



(10) **DE 10 2012 111 922 A1** 2014.06.12

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 111 922.8**  
 (22) Anmeldetag: **07.12.2012**  
 (43) Offenlegungstag: **12.06.2014**

(51) Int Cl.: **G01R 19/00** (2006.01)  
**G01R 15/09** (2006.01)  
**G01R 19/25** (2006.01)  
**H02P 6/00** (2006.01)  
**B62D 5/04** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**ZF Lenksysteme GmbH, 73527, Schwäbisch  
 Gmünd, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

(72) Erfinder:  
**Lemmer, Paul, 73575, Leinzell, DE**

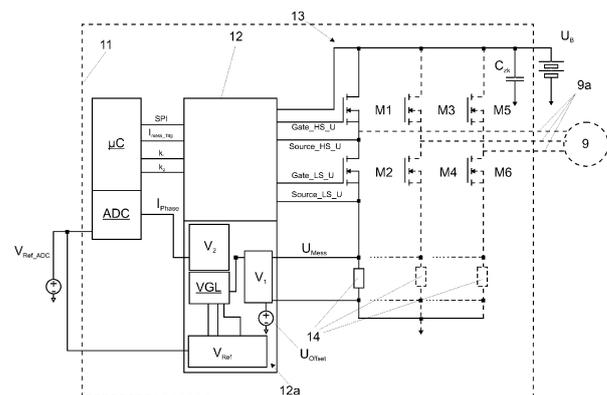
<b>DE</b>	<b>100 13 711</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 250 893</b>	<b>A</b>
<b>EP</b>	<b>0 724 161</b>	<b>A2</b>
<b>EP</b>	<b>1 384 649</b>	<b>A2</b>
<b>EP</b>	<b>1 826 899</b>	<b>A1</b>

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

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) eines Elektromotors (9), welcher als elektrischer Servoantrieb (8) in einem elektronischen Servolenksystem (1) eines Kraftfahrzeugs eingesetzt wird, welcher über eine Anzahl von Phasenwicklungen (9a) verfügt und welcher von einem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät (11) des elektronischen Servolenksystems (1) angesteuert wird, wobei wenigstens eine Messschaltung (12a) zur Messung des wenigstens einen Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) verwendet wird, welche wenigstens eine stromabhängige Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) erhält, die an wenigstens einem Messwiderstand (14) an wenigstens einer der Phasenwicklungen (9a) des Elektromotors (9) abfällt, wobei die wenigstens eine stromabhängige Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) an einen Analog-Digital-Umsetzer (ADC) des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts (11) zur Abtastung des wenigstens einen Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) geleitet wird und wobei die Messschaltung (12a) eine Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) mit einem einstellbaren Verstärkungsfaktor ( $k_{\text{verst}}$ ) derart durchführt, dass eine vorgebbare Auflösung des wenigstens einen Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) bei der Abtastung durch den Analog-Digital-Umsetzer (ADC) erreicht und gleichzeitig ein Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers (ADC) nicht überschritten wird. Die Messschaltung (12a) stellt den Verstärkungsfaktor ( $k_{\text{verst}}$ ) selbsttätig ein.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts eines Elektromotors, welcher als elektrischer Servoantrieb in einem elektronischen Servolenksystem eines Kraftfahrzeugs eingesetzt wird, gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1. Die Erfindung betrifft ebenfalls ein Verfahren zum Betrieb eines elektronischen Servolenksystems eines Kraftfahrzeugs. Außerdem betrifft die Erfindung ein elektronisches Servolenksystem eines Kraftfahrzeugs und ein elektronisches Regel- und/oder Steuergerät eines derartigen elektronischen Servolenksystems.

**[0002]** Aus der DE 100 13 711 A1 ist ein Lenksystem bekannt, das unter anderem einen Servoantrieb zur Momentenunterstützung (Servolenkung) aufweist. Der Grad der Momentenunterstützung ist bei dem beschriebenen Lenksystem abhängig von der Fahrzeuggeschwindigkeit. Während bei langsamer Fahrzeuggeschwindigkeit die Momentenunterstützung größer ist (z. B. um beim Rangieren des Fahrzeugs das Lenkrad ohne großen Kraftaufwand betätigen zu können), wird die Momentenunterstützung bei höheren Geschwindigkeiten (z. B. um die Fahrstabilität bei einer Autobahnfahrt zu erhöhen) gesenkt. Der Servoantrieb kann elektrisch oder hydraulisch arbeiten. Das in der DE 100 13 711 A1 beschriebene Lenksystem weist neben dem Servoantrieb auch Überlagerungsmittel auf, welche einen Zusatzwinkel erzeugen und den von der Lenkhandhabe vorgegebenen Lenkradwinkel mit diesem Zusatzwinkel überlagern.

**[0003]** Es ist bekannt, Elektromotoren als elektrische Servoantriebe oder Überlagerungswinkelsteller in elektronischen Servolenksystemen bzw. Überlagerungslenkssystemen einzusetzen. Zur Erzeugung der Lenkunterstützung oder der Winkelüberlagerung wird der dem Elektromotor zugeführte Strom gemessen und geregelt. Der Strommessbereich in einem elektronischen Servolenksystem (electric power steering/ EPS) liegt für den Phasenstrom des Elektromotors bei bis zu +/-200 A. Gleichzeitig soll ein Strom von < 50 mA aufgelöst werden. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der stets auftretenden Fehler von Analog-Digital-Umsetzern (ADC) und unter Nutzung von nur einem Verstärkungsfaktor in der Signalaufbereitung, wird ein Analog-Digital-Umsetzer mit 14-Bit-Auflösung oder höher benötigt.

**[0004]** Derartige hochauflösende Analog-Digital-Umsetzer sind im Automotivebereich im Bereich der Leistungselektronik nicht gängig, d. h. erfordern spezielle, vergleichsweise teure Mikrocontroller mit integriertem hochauflösendem ADC. Darüber hinaus verursachen Störspannungen auf dem Bordnetz sowie Eigenstörungen, die insbesondere im Leistungsteil des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts

des Servolenksystems auftreten, zusätzliches ADC-Rauschen, so dass die niederwertigen Bits der sehr hoch auflösenden ADCs nicht verwendet werden können.

**[0005]** Aus der Praxis ist es daher bekannt, in elektronischen Servolenksystemen bei der Strommessung eine mehrstufige Stromverstärkung einzusetzen, die abhängig von dem tatsächlichen Strom den Verstärkungsfaktor der Signalaufbereitung derart einstellt, dass eine ausreichend große Auflösung erreicht wird.

**[0006]** Für die Messung des Stroms an der jeweiligen Phasenwicklung bzw. Phasenwindung des Elektromotors werden Messwiderstände bzw. sogenannte Shunts verwendet. Lenksysteme mit 3-Phasen-Motoren können je nach Konfiguration drei, zwei oder nur einen Shunt aufweisen. Der Aufwand zur Berechnung aller drei Phasenströme wird dann bei 2-Shunt- oder 1-Shunt-Systemen von der Hardware in eine intelligente Software verlagert.

