBn zwischen den ersten Eingangsanschlüssen A1, ..., An und zweiten Eingangsanschlüssen B1, ..., Bn und den dazwischen in Serie geschalteten ersten Schaltern S11, ..., S1n und zweiten Schaltern, S21, ..., S2n, anliegt. Der jeweilige Verbindungspunkt zwischen ersten S11, ..., S1n und zweiten Schaltern, S21, ..., S2n wird jeweils als Mittelpunkt

25 C1, ..., Cn bezeichnet und ist jeweils mit dem ersten Anschluss L11, ..., Ln1 einer LLM-Spule $L_1, \dots, L_n$ verbunden. Der jeweils zweite Anschluss L12, ..., Ln2 der jeweiligen LLM-Spule $L_1, \dots, L_n$ liegt auf einem von einer Regelungseinheit 3 vorgegebenen elektrischen Potential U_x . Die zweiten Anschlüsse L12, ..., Ln2 der LLM-Spulen $L_1, \dots, L_n$ sind somit in einem Regelungspunkt C miteinander verbunden.

30

Die Ansteuerung der Schalter S11, S21, ..., S1n, S2n der n Halbbrücken HB1, ..., HBn erfolgt durch eine Spulenregelungseinheit 10 (in Fig.3 aus Übersichtsgründen nur für die Schalter

S1n, S2n eingezeichnet). Die Spulenregelungseinheit 10 steuert die Schalter S11, S21,..., S1n, S2n in bekannter Weise derart, dass durch Bestromen der LLM-Spulen L1,...,Ln, bzw. durch Anlegen der Spulenspannungen UL1,...,ULn, das für die Bewegung einer Transporteinheit benötigte Magnetfeld erzeugt wird. Dazu kann die Spulenregelungseinheit 10 auch

5 Sollgrößen SG1,...SGn für die Regelung erhalten, z.B. von einer Transportsteuerung 100 wie in Fig.1.

In der Regel werden bei einem LLM eine Anzahl von LLM-Spulen L1,...,Ln zu einem Statorsegment zusammengefasst (auch physisch in Form eines Bauteils). Alle LLM-Spulen L1,...,Ln eines Statorsegments werden dann in der Regel durch eine Spulenregelungseinheit

10 10, mit einzelnen Spulenregelungseinheiten 101,10n für jede LLM-Spule L1,...,Ln, geregelt, wobei das für die Erfindung nicht entscheidend ist. Daher ist es auch vorteilhaft, alle LLM-Spulen L1,...,Ln eines Statorsegments wie in Fig.3 schaltungstechnisch zusammenzufassen, also ausgangsseitig in einem Regelungspunkt C miteinander zu verbinden. Demnach benötigt man für einen Langstatorlinearmotor mit mehreren Statorsegmenten auch mehrere

15 Schaltungen wie in Fig.3.

Die Ansteuerung der Schalter S11,...,S1n, S21,...,S2n sieht nun zwei Schalterstellungen vor. In der ersten Schalterstellung ist der erste Schalter S11,...S1n geschlossen und der zweite Schalter S21,...,S2n offen, womit sich die Spulenspannung UL1 aus der Differenz aus erstem Betriebspotential Ub1 und dem vorgegebenen Potential Ux ergibt: $UL1 = Ub1 - Ux$. In

20 der zweiten Schalterstellung ist der erste Schalter S11,...,S1n offen und der zweite Schalter S21,...,S2n geschlossen, womit sich die Differenz aus vorgegebenen Potential Ux und zweitem Betriebspotential Ub2 ergibt: $UL1 = Ux - Ub2$. Es ist klar ersichtlich, dass sich bei unterschiedlichen Schalterstellungen unterschiedliche Polaritäten der Spulenspannung UL1 ergeben. Das gilt für alle LLM-Spulen L1,...,Ln analog.

Für den Spezialfall, dass das zweite Betriebspotential Ub2 auf Masse liegt ($Ub2=0$), und dass das vorgegebene Potential Ux der halben Betriebsspannung Ub entspricht ($Ux=Ub/2$), so ergibt sich in der ersten Schalterstellung eine Spulenspannung UL1 von Ub/2 und in der zweiten Schalterstellung eine Spulenspannung UL1 von -Ub/2.

Da, wie erwähnt, ein LLM-Stator bzw. ein Teil eines LLM-Stators aus n LLM-Spulen besteht, werden n Halbbrücken HB1,...,HBn in einer Bauart wie oben beschrieben für n LLM-Spulen L1,...,Ln verwendet, womit sich gegenüber der zuvor beschriebenen Vollbrückenansteuerung nach Stand der Technik eine Ersparnis von $2 \cdot n$ Schaltern ergibt.

Wie in Fig.4 dargestellt, werden die zweiten Spulenanschlüsse L21,...L2n, die ja alle auf dem vorgegebenen Potential Ux gehalten werden, miteinander zu einem Regelungspunkt C verbunden. Die LLM-Spulen UL1.. ULn werden alle unabhängig voneinander geregelt. Im

35 Allgemeinen weist jede Spule L1 ... Ln eine unterschiedliche Spulenspannung UL1... ULn

auf. Ist eine Spulenspannung $UL1 \dots ULn$ positiv, so fließt ein Spulenstrom von der betreffenden Spule $L1 \dots Ln$ in den Regelungspunkt C und das Istpotential U_{xist} steigt. Ist eine Spulenspannung $UL1 \dots ULn$ negativ, so fließt demzufolge ein Spulenstrom aus dem Regelungspunkt C heraus in die betreffende Spule $L1 \dots Ln$ und das Istpotential U_{xist} sinkt. Die

5 Summe aller Spulenströme durch die LLM-Spulen $UL1.. ULn$ hat demnach ein Ansteigen oder ein Fallen des Istpotentials U_{xist} zufolge, was durch die Regelungseinheit 3 ausgeglichen wird, um das Istpotential U_{xist} auf einem vorgegebenen Potential U_x zu halten.

Eingangsseitig befindet sich eine Spannungsquelle 1, z.B. ein Gleichrichter, die das erste Betriebspotential $Ub1$ und das zweite Betriebspotential $Ub2$ den n Halbbrücken $HB1, \dots, HBn$

10 zur Verfügung stellt. Die Schalter $S11, S21, \dots, S1n, S2n$ der n Halbbrücken $HB1, \dots, HBn$ werden von der Spulenregelungseinheit 10 (in Fig.4 nicht eingezeichnet) je nach gewünschter Polarität der Spulenspannungen $UL1, \dots, ULn$ in einer Art angesteuert, wie schon oben für eine LLM-Spule $L1$ beschrieben.

Die Regelungseinheit 3 dient zum Einstellen des vorgegebenen Potentials U_x am Regelungspunkt C, wobei das aktuelle Istpotential U_{xist} erfasst (z.B. gemessen) wird und der Regelungseinheit 3 vorliegt. Die Regelungseinheit 3 steuert in einer Ausgestaltung abhängig von einer von einer Vergleichseinheit 4 ermittelten Potentialdifferenz dU zwischen vorgegebenem Potential U_x und Istpotential U_{xist} eine Stromquelle I_q an, welche den Iststrom I_{xist} in den Regelungspunkt C einspeist, der damit auch über die n LLM-Spulen $L1, \dots, Ln$ fließt. Natürlich kann der über die einzelnen n LLM-Spulen $L1, \dots, Ln$ fließende Strom positiv oder auch

20 negativ sein. Da der Iststrom I_{xist} abhängig von der Potentialdifferenz dU geändert wurde und in den Regelungspunkt C eingespeist wird, ändert sich auch das Istpotential U_{xist} und wird im Rahmen der Regelung an das vorgegebene Potential U_x angepasst, womit die Potentialdifferenz dU vorzugsweise auf Null geregelt wird. Es kann aber auch auf eine vorgegebene Potentialdifferenz dU ungleich Null geregelt werden. Die Vergleichseinheit 4 kann

25 wie in Fig. 4 dargestellt integraler Bestandteil der Regelungseinheit 3 sein oder auch als separate Einheit ausgliedert sein.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Regelungseinheit 3 ist in Fig.5 dargestellt. Hier wird die Stromquelle I_q durch eine Spannungsquelle U_q und eine Drossel D (Induktivität) realisiert.

30 Die Spannungsquelle U_q erzeugt die Spannung U an der Drossel D und ruft damit den Iststrom I_{xist} in der Drossel D hervor, welcher in den Regelungspunkt C eingespeist wird, womit die Istspannung U_{xist} am Regelungspunkt C beeinflusst wird.