**[0007]** Beispielsweise ergibt sich mit einem Messwiderstand von 1 mOhm, einem Verstärkungsfaktor von 100, einem Analog-Digital-Umsetzer mit einer Auflösung von 10 Bit und einer Referenzspannung von 3,3 V eine Stromauflösung in A / LSB (least significant bit) zu:

$$1 \text{ A} / (1 \text{ A} \cdot 1 \text{ mOhm} \cdot 100 / 3,3 \text{ V} \cdot (2^{10} - 1) \text{ LSB}) = 32,25 \text{ mA/LSB.}$$

**[0008]** Mit dieser Auflösung lässt sich im Idealfall ein Strom im Bereich von -16,5 A bis +16,5 A einlesen, um in dem Auflösungsbereich bzw. dem zulässigen Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers zu bleiben. Mit einem Verstärkungsfaktor von 10 und ansonsten gleichen Werten ergibt sich die Stromauflösung zu:

$$1 \text{ A} / (1 \text{ A} \cdot 1 \text{ mOhm} \cdot 10 / 3,3 \text{ V} \cdot (2^{10} - 1) \text{ LSB}) = 322,6 \text{ mA/LSB.}$$

**[0009]** Um positive und negative Ströme erfassen zu können, ist die Verstärkerschaltung in der Regel so ausgelegt, dass sich bei 0 A die Hälfte des Maximalwerts des Analog-Digital-Umsetzers ergibt, d. h.  $2^{10}/2 = 512 \text{ LSB}$ .

**[0010]** Für die über den Messwiderstand eingelesenen Phasenstromwerte gibt es jeweils eine Signalaufbereitung, insbesondere durch eine Messschaltung. Die Signalaufbereitung bzw. die Messschaltung kann z. B. im Endstufentreiber des Steuergeräts integriert sein. Üblicherweise existiert nur ein Ausgang von der Signalaufbereitungsschaltung zum Analog-Digital-Umsetzer. Es ist bekannt, den von der Signalaufbereitung anzuwendenden Verstärkungsfaktor über eine serielle Schnittstelle von dem Mikrocon-

troller des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts softwaremäßig vorzugeben.

**[0011]** Ein derartig umschaltbarer Verstärkungsfaktor ist im Vergleich zu mehrfach vollständig implementierten Verstärkern deutlich kostengünstiger. Der Nachteil besteht jedoch darin, dass der Verstärkungsfaktor für den nächsten Messwert so gewählt werden muss, dass die Stromauflösung im gewünschten Bereich ist und der Analog-Digital-Umsetzer bei dieser Auflösung noch innerhalb seines Messbereichs ist. Dies ist für einen zweistufigen Verstärker zwar realisierbar, bei der Verwendung von mehr als zwei Stufen ist die Umschaltung jedoch nicht mehr genau berechenbar und muss aufwändig über Versuchsreihen verifiziert werden. Mehr als zwei Verstärkerstufen sind dann sinnvoll, wenn eine hohe Auflösung bei gleichzeitig hohen Maximalströmen gefordert ist.

**[0012]** Ausgehend davon liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts eines Elektromotors der eingangs erwähnten Art zu verbessern.

**[0013]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts eines Elektromotors gelöst, welcher als elektrischer Servoantrieb, insbesondere zur Lenkunterstützung oder als Überlagerungswinkelsteller, in einem elektronischen Servolenksystem eines Kraftfahrzeugs eingesetzt wird, welcher über eine Anzahl von Phasenwicklungen bzw. Phasenwindungen verfügt und welcher von einem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät des elektronischen Servolenksystems angesteuert und/oder geregelt wird, wobei wenigstens eine Messschaltung zur Messung des wenigstens einen Phasenstromwerts verwendet wird, welche insbesondere an ihrem Eingang wenigstens eine stromabhängige Spannung erhält, die an wenigstens einem Messwiderstand an wenigstens einer der Phasenwicklungen des Elektromotors abfällt, wobei die wenigstens eine stromabhängige Spannung an einen Analog-Digital-Umsetzer des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts bzw. an einen Eingang des Analog-Digital-Umsetzers zur Abtastung des wenigstens einen Phasenstromwerts geleitet wird, wobei die Messschaltung eine Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung mit einem einstellbaren Verstärkungsfaktor derart durchführt, dass eine vorgebbare Auflösung des wenigstens einen Phasenstromwerts bei der Abtastung durch den Analog-Digital-Umsetzer erreicht und gleichzeitig ein Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers nicht überschritten wird, und wobei die Messschaltung den Verstärkungsfaktor selbsttätig einstellt.

**[0014]** Durch diese Maßnahmen wird die Einstellung der Stromverstärkung in vorteilhafter Weise in die Messschaltung, d. h. in die Hardware, verlagert. Die Messschaltung kann eine Signalaufbereitungseinheit aufweisen bzw. als solche ausgebildet sein. Dadurch kann die Verstärkungseinstellung exakt in der Messschaltung realisiert werden, ohne softwaremäßig auf Versuchsreihen bzw. Erfahrungswerte zurückgreifen zu müssen.

**[0015]** Für die Wahl des Verstärkungsfaktors ist die an dem den Messwiderstand der jeweiligen Phasenwicklung abfallende stromabhängige Spannung maßgeblich. Selbstverständlich kann jede Phasenwicklung eine Messschaltung aufweisen. Zudem ist es auch denkbar, dass lediglich zwei Messschaltungen für zwei Phasen vorhanden sind, da der dritte Phasenstrom über die beiden anderen gemessenen Phasenströme ermittelt werden kann. Auch besteht die Möglichkeit, die Strommessung für die jeweilige Phase entsprechend umzuschalten. Sonach wird die Verstärkung nicht von dem auf dem Regel- und/oder Steuergerät laufenden Computerprogramm anhand des letzten gemessenen Stromwerts festgelegt, sondern es wird die anliegende stromabhängige Spannung erfasst und ein optimaler Verstärkungsfaktor derart gewählt, dass die maximale Spannung des Analog-Digital-Umsetzers nicht überschritten wird.

**[0016]** Der Verstärkungsfaktor wird somit in vorteilhafter Weise unabhängig vom Lastzustand und dem damit verbundenen Motorphasenstrom des elektronischen Servolenksystems immer so eingestellt, dass die Auflösung ausreichend hoch ist. Es kann ein Mikrocontroller mit einem günstigen 8 Bit oder 10 Bit Analog-Digital-Umsetzer verwendet werden. Der Testaufwand bezüglich der Umschaltung der Verstärkungsfaktoren wird reduziert, da keine aufwändigen Testreihen durchgeführt werden müssen. Zudem wird nur eine Version der auf dem Regel- und/oder Steuergerät ablaufenden Software benötigt, welche alle Leistungsklassen von elektronischen Servolenksystemen mit jeweils unterschiedlich hohen maximalen Strömen abdeckt. Die Messschaltung bzw. die Signalaufbereitungseinheit soll vorzugsweise in eine Endstufentreiberschaltung bzw. in einen entsprechenden IC (integrated circuit) integriert werden.

**[0017]** Bei der Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung können wenigstens eine, vorzugsweise zwei Verstärkungsstufen verwendet werden. Wenigstens eine erste Verstärkungsstufe kann die wenigstens eine stromabhängige Spannung insbesondere an ihrem Eingang erhalten und mit einem vorgegebenen minimalen ersten Teilverstärkungsfaktor verstärken. Zusätzlich kann wenigstens eine zweite Verstärkungsstufe, die von der wenigstens einen ersten Verstärkungsstufe verstärkte wenigstens eine stromabhängige Spannung insbesondere an ihrem Eingang erhalten und diese mit ei-

nem variabel einstellbaren zweiten Teilverstärkungsfaktor verstärken.

**[0018]** Sehr vorteilhaft ist es, wenn anhand der mit dem vorgegebenen minimalen ersten Teilverstärkungsfaktor verstärkten wenigstens einen stromabhängigen Spannung an dem Ausgang der wenigstens einen ersten Verstärkungsstufe der variabel einstellbare zweite Teilverstärkungsfaktor der zweiten Verstärkungsstufe ermittelt wird. Sonach kann eine erste Verstärkungsstufe dazu verwendet werden, um zu entscheiden, welcher Verstärkungsfaktor bzw. Teilverstärkungsfaktor an der wenigstens einen zweiten Verstärkungsstufe eingestellt wird. Beispielsweise kann bei einer gemessenen Spannung von 1 V an der ersten Verstärkungsstufe im Falle eines Analog-Digital-Umsetzers mit maximal 3,3 V noch ein zweiter Teilverstärkungsfaktor von maximal 3,3 verwendet werden.

**[0019]** Der variabel einstellbare zweite Teilverstärkungsfaktor der wenigstens einen zweiten Verstärkungsstufe kann derart, insbesondere mittels eines Komparators, bestimmt werden, dass die insbesondere an den Eingang des Analog-Digital-Umsetzers geleitete verstärkte stromabhängige Spannung maximal ist, wobei ein Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers nicht überschritten wird. Die Messschaltung bzw. die Signalaufbereitungseinheit misst über die erste Verstärkerstufe (mit einer Minimalverstärkung) den Spannungsabfall über dem Messwiderstand und entscheidet anhand der Spannung am Ausgang der ersten Stufe, welche Verstärkung für die zweite Stufe gewählt wird (adaptive Verstärkungseinstellung). Ziel ist es, die zweite Stufe so zu wählen, dass sich eine möglichst große Spannung am Analog-Digital-Umsetzer ergibt, ohne dass der Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers übersteuert wird. Der typische Messbereich eines Analog-Digital-Umsetzers ist 0 bis 3,3 V.

**[0020]** Der einstellbare Verstärkungsfaktor der Messschaltung kann sich aus dem ersten Teilverstärkungsfaktor und dem zweiten Teilverstärkungsfaktor, insbesondere durch Multiplikation des ersten Teilverstärkungsfaktors mit dem zweiten Teilverstärkungsfaktor ergeben.

**[0021]** Vorteilhaft ist es, wenn das Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung, insbesondere nach ihrer Verstärkung durch die wenigstens eine erste Verstärkungsstufe, ermittelt wird. Hierdurch kann die Stromauflösung weiter erhöht werden.

**[0022]** Dazu kann eine Offset-Spannung des Analog-Digital-Umsetzers der Messschaltung bzw. der Signalaufbereitungseinheit auf null gesetzt werden.

**[0023]** Bei einem positiven Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung kann wenigstens eine nicht-invertierende Verstärkungsstufe als die wenigstens eine zweite Verstärkungsstufe verwendet werden, wobei bei einem negativen Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung wenigstens eine invertierende Verstärkungsstufe als die wenigstens eine zweite Verstärkungsstufe verwendet werden kann.

**[0024]** Optional kann die Auflösung weiter erhöht werden, wenn nach der ersten Verstärkungsstufe die Offsetspannung auf null gesetzt wird. Wird die resultierende Spannung positiv, ist der gemessene Strom positiv. Ist die resultierende Spannung negativ, ist der gemessene Strom negativ. Das Vorzeichen kann dann über ein digitales Signal zwischen der Signalaufbereitungseinheit und dem Mikrocontroller des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts mitgeteilt oder von der Signalaufbereitungseinheit in einem Speicher abgelegt werden, auf welchen der Mikrocontroller des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts zugreift. Für die zweite Verstärkungsstufe wird dann bei positivem Strom ein nicht-invertierender Verstärker, bei negativem Strom ein invertierender Verstärker verwendet.

**[0025]** Die Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung kann von der Messschaltung automatisch geregelt werden, wobei der einstellbare Verstärkungsfaktor derart eingestellt wird, dass die stromabhängige Spannung stets einen definierten Maximalwert annimmt, welcher im Bereich eines vorgebbaren Messzeitfensters konstant gehalten wird.

**[0026]** Alternativ zur stufenförmigen bzw. stufigen Einstellung der Verstärkung kann auch eine automatische Verstärkungsregelung verwendet werden, welche dafür sorgt, dass der Verstärkungsfaktor stets so eingestellt wird, dass die Spannung an dem Analog-Digital-Umsetzer einen definierten maximalen Wert, beispielsweise von 3 Volt, annimmt. Der durch die Regelung eingestellte Verstärkungsfaktor wird dann im Bereich eines Messfensters konstant gehalten. In diesem Messfenster findet dann die Analog-Digital-Umwandlung statt. Das Zeitfenster kann über ein Signal vom Mikrocontroller des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts oder über eine serielle Schnittstelle vorgegeben werden.

**[0027]** Der von der Messschaltung gewählte einstellbare Verstärkungsfaktor und/oder das ermittelte Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung kann in einem Speicherelement, insbesondere des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts, abgelegt oder als digitales Signal, insbesondere an einen Mikrocontroller des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts, übermittelt werden.

**[0028]** Durch diese Maßnahmen können dem auf dem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät ablaufenden Computerprogramm zur Steuerung bzw. Regelung des Elektromotors der zur Berechnung des tatsächlichen Stroms notwendige einstellbare Verstärkungsfaktor und/oder das ermittelte Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung angezeigt werden.

**[0029]** Der wenigstens eine von dem Analog-Digital-Umsetzer abgetastete Phasenstromwert kann um den von der Messschaltung gewählten einstellbaren Verstärkungsfaktor bereinigt werden.

**[0030]** Die Messschaltung kann ein Triggersignal zum Start des Messvorgangs von dem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät erhalten, wenn die wenigstens eine stromabhängige Spannung, welche an dem wenigstens einen Messwiderstand an wenigstens einer der Phasenwicklung des Elektromotors abfällt, gültig ist. Sonach kann der Messschaltung in vorteilhafter Weise ein Signal zum Start des Messvorgangs übermittelt werden.

**[0031]** In Anspruch 15 ist ein Verfahren zum Betrieb eines elektronischen Servolenksystems eines Kraftfahrzeugs angegeben.

**[0032]** Anspruch 16 betrifft ein elektronisches Servolenksystem eines Kraftfahrzeugs.

**[0033]** Eine Endstufentreiberschaltung für die Endstufe des Regel- und/oder Steuergeräts des elektronischen Servolenksystems kann die Messschaltung aufweisen.

**[0034]** Die Messschaltung kann wenigstens zwei Verstärkungstufen aufweisen.

**[0035]** Das elektronische Regel- und/oder Steuergerät kann die Endstufentreiberschaltung aufweisen.

**[0036]** Die Messschaltung kann wenigstens einen Komparator aufweisen.

**[0037]** In Anspruch 21 ist ein elektronisches Regel- und/oder Steuergerät eines elektronischen Servolenksystems angegeben.

**[0038]** Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen. Nachfolgend ist anhand der Zeichnung prinzipiell ein Ausführungsbeispiel der Erfindung angegeben.