Fig.6 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer bevorzugten Ausführung der Vergleichseinheit 4 und der Spannungsquelle U_q , sowie einer Umwandlungseinheit 5. Die Vergleichseinheit 4 stellt hier eine Widerstandsbrückenschaltung dar, die mit dem ersten Betriebspotential $Ub1$, dem zweiten Betriebspotential $Ub2$ und dem Regelungspunkt C verbunden

35

den ist. Hierzu wird über einen ersten Widerstandsbrückenweig das erste Betriebspotential Ub1 über einen ersten Widerstand R1 in Serie mit einem zweiten Widerstand R2 mit dem zweiten Betriebspotential Ub2 verbunden. Ein zweiter Widerstandsbrückenweig verbindet über einen dritten Widerstand R3 und einen in Serie geschalteten vierten Widerstand R4 den

5 Regelungspunkt C mit dem zweiten Betriebspotential Ub2. Zwischen dem Verbindungspunkt des ersten Widerstands R1 und des zweiten Widerstands R2 und dem Verbindungspunkt des dritten Widerstands R3 und des vierten Widerstands R4 liegt bei geeigneter Dimensionierung der Widerstände R1, R2, R3, R4 das Differenzpotential dU zwischen vorgegebenem Potential Ux und Istpotential Uxist an. Um ein vorgegebenes Potential von $U_x = (U_{b1} - U_{b2})/2$

10 zu erzielen, wäre beispielsweise eine Dimensionierung von $R_2 = R_3 = R_4 = (1/3)R_1$ erforderlich. Selbstverständlich könnte das vorgegebene Potential Ux auch extern, beispielsweise durch regelbare Spannungsquellen vorgegeben werden. Die Realisierung durch Verbindungen zu den Betriebspotentialen Ub1, Ub2 erweist sich jedoch als besonders einfach. Ebenso sind in Fig.6 optionale Filterkondensatoren Cb1, Cb2 zwischen jeweils dem ersten Betriebspotential

15 Ub1 bzw. dem zweiten Betriebspotential Ub2 und dem Regelungspunkt C vorhanden. Das Differenzpotential dU wird von der Vergleichseinheit 4 an die Umwandlungseinheit 5 geliefert. Die Umwandlungseinheit 5 wandelt das Differenzpotential dU in einen vorgegebenen Strom Ix. Die Umwandlungseinheit 5 kann durch einen PI-Regler, z.B. wie in Fig. 6 dargestellt durch einen Transkonduktanzverstärker (Operational Transconductance Amplifier) OTA

20 mit einem ausgangsseitigen RC-Glied gegen Masse realisiert werden. Hierzu wird das Differenzpotential dU zwischen invertierendem Eingang IV, des Transkonduktanzverstärkers OTA und dem nicht invertierenden Eingang NIV des Transkonduktanzverstärkers OTA geschaltet. Der Transkonduktanzverstärker OTA liefert am Ausgang , der mittels der RC-Schaltung mit Masse verbunden ist, einen vorzugebenden Strom Ix, der proportional zum Differenzpotential

25 dU ist. Die Spannung am Kondensator Ca steigt mit dem Integral des vorzugebenden Stroms Ix, die Spannung am Widerstand Ra ist proportional dem vorzugebenden Strom. Alternativ ist natürlich auch z.B. eine OPV-Schaltung mit einem Kondensator und einem seriellen Widerstand als Rückkopplung auf den invertierenden Eingang als PI-Regler einsetzbar. Parallel zu dem Kondensator und dem Widerstand kann auch ein weiterer Kondensator zur

30 Dämpfung von hochfrequenten Störungen vorgesehen sein. Weiters misst der Sensor S in dieser Ausgestaltung nicht das Istpotential Uxist , sondern den Iststrom Ixist durch den Regelungspunkt C. Somit kann der Sensor S in einfacher Weise als Shunt realisiert werden. Ein Stromregler 53 vergleicht den vorgegebenen Strom Ix und den vom Sensor S erhaltenen Iststrom Ixist, ermittelt den Differenzstrom dI und regelt damit die Stromquelle Iq. Vorzugsweise ist der Stromregler 53 als PI-Regler ausgestaltet. Die Stromquelle Iq besteht in dieser

35 Ausgestaltung aus einer Drossel D und einer Spannungsquelle Uq, welche wiederum aus einer von einem PWM-Modul PWM1 angesteuerten Treiberhalbbrücke 6 besteht. PWM be-

deutet bekanntermaßen Pulsweitenmodulation, bzw. Pulse Width Modulation. Damit wird vom Stromregler 53 der Differenzstrom dI erzeugt und das PWM-Modul PWM1 steuert die Treiberhalbbrücke 6 so an, dass der Differenzstrom dI auf Null geregelt wird. Die Treiberhalbbrücke 6 besteht hier aus zwei in Serie geschalteten Halbleiterschaltern 61,62. Vorteilhafterweise verbindet der obere Halbleiterschalter 61 das erste Betriebspotential $Ub1$ mit dem zweiten Halbleiterschalter 62, welcher wiederum mit dem zweiten Betriebspotential $Ub2$ verbunden ist. Die Drossel D verbindet den Regelungspunkt C mit dem Verbindungspunkt zwischen erstem Halbleiterschalter 61 und zweitem Halbleiterschalter 62 der Treiberhalbbrücke 6. Das PWM-Modul PWM1 schaltet mit einem Hi-Signal den ersten Halbleiterschalter 61, der damit das erste Betriebspotential $Ub1$ an die Drossel D anlegt, gleichermaßen wird bei einem Lo-Signal das zweite Betriebspotential $Ub2$ an die Drossel D angelegt. Dadurch wird in Abhängigkeit vom durch den Stromregler 53 ermittelten Differenzstrom dI eine Spannung U an die Drossel D angelegt, welche wiederum den Iststrom I_{xist} im Regelungspunkt C beeinflusst. Die Drossel D integriert die rechteckige Spannung U auf und erzeugt einen dreieckigen Iststrom I_{xist} , der geglättet ist. Die Halbleiterschalter 61, 62 der Treiberhalbbrücke sind vorteilhafterweise als GaN (Gallium Nitrit)-Schalter ausgeführt sind. Diese Technologie ermöglicht Schaltfrequenzen im MHz-Bereich, womit eine Drossel D mit geringerer Induktivität und damit geringerer Baugröße verwendet werden kann.

Vorteilhafterweise werden $m > 1$, mit m als positive ganze Zahl, parallele Treiberhalbbrücken 6, verwendet, um die Welligkeit und damit die Stromrippel des Iststroms I_{xist} zu verringern, wie in Fig.7 am Beispiel von drei parallelen Treiberhalbbrücken 6 erläutert wird. Damit sind ebenso m Drosseln $D1, D2, D3$ erforderlich, die jeweils eine ein m -tel so große Induktivität aufweisen müssen, als die Induktivität der einphasigen Ausführung. Aus der Sprungantwort des Iststromes I_{xist} ist ersichtlich, dass der Iststroms I_{xist} bei m parallel geschalteten Induktivitäten m mal so schnell ansteigt und somit der vorgegebene Strom I_x schneller erreicht werden kann. . Der Hauptvorteil in der Verwendung mehrerer Treiberhalbbrücken 6 liegt jedoch in der Reduktion der erzeugten Verlustleistung. Da die Verlustleistung bekanntermaßen quadratisch zum Iststrom I_{xist} ist, bewirkt beispielsweise eine Drittelung des Iststromes I_{xist} eine Reduzierung der Verlustleistung um den Faktor Neun. Es sind natürlich auch m Stromregler 531, 532, 533 und Stromquellen $Iq1, Iq2, Iq3$ notwendig. Die Stromquellen $Iq1, Iq2, Iq3$ werden derart angesteuert, dass sie Ströme $i1, i2, i3$ mit einem Phasenversatz von $360^\circ/m$ liefern, die in den Regelungspunkt C eingeprägt werden, was in Summe zum Iststrom I_{xist} im Regelungspunkt C führt.

In Fig.7 ist eine Ausgestaltung mit $m=3$ Treiberhalbbrücken 601, 602,603 und $m=3$ Stromquellen $Iq1, Iq2, Iq3$ dargestellt. Die $m=3$ Stromquellen bestehen aus $m=3$ Drosseln $D1, D2, D3$ und $m=3$ Spannungsquellen $Uq1, Uq2, Uq3$, die Spannungsquellen $Uq1, Uq2, Uq3$ wiederum setzen sich aus $m=3$ PWM-Modulen PWM1, PWM2, PWM3 und $m=3$ Treiberhalbbrü-

cken 601, 602, 603 zusammen. Sofern die $m=3$ Treiberhalbbrücken 601, 602, 603 identisch sind, wäre theoretisch auch ein Stromsensor S zur Erfassung des Iststromes I_{Ist} ausreichend. Da dieser Idealfall von absolut identischen Treiberhalbbrücken 601, 602, 603 (und Drosseln $D1, D2, D3$, usw.) in der Realität in der Regel nicht auftritt, zeigt die Fig.7 den all-

5 gemeinen Fall von $m=3$ Sensoren $S1, S2, S3$.

Fig.8a zeigt einen Verlauf der $m=3$ Ströme $i1, i2, i3$ und den daraus resultierenden Iststrom I_{Ist} bei einer Verwendung von $m=3$ Stromquellen I_{q1}, I_{q2}, I_{q3} ohne Phasenverschiebung. Die ursprünglichen rechteckförmigen Verläufe der von den Spannungsquellen U_{q1}, U_{q2}, U_{q3} erzeugten Spannungen $U1, U2, U3$ werden von den $m=3$ Drosseln $D1, D2, D3$ jeweils zu

10 dreieckförmigen Stromverläufen der $m=3$ Ströme $i1, i2, i3$ integriert. In Fig. 8a ist eine Ansteuerung mit drei Treiberhalbbrücken 601, 602, 603 ohne Phasenverschiebung (entspricht qualitativ einer Ansteuerung mit einer Treiberhalbbrücke 601, 602, 603, die den Iststrom I_{Ist} liefert) dargestellt. Es ist in Fig.8b ersichtlich, dass bei einer um $360^\circ/3=120^\circ$ phasenverschobenen Ansteuerung der $m=3$ Ströme $i1, i2, i3$ die Stromrippel des Iststroms I_{Ist} ein

15 Neuntel so groß sind wie bei nicht phasenverschobener Ansteuerung. Bei nicht phasenverschobener Ansteuerung ist der Stromrippel des Iststroms I_{Ist} drei mal so groß wie ein Spitzenstrom einer Phase $\hat{I}$, wogegen der Rippelstrom des Iststroms I_{Ist} bei phasenverschobener Ansteuerung $(5/3 - 4/3) \cdot \hat{I}$ ist, was einem Drittel des Spitzenstroms einer Phase $\hat{I}$ entspricht.

20 Wenn das Einprägen des Iststroms I_{Ist} durch m Phasenströme $i1, i2, i3$ in m Phasen erfolgt, so ist es auch möglich die m Phasenströme $i1, i2, i3$ abhängig von dem Differenzstrom dI teilweise oder zur Gänze ab oder an zu schalten, wie Fig. 9 schematischerweise zeigt. Jede der m Stromquellen I_q kann einen maximalen Phasenstrom $i1_{\text{max}}, i2_{\text{max}}, i3_{\text{max}}$ liefern, die in Fig.9 identisch sind. Der maximale von der Regelungseinheit 3 in den Regelungspunkt C

25 lieferbare Iststrom I_{Istmax} ist demzufolge m mal so hoch, sofern die maximalen Phasenströme $i1_{\text{max}}, i2_{\text{max}}, i3_{\text{max}}$ gleich groß sind, ansonsten ergibt sich der maximale lieferbare Iststrom I_{Istmax} aus der Summe der Phasenströme $i1_{\text{max}}, i2_{\text{max}}, i3_{\text{max}}$. Soll aufgrund eines Differenzstroms dI von Null ein Iststrom I_{Ist} von Null ausgegeben werden, so werden alle Stromquellen I_q abgeschaltet, um ein vorgegebenes Potential von U_x zu halten. Steigt

30 oder sinkt das Istpotential U_{Ist} über eine bestimmte Schwelle, so wird ein Phasenstrom $i1, i2, i3$ dazu geschaltet. Ist ein vorgegebener Strom I_x erforderlich, der den maximalen Phasenstrom $i1_{\text{max}}, i2_{\text{max}}, i3_{\text{max}}$ überschreitet, so muss ein zweiter Phasenstrom $i1, i2, i3$ hinzu geschaltet werden, unterschreitet der vorgegebene Strom I_x eine bestimmte, Schwelle, so kann ein Phasenstrom $i1, i2, i3$ abgeschaltet werden, usw. Sobald ein Phasenstrom $i1, i2, i3$

35 dazu geschaltet wird, steigt der Proportionalanteil der Umwandlungseinheit 5, sodass der Iststrom I_{Ist} sofort abfällt. In Fig. 9 ist die erste Phase (erster Phasenstrom $i1$) aktiv (Bereich 1P) und es wird erst die zweite Phase (zweiter Phasenstrom $i2$, Bereich 2P) und dann die

dritte Phase (dritter Phasenstrom i_3 dazu geschaltet, Bereich 3P) und danach erst die dritte Phase (Bereich 2P), dann die zweite Phase (Bereich 1P) und schlussendlich auch die erste Phase abgeschaltet. Null aktive Phasen bedeuten einen Lückbetrieb, der in Fig.9 als Bereich 0P gekennzeichnet ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern einer Mehrzahl n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) eines LLM Stators, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erstes Betriebspotential (U_{b1}) an n erste Eingangsanschlüsse ($A_1, \dots, A_n$) von n Halbbrücken ($HB_1, \dots, HB_n$) angelegt wird, ein zweites Betriebspotential (U_{b2}) an n zweite Eingangsanschlüsse ($B_1, \dots, B_n$) der n Halbbrücken angelegt wird, **dass** je Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) ein erster Schalter ($S_{11}, \dots, S_{1n}$) zwischen einem Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der jeweiligen Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) und dem ersten Eingangsanschluss ($A_1, \dots, A_n$) geschaltet wird und je ein zweiter Schalter ($S_{21}, \dots, S_{2n}$) zwischen dem
10 Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der betreffenden Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) und dem zweiten Eingangsanschluss ($B_1, \dots, B_n$) geschaltet wird **dass** der Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der n Halbbrücken jeweils mit n ersten Anschlüssen ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) verbunden wird, **und dass** die zweiten Anschlüsse ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) in einem
15 Regelungspunkt (C) verbunden werden, der auf ein vorgegebenes Potential (U_x) geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das vorgegebene Potential (U_x) der halben Potentialdifferenz zwischen erstem Betriebspotential (U_{b2}) und zweitem Betriebspotential (U_{b1}) entspricht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Betriebspotential (U_{b1}) Null ist.
20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Istpotential (U_{xist}) am Regelungspunkt (C) erfasst und mit dem vorgegebenen Potential (U_x) verglichen wird **und dass** basierend auf einer Potentialdifferenz (dU) zwischen Istpotential (U_{xist}) und vorgegebenem Potential (U_x) ein Iststrom (I_{xist}) in den Regelungspunkt (C) eingespeist wird, um die Spannungsdifferenz (dU) auf einen vorgegebenen Wert zu regeln.
25
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Iststrom (I_{xist}) aus m um $360^\circ/m$ phasenverschobene Phasenströme (i_1, i_2, i_3) zusammengesetzt in den Regelungspunkt (C) eingespeist wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die $m > 1$ Phasenströme
30 (i_1, i_2, i_3) abhängig von dem Differenzstrom (dI) teilweise oder zur Gänze ab- bzw. angeschaltet werden.
7. Vorrichtung zum Ansteuern einer Mehrzahl n von LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) eines LLM Stators, **dadurch gekennzeichnet, dass** n Halbbrücken ($HB_1, \dots, HB_n$) mit jeweils einem ersten Eingangsanschluss ($A_1, \dots, A_n$) und einem zweiten Eingangsanschluss ($B_1, \dots, B_n$),
35 wobei pro Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) ein erster Schalter ($S_{11}, \dots, S_{1n}$) zwischen einem Mittel-

punkt ($C_1, \dots, C_n$) der Halbbrücke und dem ersten Eingangsanschluss ($A_1, \dots, A_n$) vorgesehen ist und ein zweiter Schalter zwischen dem Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der Halbbrücke und dem zweiten Eingangsanschluss ($B_1, \dots, B_n$) vorgesehen ist, und die n ersten Eingangsanschlüsse ($A_1, \dots, A_n$) mit einem ersten Betriebspotential (U_{b1}) verbunden sind, sowie die n zweiten
 5 Eingangsanschlüsse ($B_1, \dots, B_n$) mit einem zweiten Betriebspotential (U_{b2}) verbunden sind, **dass** jeder LLM-Spule ($L_1, \dots, L_n$) eine Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) zugeordnet ist, wobei die n Mittelpunkte ($C_1, \dots, C_n$) der n Halbbrücken jeweils mit einem ersten Anschluss ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der zugehörigen LLM-Spule ($L_1, \dots, L_n$) verbunden sind, **dass** die zweiten Anschlüsse ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) zu einem Regelungspunkt (C) verbunden sind
 10 **und dass** eine Regelungseinheit (3) vorhanden ist, die ein Istpotential (U_{xist}) des Regelungspunkts (C) auf ein vorgegebenes Potential (U_x) regelt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Vergleichseinheit (4) vorhanden sind, wobei die Vergleichseinheit (4) die Potentialdifferenz (dU) zwischen vorgegebenen Potential (U_x) und Istpotential (U_{xist}) im Regelungspunkt (C) ermittelt **und dass**
 15 in der Regelungseinheit (3) eine Stromquelle (I_q) vorhanden ist, die abhängig von der Potentialdifferenz (dU) einen Iststrom (I) in den Regelungspunkt (C) einspeist um die Potentialdifferenz (dU) auf einen vorgegebenen Wert zu regeln.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stromquelle (I_q) eine Drossel (D) und eine Spannungsquelle (U_q) beinhaltet, wobei die Drossel (D) mit dem
 20 Regelungspunkt (C) verbunden ist und den Iststrom (I) über eine von der Spannungsquelle (U_q) an der Drossel (D) erzeugte Spannung (U) erzeugt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spannungsquelle (U_q) ein PWM-Modul (PWM_1) eine Treiberhalbbrücke (6) beinhaltet, wobei das PWM-Modul (PWM_1) die Treiberbrücke (6) abhängig vom Differenzpotential (dU) regelt.