**[0039]** Es zeigen:

**[0040]** Fig. 1 eine vereinfachte schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen elektronischen Servolenksystems; und

**[0041]** Fig. 2 ein vereinfachtes Schaltbild einer Ansteuerung eines Elektromotors mittels einer Endstufentreiberschaltung in einem Servoantrieb des erfindungsgemäßen elektronischen Servolenksystems.

**[0042]** In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßes elektronisches bzw. elektromechanisches Servolenksystem **1** eines nicht dargestellten Kraftfahrzeugs stark vereinfacht dargestellt. Das elektronische Servolenksystem **1** weist eine als Lenkrad ausgebildete Lenkhandhabe **2** auf. Das Lenkrad **2** ist über eine Lenksäule bzw. Gelenkwelle **3** mit einem Lenkgetriebe **4** verbunden. Das Lenkgetriebe **4** dient dazu, einen Drehwinkel der Gelenkwelle **3** in einen Lenkwinkel  $\delta_{Fm}$  von lenkbaren Rädern **5a**, **5b** des Kraftfahrzeugs umzusetzen. Das Lenkgetriebe **4** weist dazu eine Zahnstange **6** und ein Ritzel **7** auf, an welches die Gelenkwelle **3** angreift. Darüber hinaus weist das elektronische Servolenksystem **1** einen elektrischen Servoantrieb **8** auf, welcher insbesondere der variablen Momentenunterstützung dient. Der elektrische Servoantrieb **8** weist einen Elektromotor **9** zur Realisierung der Momentenunterstützung über ein Riemengetriebe **10** auf. Das Riemengetriebe **10** weist ein Antriebsritzel und eine Riemenscheibe zur Übertragung der Momentenunterstützung über ein Kugelumlaufgetriebe (in Fig. 1 nicht dargestellt) auf die Zahnstange **6** des elektronischen Servolenksystems **1** auf. Des Weiteren ist ein elektronisches Regel- und/oder Steuergerät **11** zur Ansteuerung und Regelung des Elektromotors **9** vorgesehen. Die Erfindung ist nachfolgend anhand eines elektronischen Servolenksystems **1** mit einem Riemengetriebe **10** und einem separaten Kugelumlaufgetriebe zur Übertragung der Unterstützungskraft auf die Zahnstange **6**, wie beispielsweise aus der DE 100 52 275 A1 bekannt, beschrieben. Für weitere elektrische Lenksystemtechnologien mit Momenten- bzw. Lenkunterstützung lassen sich jedoch mit geringfügigen Änderungen gleiche erfindungsgemäße Umsetzungen erzielen. Auch kann der Elektromotor ein Überlagerungswinkelsteller sein, wenn es sich bei dem erfindungsgemäßen Servolenksystem um ein Überlagerungslenkensystem handelt (nicht dargestellt).

**[0043]** In den Figuren sind funktionsgleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen.

**[0044]** Fig. 2 zeigt ein vereinfachtes Schaltbild einer Ansteuerung bzw. Regelung des Elektromotors **9** mittels einer Endstufentreiberschaltung **12** in dem erfindungsgemäßen elektronischen Servolenksystem **1**. Als Elektromotor **9** kann eine permanenterregte Synchronmaschine zum Einsatz kommen. Der Elektromotor **9** weist drei Phasenwicklungen **9a** auf (in Fig. 2 vereinfacht gestrichelt angedeutet). Zum Betrieb des Elektromotors **9** ist ein dreiphasiger Wechselrichter **13** mit Transistoren, vorzugsweise Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFET), M1, M2, M3, M4, M5 und M6 als elektronische Schalter vorgese-

hen, welcher von dem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät **11** bzw. dessen Mikrocontroller  $\mu\text{C}$  über die Endstufentreiberschaltung **12** angesteuert wird. Das elektronische Regel- und/oder Steuergerät **11** ist in **Fig. 2** nur stark vereinfacht gestrichelt angedeutet und kann je nach Implementierung auch die Endstufentreiberschaltung **12** und/oder den Wechselrichter **13** umfassen. Die oberen (high-side) MOSFETs M1, M3 und M5 schalten die jeweilige Phasenwicklung **9a** auf eine Bordnetzspannung  $U_B$ , während die unteren (low-side) MOSFETs M2, M4 und M6 die jeweilige Phasenwicklung **9a** auf das Massepotential schalten. In dem Wechselrichter **13** ist sonach für jede Phasenwicklung **9a** des Elektromotors **9** ein erster elektronischer Schalter M1, M3 und M5 zum Schalten einer Bordnetzspannung  $U_B$  bzw. einer Batteriespannung des Kraftfahrzeugs und ein zweiter elektronischer Schalter M2, M4 und M6 zum Schalten eines Massepotentials an der jeweiligen Phasenwicklung **9a** des Elektromotors **9** vorhanden. Ein Zwischenkreiskondensator ist mit dem Bezugszeichen  $C_{zk}$  versehen. In **Fig. 2** ist exemplarisch nur die Ansteuerung der MOSFETs M1 und M2 über die Leitungen Gate\_HS\_U, Source\_HS\_U, Gate\_LS\_U, Source\_LS\_U näher dargestellt. Die Ansteuerung der MOSFETs M3, M4, M5 und M6 erfolgt jedoch analog. Darüber hinaus weist die Endstufentreiberschaltung **12** wenigstens eine Messschaltung **12a** zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts  $I_{\text{Phase}}$  an wenigstens einer der Phasenwicklungen **9a** auf. Für die Messung des Stroms an der jeweiligen Phasenwicklung **9a** des Elektromotors **9** sind Messwiderstände **14** bzw. Shunts vorhanden. Grundsätzlich kann ein Messwiderstand **14** je Phasenwicklung **9a** vorhanden sein (gestrichelt angedeutet). Es ist in der Regel jedoch ausreichend die Ströme von zwei Phasenwicklungen **9a** zu messen, da der Strom der verbleibenden dritten Phasenwicklung **9a** in einfacher Weise berechnet werden kann, da die Summe aller Phasenstromwerte  $I_{\text{Phase}}$  gleich Null sein muss. Wenigstens zwei Phasenstromwerte  $I_{\text{Phase}}$  werden typischerweise gleichzeitig gemessen. Daher kann eine Messschaltung **12a** je Messwiderstand **14** vorhanden sein (nicht dargestellt). Alternativ dazu könnte auch nur eine Messschaltung **12a** vorhanden sein, welche zwischen den Phasenwicklungen **9a** umschaltet.

**[0045]** Über einen Analog-Digital-Umsetzer ADC kann das elektronische Regel- und/oder Steuergerät **11** bzw. dessen Mikrocontroller  $\mu\text{C}$  den Phasenstromwert  $I_{\text{Phase}}$  bestimmen.

**[0046]** Das elektronische Regel- und/oder Steuergerät **11** ist zur Durchführung eines Verfahrens zum Betrieb des elektronischen Servolenksystems **1** des Kraftfahrzeugs eingerichtet, bei welchem mittels der Lenkhandhabe **1** ein Lenkradwinkel  $\delta_s$  als Maß für einen gewünschten Radlenkwinkel  $\delta_{Fm}$  für wenigstens ein lenkbares Rad **5a**, **5b** des Kraftfahrzeugs vorgegeben wird und bei welchem der elektrische

Servoantrieb **8** mit dem Elektromotor **9** eingesetzt wird, welcher über die Anzahl von Phasenwicklungen **9a** verfügt und welcher von dem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät **11** des elektronischen Servolenksystems **1** mit Hilfe eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts  $I_{\text{Phase}}$  des Elektromotors **9** angesteuert und/oder geregelt wird.