25 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Treiberhalbbrücke (6) mit GaN-Schaltern gefertigt ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vergleichseinheit (4) ein Widerstandsnetzwerk (R_1, R_2, R_3, R_4) beinhaltet, das mit dem ersten Betriebspotential (U_{b1}), dem zweiten Betriebspotential (U_{b2}) und dem Regelungspunkt
 30 (C) verbunden ist und aus dem ersten Betriebspotential (U_{b1}), dem zweiten Betriebspotential (U_{b2}) und dem Istpotential (U_{xist}) am Regelungspunkt (C) die Potentialdifferenz (dU) ermittelt.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Umwandlungseinheit (5) vorhanden ist, der mit der Vergleichseinheit (4) verbunden ist und
 35 das Differenzpotential (dU) in einen vorgegebenen Strom (I_x) wandelt, **dass** ein Sensor (S) vorhanden ist, der den Iststrom (I_{xst}) im Regelungspunkt (C) misst **und dass** ein Stromregler

(52) vorhanden ist, der eingangsseitig mit der Umwandlungseinheit (5) und dem Stromsensor (S) verbunden ist und ausgangseitig mit der Stromquelle (I_q) verbunden ist, den vorgegebenen Strom (I_x) von der Umwandlungseinheit (5) und den Iststrom (I_{xist}) vom Sensor (S) erhält, einen Differenzstrom (dI) ermittelt und damit die Stromquelle (I_q) regelt.

5 14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umwandlungseinheit (5) als PI-Regler ausgestaltet ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** $m > 1$ Stromquellen (I_{q1} , I_{q2} , I_{q3}) vorhanden sind, wobei die m Stromquellen (I_{q1} , I_{q2} , I_{q3}) mit dem Regelungspunkt (C) verbunden sind, die m Stromquellen (I_{q1} , I_{q2} , I_{q3}) jeweils einen um $360^\circ/m$ phasenverschobenen Phasenstrom (i_1 , i_2 , i_3) in den Regelungspunkt (C) einspeisen.

10

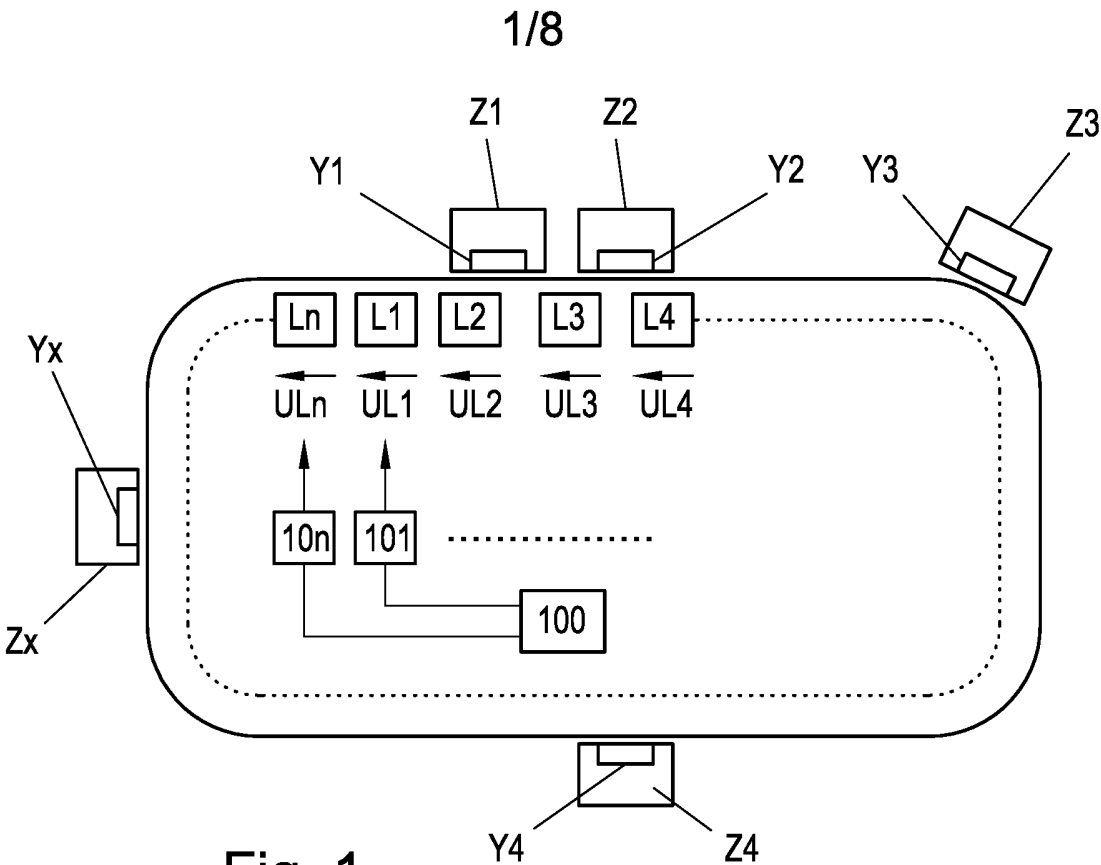


Fig. 1
(Stand der Technik)

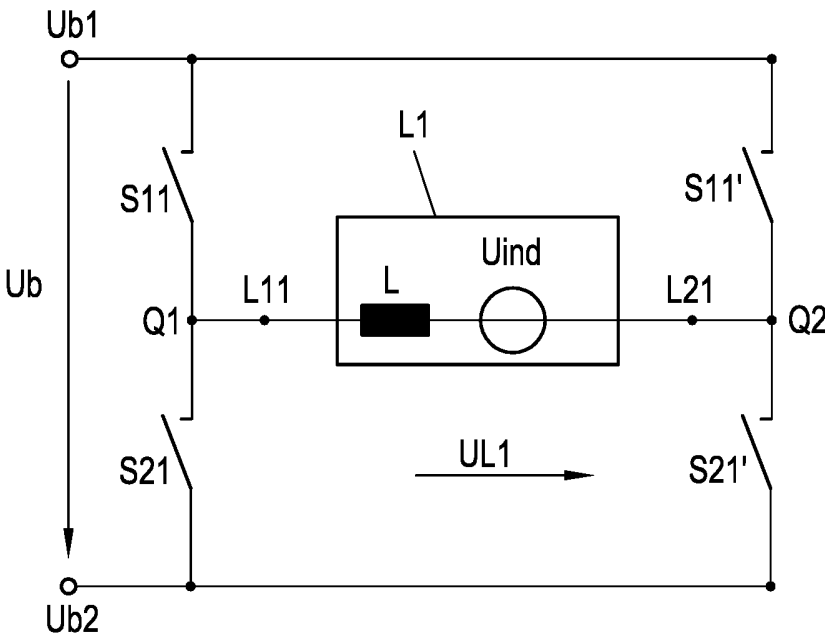


Fig. 2
(Stand der Technik)