**[0047]** Die Steuerung und/oder Regelung des Elektromotors **9** erfolgt mit Hilfe eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Messung des wenigstens einen Phasenstromwerts  $I_{\text{Phase}}$  des Elektromotors **9**, wobei die wenigstens eine Messschaltung **12a** zur Messung des wenigstens einen Phasenstromwerts  $I_{\text{Phase}}$  verwendet wird, welche an ihrem Eingang wenigstens eine stromabhängige Spannung  $U_{\text{mess}}$  erhält, die an dem wenigstens einen Messwiderstand **14** an wenigstens einer der Phasenwicklungen **9a** des Elektromotors **9** abfällt, wobei die wenigstens eine stromabhängige Spannung  $U_{\text{mess}}$  an einen Eingang des Analog-Digital-Umsetzers ADC des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts **11** zur Abtastung des wenigstens einen Phasenstromwerts  $I_{\text{Phase}}$  geleitet wird und wobei die Messschaltung **12a** eine Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung  $U_{\text{mess}}$  mit einem einstellbaren Verstärkungsfaktor  $k_{\text{verst}}$  derart durchführt, dass eine vorgebbare Auflösung des wenigstens einen Phasenstromwerts  $I_{\text{Phase}}$  bei der Abtastung durch den Analog-Digital-Umsetzer ADC erreicht und gleichzeitig ein Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers ADC nicht überschritten wird, wobei die Messschaltung **12a** den Verstärkungsfaktor  $k_{\text{verst}}$  selbsttätig einstellt.

**[0048]** Bei der Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung  $U_{\text{mess}}$  werden zwei Verstärkungsstufen  $V_1$  und  $V_2$  verwendet. Wie aus **Fig. 2** ersichtlich, weist die Messschaltung **12a** die zwei Verstärkungsstufen  $V_1$  und  $V_2$  auf. In einem weiteren nicht dargestellten Ausführungsbeispiel können auch nur eine oder mehr als zwei Verstärkungsstufen verwendet werden.

**[0049]** Die erste Verstärkungsstufe  $V_1$  erhält die stromabhängige Spannung  $U_{\text{mess}}$  an ihrem Eingang und verstärkt diese mit einem vorgegebenen minimalen ersten Teilverstärkungsfaktor  $k_1$ . Die zweite Verstärkungsstufe  $V_2$  erhält die von der ersten Verstärkungsstufe  $V_1$  verstärkte stromabhängige Spannung  $U_{\text{mess}}$  an ihrem Eingang und verstärkt diese wiederum mit einem variabel einstellbaren zweiten Teilverstärkungsfaktor  $k_2$ .

**[0050]** Anhand der mit dem vorgegebenen minimalen ersten Teilverstärkungsfaktor  $k_1$  verstärkten wenigstens einen stromabhängigen Spannung  $U_{\text{mess}}$  an dem Ausgang der ersten Verstärkungsstufe  $V_1$  wird der variabel einstellbare zweite Teilverstärkungsfaktor  $k_2$  der zweiten Verstärkungsstufe  $V_2$  ermittelt.

**[0051]** Die Messschaltung **12a** kann auch als Signalaufbereitungseinheit ausgebildet sein.

**[0052]** Wie aus **Fig. 2** ersichtlich wird der variabel einstellbare zweite Teilverstärkungsfaktor  $k_2$  der zweiten Verstärkungsstufe  $V_2$  derart mittels eines Komparators VGL bestimmt, dass die an dem Eingang des Analog-Digital-Umsetzers ADC anliegende verstärkte stromabhängige Spannung  $U_{\text{mess}}$  maximal ist, wobei ein Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers ADC nicht überschritten wird.

**[0053]** Der resultierende einstellbare Verstärkungsfaktor  $k_{\text{verst}}$  der Messschaltung **12a** ergibt sich aus dem ersten Teilverstärkungsfaktor  $k_1$  und dem zweiten Teilverstärkungsfaktor  $k_2$  insbesondere durch Multiplikation des ersten Teilverstärkungsfaktors  $k_1$  mit dem zweiten Teilverstärkungsfaktor  $k_2$ .

**[0054]** Der wenigstens eine von dem Analog-Digital-Umsetzer ADC abgetastete Phasenstromwert  $I_{\text{phase}}$  wird um den von der Messschaltung **12a** gewählten einstellbaren Verstärkungsfaktor  $k_{\text{verst}}$  bereinigt.

**[0055]** Wie aus **Fig. 2** weiter ersichtlich, erhält die Messschaltung **12a** ein Triggersignal  $I_{\text{mess\_Trig}}$  zum Start des Messvorgangs von dem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät **11** bzw. dem Mikrocontroller  $\mu\text{C}$ , wenn die wenigstens eine stromabhängige Spannung  $U_{\text{mess}}$ , welche an dem Messwiderstand **14** an der Phasenwicklung **9a** des Elektromotors **9** abfällt, gültig ist.

**[0056]** Die in **Fig. 2** mit dem Bezugszeichen  $V_{\text{Ref}}$  versehene Einheit stellt für den Komparator VGL die entsprechenden Referenzspannungen für die unterschiedlichen einzustellenden Teilverstärkungsfaktoren  $k_2$  zur Verfügung. Eine Referenzspannung des Analog-Digital-Umsetzers ADC ist mit dem Bezugszeichen  $V_{\text{Ref\_ADC}}$  versehen.

**[0057]** Ein Zusammenhang zwischen dem Phasenstromwert  $I_{\text{phase}}$  und dem Rohwert  $\text{ADC}_{\text{Rohwert}}$  des Analog-Digital-Umsetzers ADC ist wie folgt:

$$\text{ADC}_{\text{Rohwert}} = (I_{\text{phase}} \cdot R_{\text{shunt}} \cdot k_{\text{verst}} + U_{\text{Offset}}) \cdot \text{ADC}_{\text{max}} / V_{\text{Ref\_ADC}}(1),$$

mit  $\text{ADC}_{\text{max}}$ : maximaler Rohwert des Analog-Digital-Umsetzers ADC, welcher bei einem Analog-Digital-Umsetzer ADC mit 10 Bit,  $2^{10} - 1$  beträgt;

$\text{ADC}_{\text{Rohwert}}$ : über dem Mikrocontroller  $\mu\text{C}$  bzw. die Software eingelesener Rohwert des Analog-Digital-Umsetzers ADC im Bereich von 0 bis  $\text{ADC}_{\text{max}}$ ;

$V_{\text{Ref\_ADC}}$ : Referenzspannung des Analog-Digital-Umsetzers ADC, welche typischerweise 3,3 Volt beträgt;

$U_{\text{Offset}}$ : konstante Spannung auf den die stromabhängige Spannung  $U_{\text{mess}}$  (positiv oder negativ) addiert wird, welche typischerweise  $V_{\text{Ref\_ADC}} / 2 = 1,65$  Volt beträgt;

$R_{\text{shunt}}$ : Wert des Messwiderstands **14** über dem die stromabhängige Spannung  $U_{\text{mess}}$  abfällt, welcher typischerweise im Bereich weniger mOhm liegt;

$I_{\text{phase}}$ : Phasenstrom der über den Messwiderstand **14** fließt; und

$k_{\text{verst}}$ : variabler Verstärkungsfaktor, welcher sich aus dem ersten Teilverstärkungsfaktor  $k_1$  und dem zweiten Teilverstärkungsfaktor  $k_2$  ergibt.