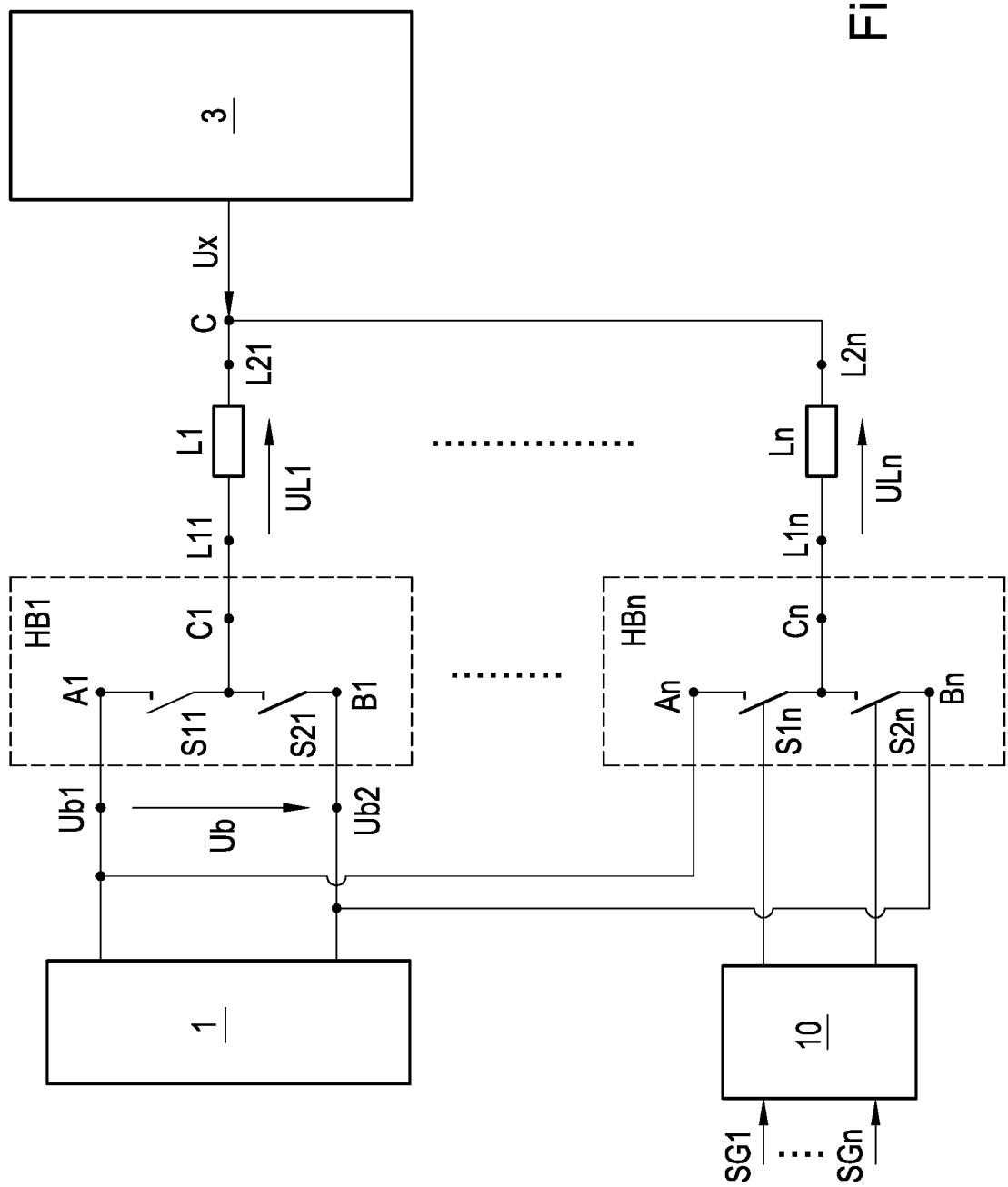


Fig. 3

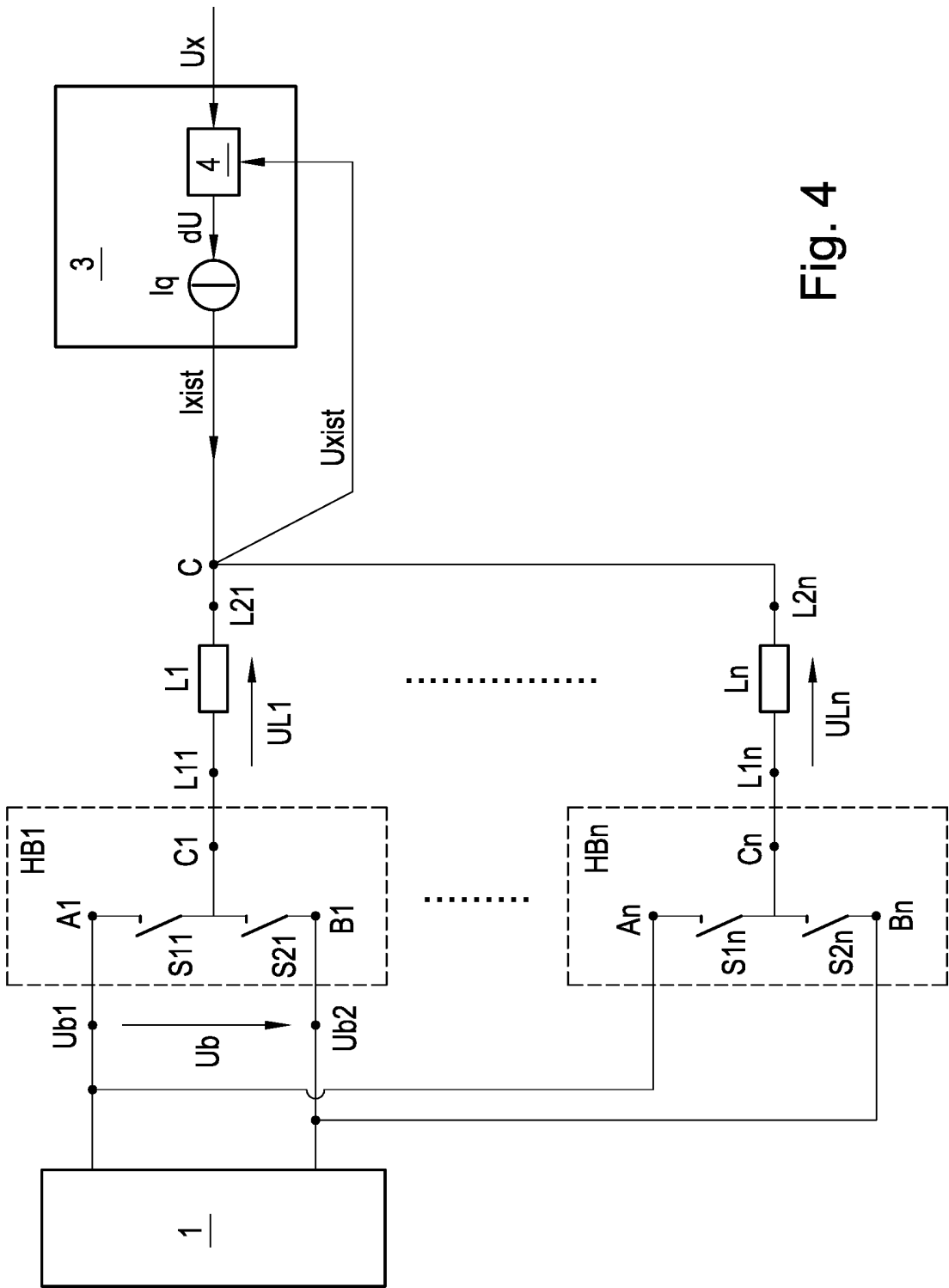


Fig. 4

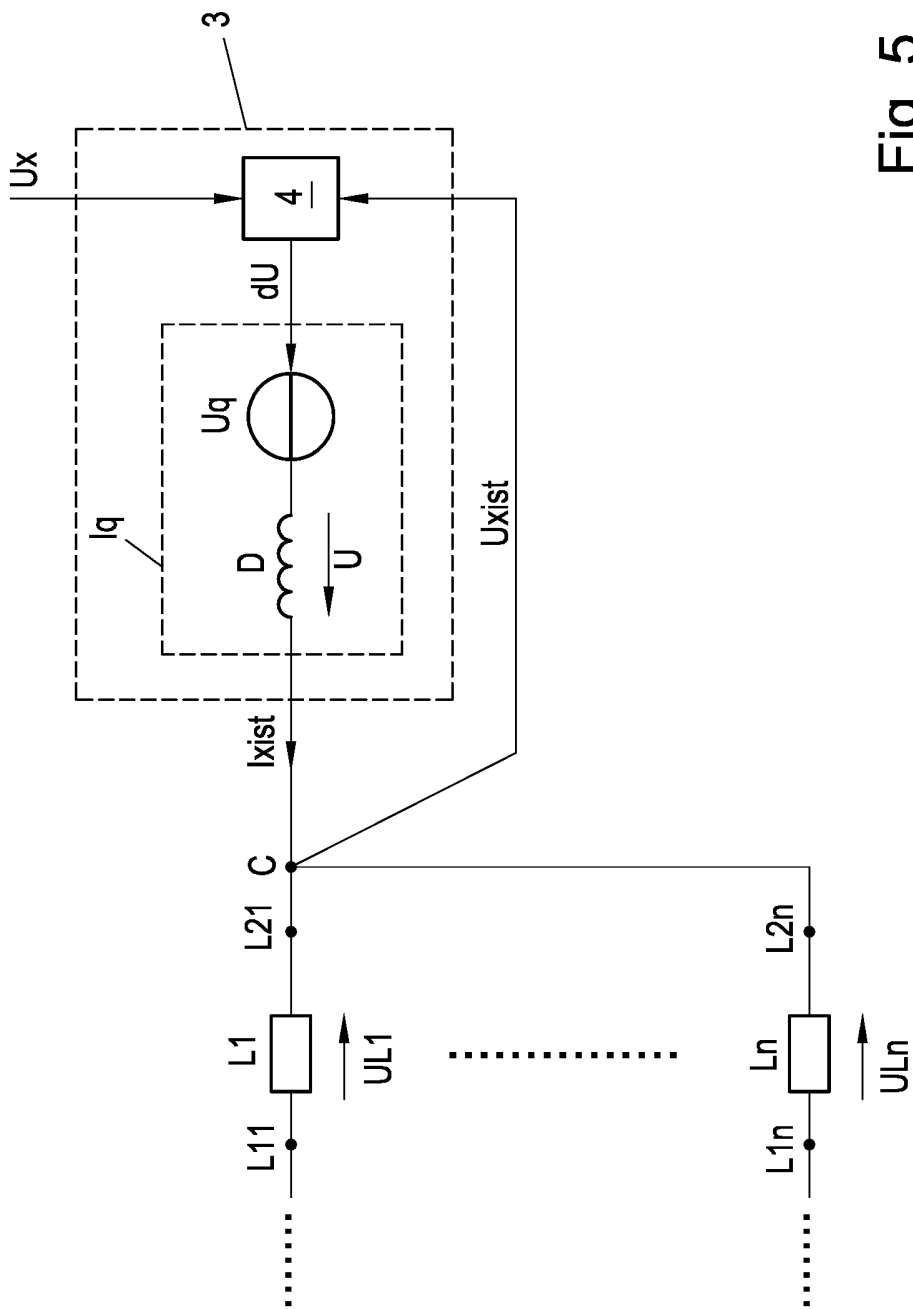


Fig. 5

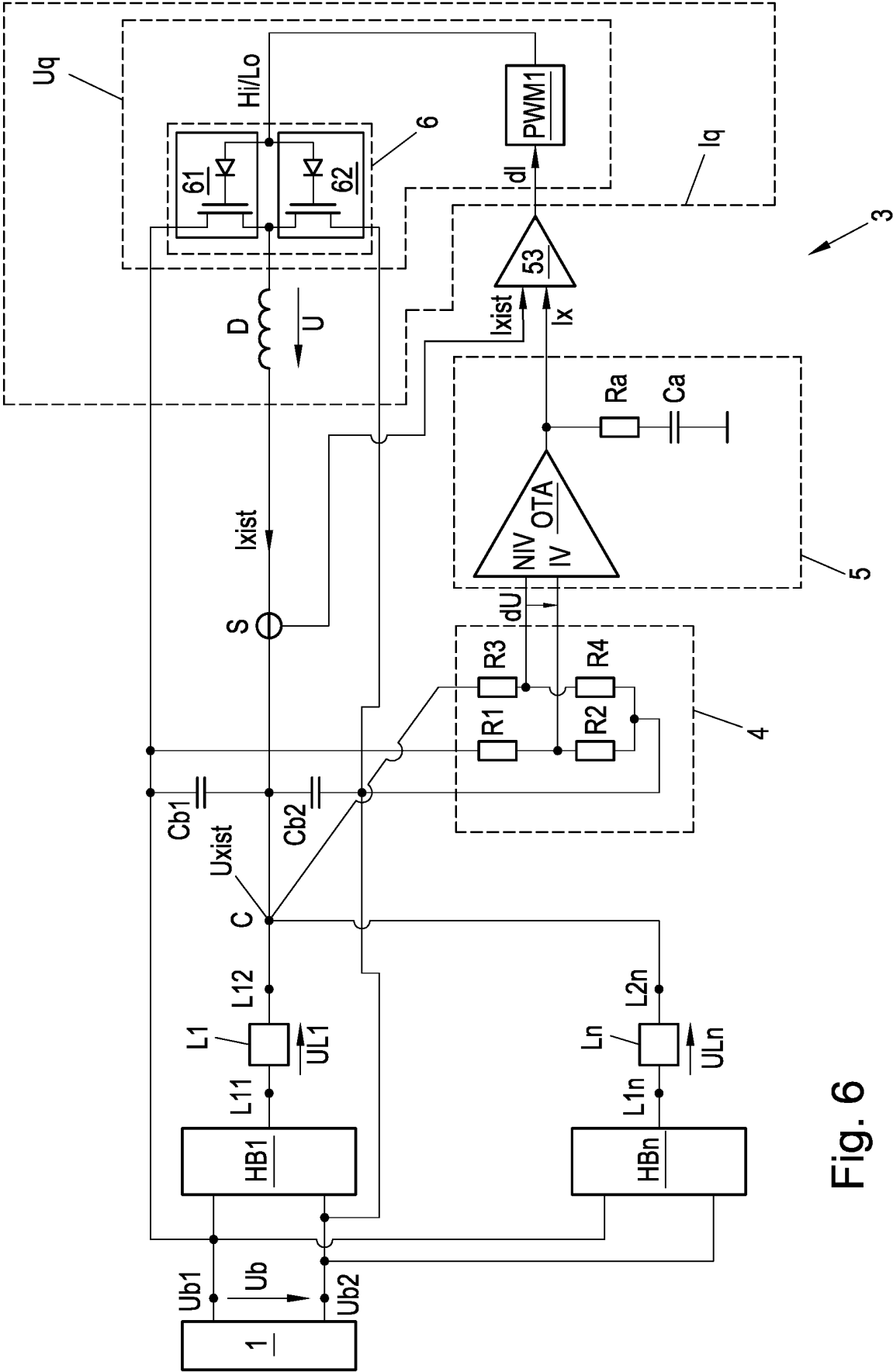


Fig. 6

6/8

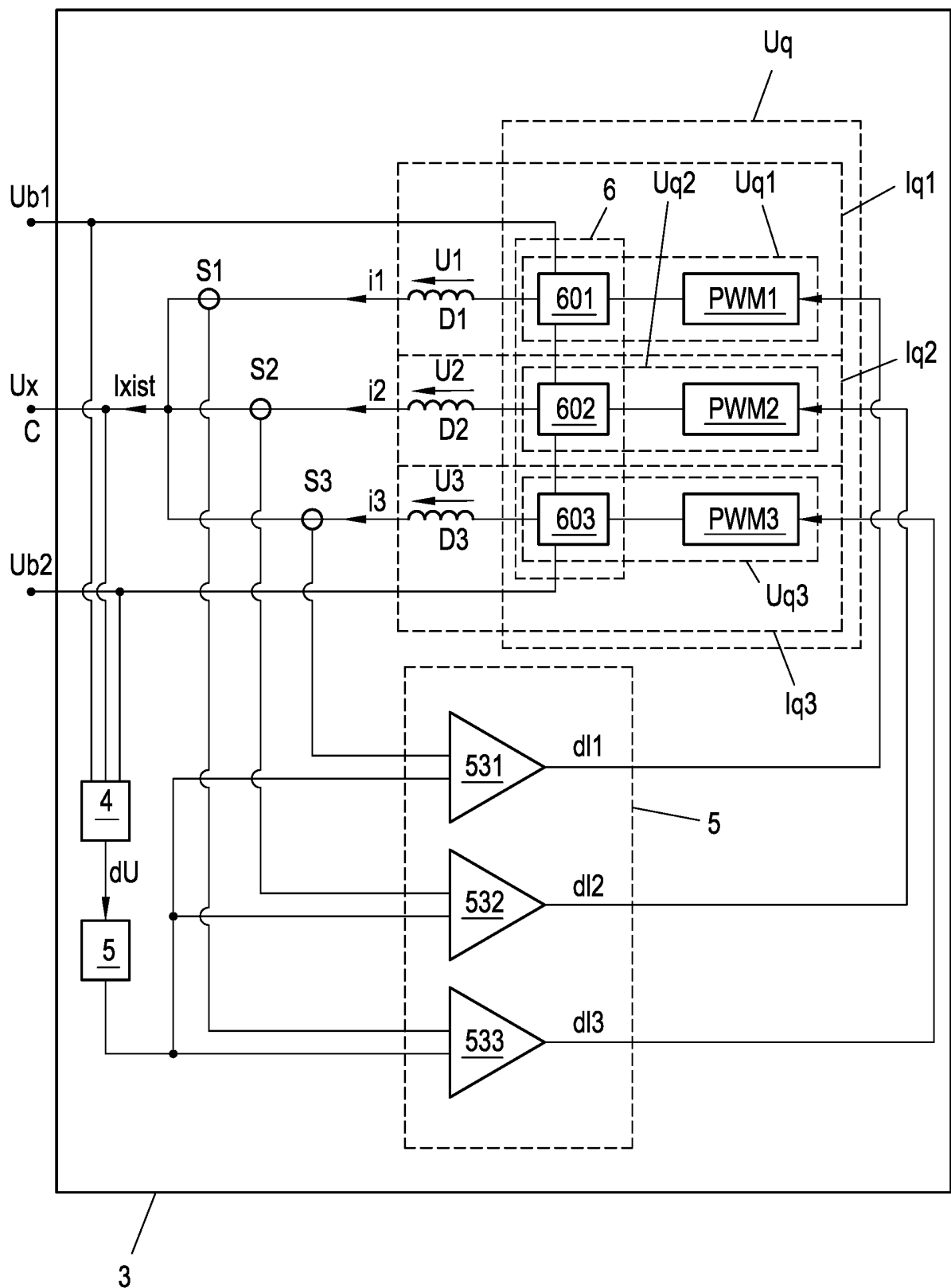


Fig. 7

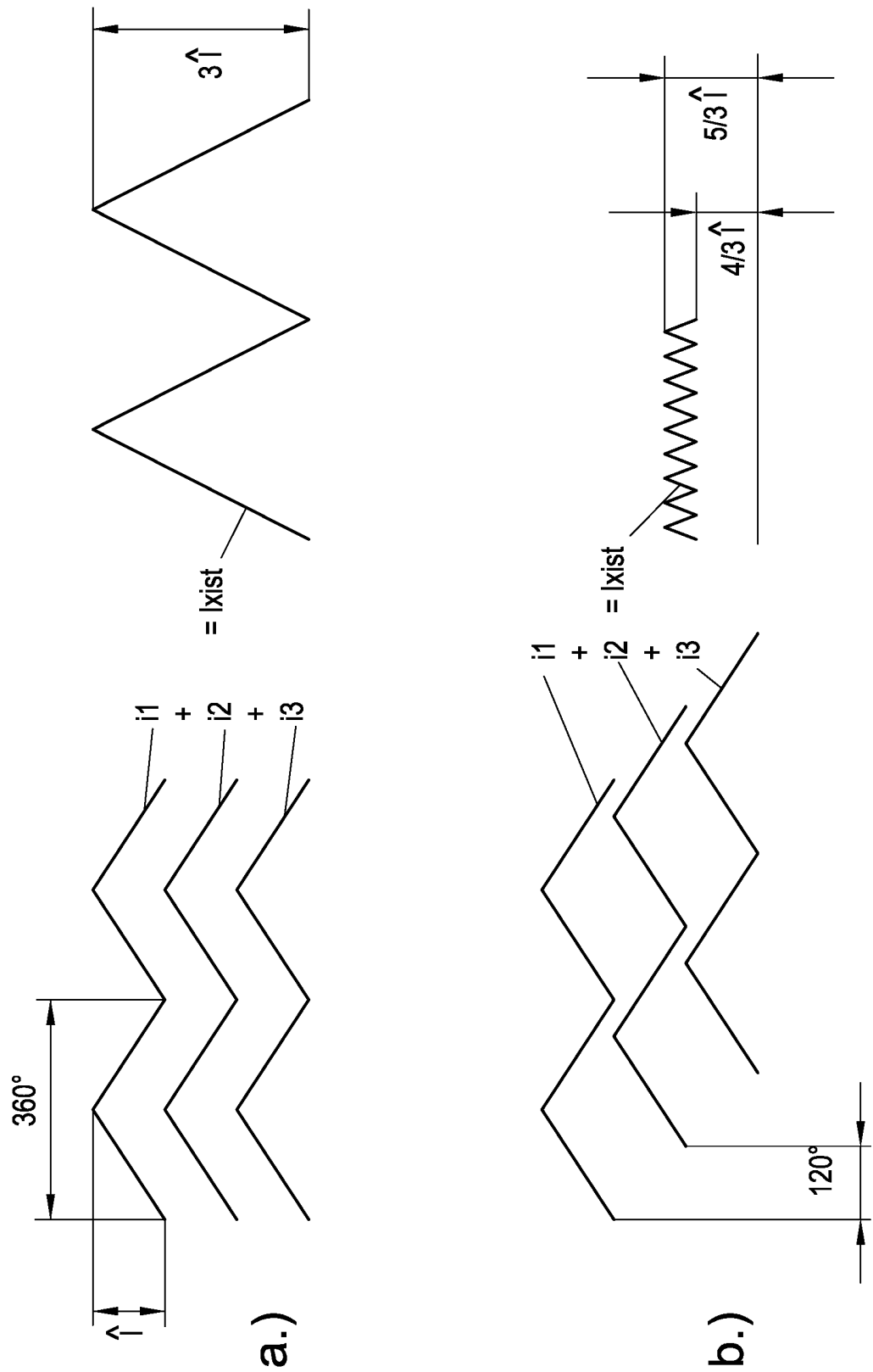


Fig. 8

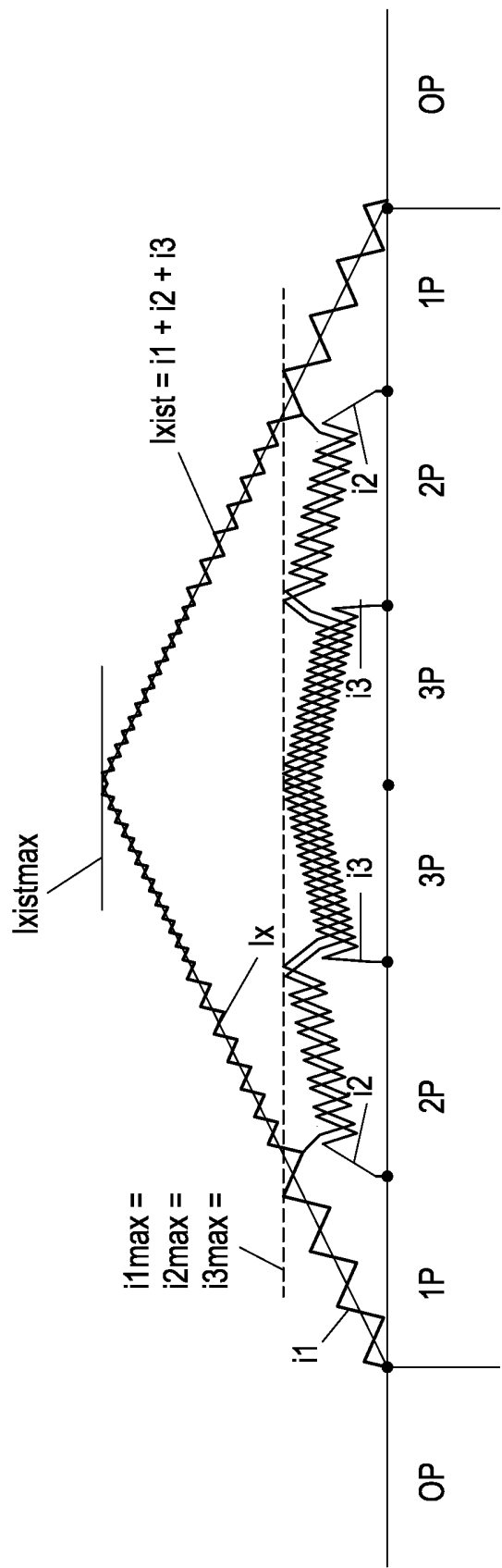


Fig. 9

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
H02P 7/02 (2016.01); **H02P 7/292** (2016.01); **H02P 6/28** (2016.01); **H02M 3/156** (2006.01) ; **H02M 7/219** (2006.01); **G05F 1/575** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
H02P 7/02 (2016.02); **H02P 7/292** (2016.02); **H02P 6/28** (2016.02); **H02M 3/156** (2013.01); **H02M 7/219** (2013.01); **G05F 1/575** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

H02P, H02M, G05F

Konsultierte Online-Datenbank:

WPI, EPODOC, IEEE

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **25.05.2016** eingereichten Ansprüchen **1-15** erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	US 5661382 A (ENAMI KEN, YAMAMOTO SATOSHI) 26. August 1997 (26.08.1997) Das ganze Dokument.	1, 7
A		2-6, 8-15
X	US 2005189891 A1 (KUROSAWA MINORU, KOKAMI YASUHIKO) 01. September 2005 (01.09.2005) Absätze [0077- 0084, 0089, 0090]; Fig. 10, 17.	1, 7
A		2-6, 8-15
X	US 2009121665 A1 (KUWAMURA MAKOTO) 14. Mai 2009 (14.05.2009) Absätze [0031-0046]; Fig. 1.	1, 7
A		2-6, 8-15
A	US 6362608 B1 (ASHBURN MICHAEL ANTHONY, DOLUCA TUNC, LEE CHAE KUN) 26. März 2002 (26.03.2002) Das ganze Dokument.	1-15
A	US 2004008011 A1 (WANG HUNG-I, HSIEH SHWU-LIANG, TAI LIANG- PIN, LIU JING-MENG) 15. Januar 2004 (15.01.2004) Das ganze Dokument.	1-15
A	US 4454457 A (NAKAMURA KIYOSHI, ISAKA MASAYOSHI, KOIKE SHIGEYOSHI) 12. Juni 1984 (12.06.1984) Spalte 5, Zeile 49 - Spalte 8, Zeile 3; Fig. 4A.	1-15
A	US 2006108955 A1 (KNIGHT JONATHAN, MIYANOHARA AKIHIKO) 25. Mai 2006 (25.05.2006) Absätze [0031-0036]; Fig. 3.	1-15

Datum der Beendigung der Recherche:
02.01.2017

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

MEHLMAUER Adolf

¹⁾ **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern einer Mehrzahl n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) eines LLM Stators, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erstes Betriebspotential (U_{b1}) an n erste Eingangsanschlüsse ($A_1, \dots, A_n$) von n Halbbrücken ($HB_1, \dots, HB_n$) angelegt wird, ein zweites Betriebspotential (U_{b2}) an n zweite Eingangsanschlüsse ($B_1, \dots, B_n$) der n Halbbrücken angelegt wird, **dass** je Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) ein erster Schalter ($S_{11}, \dots, S_{1n}$) zwischen einem Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der jeweiligen Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) und dem ersten Eingangsanschluss ($A_1, \dots, A_n$) geschaltet wird und je ein zweiter Schalter ($S_{21}, \dots, S_{2n}$) zwischen dem
10 Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der betreffenden Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) und dem zweiten Eingangsanschluss ($B_1, \dots, B_n$) geschaltet wird **dass** der Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der n Halbbrücken jeweils mit n ersten Anschlüssen ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) verbunden wird, **und dass** die zweiten Anschlüsse ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) in einem
15 Regelungspunkt (C) verbunden werden, der auf ein vorgegebenes Potential (U_x) geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das vorgegebene Potential (U_x) der halben Potentialdifferenz zwischen erstem Betriebspotential (U_{b1}) und zweitem Betriebspotential (U_{b2}) entspricht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Betriebspotential (U_{b2}) Null ist.
20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Istpotential (U_{xist}) am Regelungspunkt (C) erfasst und mit dem vorgegebenen Potential (U_x) verglichen wird **und dass** basierend auf einer Potentialdifferenz (dU) zwischen Istpotential (U_{xist}) und vorgegebenem Potential (U_x) ein Iststrom (I_{xist}) in den Regelungspunkt (C) eingespeist wird, um die Spannungsdifferenz (dU) auf einen vorgegebenen Wert zu regeln.
25
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Iststrom (I_{xist}) aus m um $360^\circ/m$ phasenverschobene Phasenströme (i_1, i_2, i_3) zusammengesetzt in den Regelungspunkt (C) eingespeist wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die $m > 1$ Phasenströme
30 (i_1, i_2, i_3) abhängig von dem Differenzstrom (dI) teilweise oder zur Gänze ab- bzw. angeschaltet werden.
7. Vorrichtung zum Ansteuern einer Mehrzahl n von LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) eines LLM Stators, **dadurch gekennzeichnet, dass** n Halbbrücken ($HB_1, \dots, HB_n$) mit jeweils einem ersten Eingangsanschluss ($A_1, \dots, A_n$) und einem zweiten Eingangsanschluss ($B_1, \dots, B_n$),
35 wobei pro Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) ein erster Schalter ($S_{11}, \dots, S_{1n}$) zwischen einem Mittel-

punkt ($C_1, \dots, C_n$) der Halbbrücke und dem ersten Eingangsanschluss ($A_1, \dots, A_n$) vorgesehen ist und ein zweiter Schalter zwischen dem Mittelpunkt ($C_1, \dots, C_n$) der Halbbrücke und dem zweiten Eingangsanschluss ($B_1, \dots, B_n$) vorgesehen ist, und die n ersten Eingangsanschlüsse ($A_1, \dots, A_n$) mit einem ersten Betriebspotential (U_{b1}) verbunden sind, sowie die n zweiten
 5 Eingangsanschlüsse ($B_1, \dots, B_n$) mit einem zweiten Betriebspotential (U_{b2}) verbunden sind, **dass** jeder LLM-Spule ($L_1, \dots, L_n$) eine Halbbrücke ($HB_1, \dots, HB_n$) zugeordnet ist, wobei die n Mittelpunkte ($C_1, \dots, C_n$) der n Halbbrücken jeweils mit einem ersten Anschluss ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der zugehörigen LLM-Spule ($L_1, \dots, L_n$) verbunden sind, **dass** die zweiten Anschlüsse ($L_{11}, \dots, L_{1n}$) der n LLM-Spulen ($L_1, \dots, L_n$) zu einem Regelungspunkt (C) verbunden sind
 10 **und dass** eine Regelungseinheit (3) vorhanden ist, die ein Istpotential (U_{xist}) des Regelungspunkts (C) auf ein vorgegebenes Potential (U_x) regelt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Vergleichseinheit (4) vorhanden sind, wobei die Vergleichseinheit (4) die Potentialdifferenz (dU) zwischen vorgegebenen Potential (U_x) und Istpotential (U_{xist}) im Regelungspunkt (C) ermittelt **und dass**
 15 in der Regelungseinheit (3) eine Stromquelle (I_q) vorhanden ist, die abhängig von der Potentialdifferenz (dU) einen Iststrom (I_{xist}) in den Regelungspunkt (C) einspeist um die Potentialdifferenz (dU) auf einen vorgegebenen Wert zu regeln.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stromquelle (I_q) eine Drossel (D) und eine Spannungsquelle (U_q) beinhaltet, wobei die Drossel (D) mit dem
 20 Regelungspunkt (C) verbunden ist und den Iststrom (I_{xist}) über eine von der Spannungsquelle (U_q) an der Drossel (D) erzeugte Spannung (U) erzeugt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spannungsquelle (U_q) ein PWM-Modul (PWM_1) eine Treiberhalbbrücke (6) beinhaltet, wobei das PWM-Modul (PWM_1) die Treiberbrücke (6) abhängig vom Differenzpotential (dU) regelt.

25 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Treiberhalbbrücke (6) mit GaN-Schaltern gefertigt ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vergleichseinheit (4) ein Widerstandsnetzwerk (R_1, R_2, R_3, R_4) beinhaltet, das mit dem ersten Betriebspotential (U_{b1}), dem zweiten Betriebspotential (U_{b2}) und dem Regelungspunkt (C) verbunden ist und aus dem ersten Betriebspotential (U_{b1}), dem zweiten Betriebspotential (U_{b2}) und dem Istpotential (U_{xist}) am Regelungspunkt (C) die Potentialdifferenz (dU) ermittelt.
 30

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Umwandlungseinheit (5) vorhanden ist, der mit der Vergleichseinheit (4) verbunden ist und
 35 das Differenzpotential (dU) in einen vorgegebenen Strom (I_x) wandelt, **dass** ein Sensor (S) vorhanden ist, der den Iststrom (I_{xst}) im Regelungspunkt (C) misst **und dass** ein Stromregler

(52) vorhanden ist, der eingangsseitig mit der Umwandlungseinheit (5) und dem Stromsensor (S) verbunden ist und ausgangseitig mit der Stromquelle (I_q) verbunden ist, den vorgegebenen Strom (I_x) von der Umwandlungseinheit (5) und den Iststrom (I_{xist}) vom Sensor (S) erhält, einen Differenzstrom (dI) ermittelt und damit die Stromquelle (I_q) regelt.

5 14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umwandlungseinheit (5) als PI-Regler ausgestaltet ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** $m > 1$ Stromquellen (I_{q1} , I_{q2} , I_{q3}) vorhanden sind, wobei die m Stromquellen (I_{q1} , I_{q2} , I_{q3}) mit dem Regelungspunkt (C) verbunden sind, die m Stromquellen (I_{q1} , I_{q2} , I_{q3}) jeweils einen um $360^\circ/m$ phasenverschobenen Phasenstrom (i_1 , i_2 , i_3) in den Regelungspunkt (C) einspeisen.

10