**[0058]** Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird eine Messschaltung **12a** mit einer stufigen Verstärkung von 10, 20, 40 und 80 verwendet. Es ergibt sich daher für einen angenommenen maximalen Strom von  $\pm 100$  A bei vollem ADC-Ausschlag in Abhängigkeit der jeweiligen Verstärkung:

$$I_{\text{max}10} = 100 \text{ A};$$

$$I_{\text{max}20} = I_{\text{max}10} / 2 = 50 \text{ A};$$

$$I_{\text{max}40} = I_{\text{max}10} / 4 = 25 \text{ A}; \text{ und}$$

$$I_{\text{max}80} = I_{\text{max}10} / 8 = 12,5 \text{ A}.$$

**[0059]** Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Ablauf der Strommessung wie folgt:

1. Die Messschaltung **12a** bekommt als Eingangssignal das Triggersignal  $I_{\text{mess\_Trig}}$  von dem Mikrocontroller  $\mu\text{C}$ , welches besagt, dass der Strom bzw. die Spannung über dem Messwiderstand **14** jetzt gültig ist. Dies ist nötig, da die Strommessung mit der PWM-Signalausgabe der Endstufentreiberschaltung **12** an den Elektromotor **9** synchronisiert wird.

2. Die Messschaltung **12a** weist zwei Verstärkungsstufen  $V_1$  und  $V_2$  auf. Die erste Verstärkungsstufe  $V_1$  hat den kleinstmöglichen Teilverstärkungsfaktor  $k_1$ . Die zweite Verstärkungsstufe  $V_2$  hat den variablen zweiten Teilverstärkungsfaktor  $k_2$ .

3. Die Messschaltung **12a** misst dann über die erste Verstärkungsstufe  $V_1$  mit der Minimalverstärkung von 15 den Spannungsabfall über dem Messwiderstand **14** und entscheidet anhand der stromabhängigen Spannung  $U_{\text{mess}}$  am Ausgang der ersten Verstärkungsstufe  $V_1$ , welche Verstärkung für die zweite Verstärkungsstufe  $V_2$  gewählt wird (adaptive Verstärkungseinstellung). Ziel ist es, die zweite Verstärkungsstufe  $V_2$  so zu wählen, dass sich eine möglichst große Spannung  $U_{\text{mess}}$  an dem Analog-Digital-Umsetzer ADC ergibt, ohne dass der Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers ADC übersteuert wird. Der typische Messbereich eines Analog-Digital-Umsetzers ADC ist 0 bis 3,3 Volt.

**[0060]** Der Vergleichsalgorithmus, welcher durch den Komparator VGL und dessen Referenzspannungen  $V_{\text{Ref}}$  lautet wie folgt:

Wenn  $I_{\text{phase}} \cdot R_{\text{shunt}} \cdot 10 < (V_{\text{Ref\_ADC}} - U_{\text{Offset}}) / 8$ , dann  $k_{\text{verst}} = 80$  bzw.  $k_1 = 10$  und  $k_2 = 8$ ,

sonst

Wenn  $I_{\text{phase}} \cdot R_{\text{shunt}} \cdot 10 < (V_{\text{Ref\_ADC}} - U_{\text{Offset}}) / 4$ , dann  $k_{\text{verst}} = 40$  bzw.  $k_1 = 10$  und  $k_2 = 4$ ,

sonst

Wenn  $I_{\text{phase}} \cdot R_{\text{shunt}} \cdot 10 < (V_{\text{Ref\_ADC}} - U_{\text{Offset}})/2$ , dann  $k_{\text{verst}} = 20$  bzw.  $k_1 = 10$  und  $k_2 = 2$ ,

sonst  $k_{\text{verst}} = 10$  bzw.  $k_1 = 10$  und  $k_2 = 1$ .

Dabei ist die Offsetspannung  $U_{\text{Offset}}$  typischerweise  $V_{\text{Ref\_ADC}}/2 = 1,65$  Volt. Die Vergleichsreferenzspannungen  $V_{\text{Ref}}$  ergeben sich zu  $V_{\text{Ref}} = (V_{\text{Ref\_ADC}} - U_{\text{Offset}})/k_2$ , d.h. im vorliegenden Ausführungsbeispiel zu 0,825 V bei  $k_2 = 2$ ; 0,4125 V bei  $k_2 = 4$  oder 0,20625 V bei  $k_2 = 8$ .

**[0061]** Um den von der Messschaltung **12a** gewählten Verstärkungsfaktor  $k_{\text{verst}}$  in der Software bzw. auf dem Mikrocontroller  $\mu\text{C}$  berücksichtigen zu können, wird der gewählte Verstärkungsfaktor  $k_{\text{verst}}$  bzw.  $k_1$  und  $k_2$  von der der Messschaltung **12a** entweder in einem internen Speicher abgelegt, auf welchen beispielsweise über eine serielle Schnittstelle SPI zugegriffen werden kann oder direkt über digitale Signale  $k_1$ ,  $k_2$  zwischen der Messschaltung **12a** und dem Mikrocontroller  $\mu\text{C}$  angezeigt. Als digitale Signale kommen für  $k_1$  und  $k_2$  z.B. "00" für eine Verstärkung von 10, "01" für eine Verstärkung von 20, "10" für eine Verstärkung von 40 und "11" für eine Verstärkung von 80 in Frage.

**[0062]** Optional kann das Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung  $U_{\text{mess}}$  insbesondere an dem Ausgang der wenigstens einen ersten Verstärkungsstufe  $V_1$  ermittelt werden. Dazu wird die Offsetspannung  $U_{\text{Offset}}$  des Analog-Digital-Umsetzers ADC auf null gesetzt. Bei einem positiven Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung  $U_{\text{mess}}$  wird eine nicht invertierende Verstärkungsstufe als zweite Verstärkungsstufe  $V_2$  verwendet, wobei bei einem negativen Vorzeichen der stromabhängigen Spannung  $U_{\text{mess}}$  eine invertierende Verstärkungsstufe als die zweite Verstärkungsstufe  $V_2$  verwendet wird. Somit kann optional die Auflösung weiter erhöht werden, wenn nach der ersten Verstärkungsstufe  $V_1$  die Offsetspannung  $U_{\text{Offset}}$  auf null gesetzt wird. Wird die resultierende Spannung positiv, ist der gemessene Strom positiv; ist die resultierende Spannung negativ, ist der gemessene Strom negativ. Das Vorzeichen wird dann über ein digitales Signal von der Messschaltung **12a** an den Mikrocontroller  $\mu\text{C}$  übermittelt bzw. in einem Speicher abgelegt, auf welchen der Mikrocontroller  $\mu\text{C}$  dann zugreift (nicht dargestellt). Dazu kann folgender Vergleichsalgorithmus verwendet werden:

Wenn  $I_{\text{phase}} \cdot R_{\text{shunt}} \cdot 10 < V_{\text{Ref\_ADC}}/8$ , dann  $k_{\text{verst}} = 80$ , sonst

wenn  $I_{\text{phase}} \cdot R_{\text{shunt}} \cdot 10 < V_{\text{Ref\_ADC}}/4$ , dann  $k_{\text{verst}} = 40$ , sonst

wenn  $I_{\text{phase}} \cdot R_{\text{shunt}} \cdot 10 < V_{\text{Ref\_ADC}}/2$ , dann  $k_{\text{verst}} = 20$ , sonst  $k_{\text{verst}} = 10$ .

**[0063]** In einem weiteren, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung kann die Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung

$U_{\text{mess}}$  von der Messschaltung **12a** automatisch geregelt werden, wobei der einstellbare Verstärkungsfaktor  $k_{\text{verst}}$  derart eingestellt wird, dass die stromabhängige Spannung  $U_{\text{mess}}$  stets einen definierten Maximalwert annimmt, welcher im Bereich eines vorgebbaren Messzeitfensters konstant gehalten wird.

Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Servolenksystem
<b>2</b>	Lenkrad
<b>3</b>	Gelenkwelle/Lenksäule
<b>4</b>	Lenkgetriebe
<b>5a, 5b</b>	lenkbare Räder
<b>6</b>	Zahnstange
<b>7</b>	Ritzel
<b>8</b>	elektrischer Servoantrieb
<b>9</b>	Elektromotor
<b>9a</b>	Phasenwindungen
<b>10</b>	Riemengetriebe
<b>11</b>	elektronisches Regel- und/oder Steuergerät
<b>12</b>	Endstufentreiberschaltung
<b>12a</b>	Messschaltung zur Messung des Phasenstroms
<b>13</b>	Wechselrichter
<b>14</b>	Messwiderstand
<b>Gate_HS_U, Source_HS_U, Gate_LS_U, Source_LS_U</b>	Leitungen
<b>M1-M6</b>	MOSFETs
<b>I<sub>Phase</sub></b>	Phasenstrom
<b>C<sub>zk</sub></b>	Zwischenkreiskondensator
<b>δ<sub>Fm</sub></b>	Radlenkwinkel bzw. Lenkwinkel
<b>μC</b>	Mikrocontroller
<b>ADC</b>	Analog-Digital-Umsetzer
<b>U<sub>B</sub></b>	Bordnetzspannung
<b>U<sub>mess</sub></b>	stromabhängige Spannung
<b>V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub></b>	Verstärkungsstufen
<b>k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub></b>	Teilverstärkungsfaktoren
<b>VGL</b>	Komparator/Vergleicher
<b>I<sub>mess_Trig</sub></b>	Triggersignal
<b>V<sub>Ref_ADC</sub></b>	Referenzspannung des ADC
<b>U<sub>Offset</sub></b>	Offsetspannung
<b>SPI</b>	serielle Schnittstelle

$k_{\text{verst}}$	einstellbarer Verstärkungsfaktor
$\delta_s$	Lenkradwinkel
$\delta_{\text{Fm}}$	Radlenkwinkel
$V_{\text{Ref}}$	Referenzspannung

**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 10013711 A1 [0002, 0002]
- DE 10052275 A1 [0042]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) eines Elektromotors (9), welcher als elektrischer Servoantrieb (8) in einem elektronischen Servolenksystem (1) eines Kraftfahrzeugs eingesetzt wird, welcher über eine Anzahl von Phasenwicklungen (9a) verfügt und welcher von einem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät (11) des elektronischen Servolenksystems (1) angesteuert wird, wobei wenigstens eine Messschaltung (12a) zur Messung des wenigstens einen Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) verwendet wird, welche wenigstens eine stromabhängige Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) erhält, die an wenigstens einem Messwiderstand (14) an wenigstens einer der Phasenwicklungen (9a) des Elektromotors (9) abfällt, wobei die wenigstens eine stromabhängige Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) an einen Analog-Digital-Umsetzer (ADC) des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts (11) zur Abtastung des wenigstens einen Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) geleitet wird und wobei die Messschaltung (12a) eine Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) mit einem einstellbaren Verstärkungsfaktor ( $k_{\text{verst}}$ ) derart durchführt, dass eine vorgebbare Auflösung des wenigstens einen Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) bei der Abtastung durch den Analog-Digital-Umsetzer (ADC) erreicht und gleichzeitig ein Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers (ADC) nicht überschritten wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messschaltung (12a) den Verstärkungsfaktor ( $k_{\text{verst}}$ ) selbsttätig einstellt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) wenigstens eine, vorzugsweise zwei Verstärkungsstufen ( $V_1$ ,  $V_2$ ) verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine erste Verstärkungsstufe ( $V_1$ ) die wenigstens eine stromabhängige Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) erhält und diese mit einem vorgegebenen minimalen ersten Teilverstärkungsfaktor ( $k_2$ ) verstärkt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine zweite Verstärkungsstufe ( $V_2$ ) die von der wenigstens einen ersten Verstärkungsstufe ( $V_1$ ) verstärkte wenigstens eine stromabhängige Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) erhält und diese mit einem variabel einstellbaren zweiten Teilverstärkungsfaktor ( $k_2$ ) verstärkt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass anhand der von der wenigstens einen ersten Verstärkungsstufe ( $V_1$ ) mit dem vorgegebenen minimalen ersten Teilverstärkungsfaktor ( $k_1$ ) verstärkten wenigstens einen stromabhängigen Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) der variabel einstellbare zweite Teilver-

stärkungsfaktor ( $k_2$ ) der zweiten Verstärkungsstufe ( $V_2$ ) ermittelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der variabel einstellbare zweite Teilverstärkungsfaktor ( $k_2$ ) der wenigstens einen zweiten Verstärkungsstufe ( $V_2$ ) derart, insbesondere mittels wenigstens eines Komparators (VGL), bestimmt wird, dass die an den Analog-Digital-Umsetzer (ADC) geleitete verstärkte stromabhängige Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) maximal ist, wobei ein Messbereich des Analog-Digital-Umsetzers (ADC) nicht überschritten wird.

7. Verfahren nach Anspruch 4, 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich der einstellbare Verstärkungsfaktor ( $k_{\text{verst}}$ ) der Messschaltung (12a) aus dem ersten Teilverstärkungsfaktor ( $k_1$ ) und dem zweiten Teilverstärkungsfaktor ( $k_2$ ), insbesondere durch Multiplikation des ersten Teilverstärkungsfaktors ( $k_1$ ) mit dem zweiten Teilverstärkungsfaktor ( $k_2$ ), ergibt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ), insbesondere nach ihrer Verstärkung durch die wenigstens eine erste Verstärkungsstufe ( $V_1$ ), ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Offsetspannung ( $U_{\text{Offset}}$ ) des Analog-Digital-Umsetzers (ADC) auf null gesetzt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einem positiven Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) wenigstens eine nicht-invertierende Verstärkungsstufe als die wenigstens eine zweite Verstärkungsstufe ( $V_2$ ) verwendet wird, wobei bei einem negativen Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) wenigstens eine invertierende Verstärkungsstufe als die wenigstens eine zweite Verstärkungsstufe ( $V_2$ ) verwendet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verstärkung der wenigstens einen stromabhängigen Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) von der Messschaltung (12a) automatisch geregelt wird, wobei der einstellbare Verstärkungsfaktor ( $V_{\text{verst}}$ ) derart eingestellt wird, dass die stromabhängige Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ) stets einen definierten Maximalwert annimmt, welcher im Bereich eines vorgebbaren Messzeitfensters konstant gehalten.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der von der Messschaltung (12a) gewählte einstellbare Verstärkungsfaktor ( $V_{\text{verst}}$ ) und/oder das ermittelte Vorzeichen der wenigstens einen stromabhängigen Span-

nung ( $U_{\text{mess}}$ ) in einem Speicherelement, insbesondere des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts (11), abgelegt oder als digitales Signal ( $k_1, k_2$ ), insbesondere an einen Mikrocontroller ( $\mu\text{C}$ ) des elektronischen Regel- und/oder Steuergeräts (11), übermittelt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine von dem Analog-Digital-Umsetzer (ADC) abgetastete Phasenstromwert ( $I_{\text{Phase}}$ ) um den von der Messschaltung (12a) gewählten einstellbaren Verstärkungsfaktor ( $V_{\text{verst}}$ ) bereinigt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messschaltung (12a) ein Triggersignal ( $I_{\text{mess\_Trig}}$ ) zum Start des Messvorgangs von dem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät (11) erhält, wenn die wenigstens eine stromabhängige Spannung ( $U_{\text{mess}}$ ), welche an dem wenigstens einen Messwiderstand (14) an wenigstens einer der Phasenwicklungen (9a) des Elektromotors (9) abfällt, gültig ist.

15. Verfahren zum Betrieb eines elektronischen Servolenksystems (1) eines Kraftfahrzeugs, bei welchem mittels einer Lenkhandhabe (2) ein Lenkradwinkel ( $\delta_s$ ) als Maß für einen gewünschten Radlenkwinkel ( $\delta_{\text{Fm}}$ ) für wenigstens ein lenkbares Rad (5a, 5b) des Kraftfahrzeugs vorgegeben wird und bei welchem ein elektrischer Servoantrieb (8) mit einem Elektromotor (9) eingesetzt wird, welcher über eine Anzahl von Phasenwicklungen (9a) verfügt und welcher von einem elektronischen Regel- und/oder Steuergerät (11) des elektronischen Servolenksystems (1) mit Hilfe eines Verfahrens zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) des Elektromotors (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 14 angesteuert und/oder geregelt wird.

16. Elektronisches Servolenksystem (1) eines Kraftfahrzeugs umfassend:

- eine Lenkhandhabe (2) zur Vorgabe eines Lenkradwinkels ( $\delta_s$ ) als Maß für einen gewünschten Radlenkwinkel ( $\delta_{\text{Fm}}$ ) für wenigstens ein lenkbares Rad (5a, 5b) des Kraftfahrzeugs,
- ein Lenkgetriebe (4), welches den Lenkradwinkel ( $\delta_s$ ) in den Radlenkwinkel ( $\delta_{\text{Fm}}$ ) des wenigstens einen lenkbaren Rades (5a, 5b) des Kraftfahrzeugs umsetzt,
- einen Servoantrieb (8) mit einem Elektromotor (9), der über eine Anzahl von Phasenwicklungen (9a) verfügt,
- eine Endstufentreiberschaltung (12) für den Elektromotor (9) mit einem Wechselrichter (13), welcher mit den Phasenwicklungen (9a) des Elektromotors (9) elektrisch verbunden ist, und mit wenigstens einer Messschaltung (12a) zur Messung wenigstens eines Phasenstromwerts ( $I_{\text{Phase}}$ ) an den Phasenwicklungen (9a), und

– ein elektronisches Regel- und/oder Steuergerät (11) zur Ansteuerung und/oder Regelung des Elektromotors (9) über die Endstufentreiberschaltung (12) und den Wechselrichter (13), welches zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15 eingerichtet ist.

17. Elektronisches Servolenksystem nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Endstufentreiberschaltung (12) die Messschaltung (12a) aufweist.

18. Elektronisches Servolenksystem nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messschaltung (12a) wenigstens zwei Verstärkungsstufen ( $V_1, V_2$ ) aufweist.

19. Elektronisches Servolenksystem nach Anspruch 16, 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messschaltung (12a) wenigstens einen Komparator (VGL) aufweist.

20. Elektronisches Servolenksystem nach einem der Ansprüche 16 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass das elektronische Regel- und/oder Steuergerät (11) die Endstufentreiberschaltung (12) aufweist.

21. Elektronisches Regel- und/oder Steuergerät (11) eines elektronischen Servolenksystems (1) nach einem der Ansprüche 16 bis 20.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

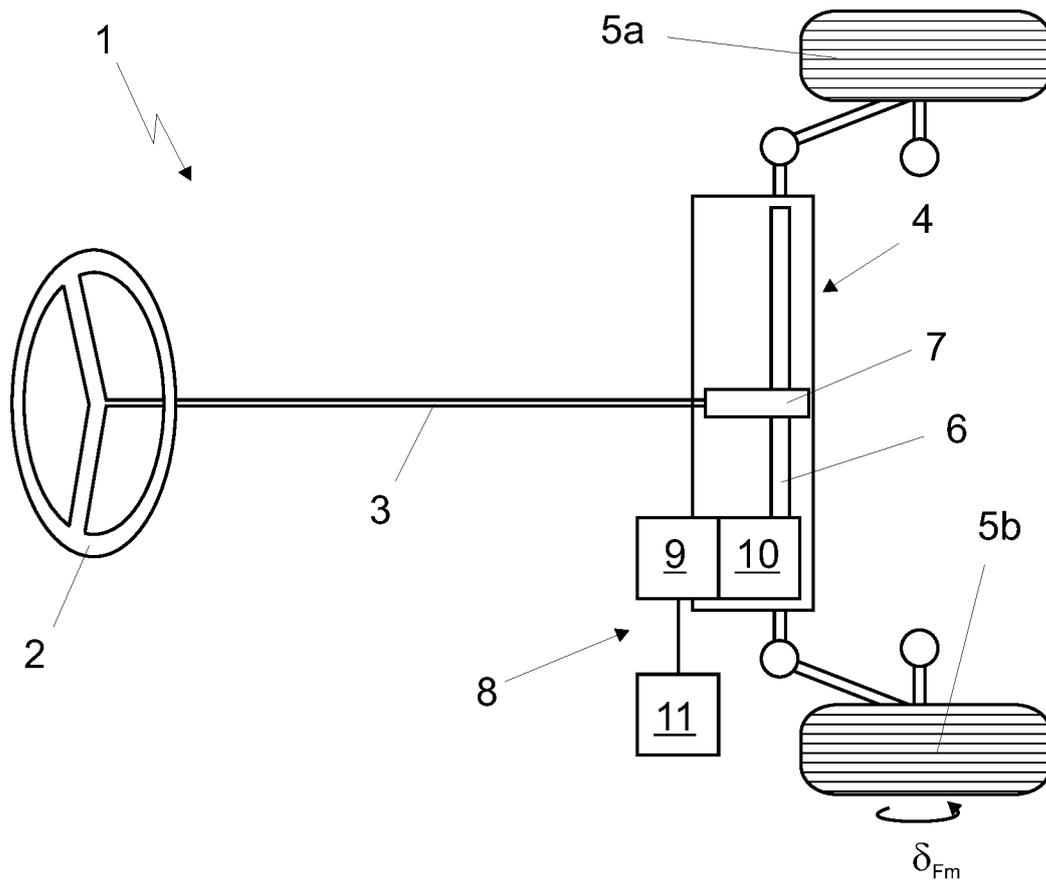


Fig. 1

