



(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2019/219329**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2019 002 534.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP2019/060075**

(86) PCT-Anmeldetag: **18.04.2019**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **21.11.2019**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **04.03.2021**

(51) Int Cl.: **B62D 5/04 (2006.01)**  
**H02P 29/032 (2016.01)**  
**B60R 16/03 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**1808134.9**                      **18.05.2018**    **GB**

(71) Anmelder:  
**ZF Automotive UK Limited, Solihull, West  
Midlands, GB**

(74) Vertreter:  
**Gerschütz, Florian, Dr., 97424 Schweinfurt, DE**

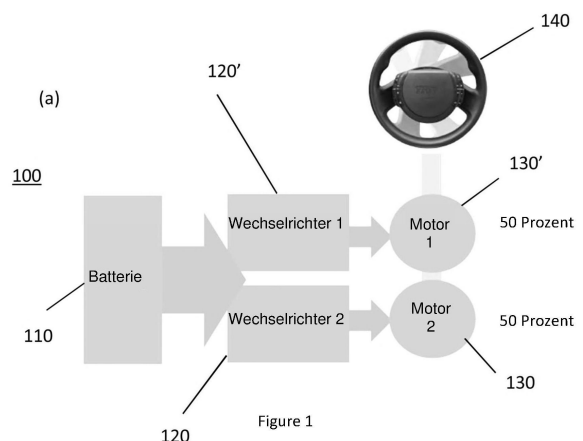
(72) Erfinder:  
**Kudanowski, Maciej, Solihull, West Midlands, GB;  
Terdy, Tamas, Birmingham, GB**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Steuerung für elektrische Servolenkung**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Steuern eines elektrischen Servolenkungssystems (Electric Power Assisted Steering - EPS) umfasst die folgenden Schritte: Während einer ersten Betriebsart des EPS-Systems, in der ein Motor unter Verwendung von zwei Wechselrichterbrücken gleichzeitig angetrieben wird, wird der Nennstrom, der zu jeder Zeit von jeder Brücke an den Motor angelegt wird, auf einen ersten Wert begrenzt, und während eines Fehlerbetriebsmodus wird der Motor nur über eine der beiden Wechselrichterbrücken angetrieben, wobei der Nennstrom, der zu einem beliebigen Zeitpunkt im Fehlermodus an den Motor angelegt wird, auf einen zweiten Wert begrenzt ist, wobei das Verfahren den zweiten Wert als Funktion eines oder mehrerer Betriebsparameter des EPS-Systems variiert, wodurch der zweite Wert höher als der erste Wert eingestellt wird, wenn dies als sicher erachtet wird.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft die Steuerung eines elektrischen Servolenkungssystems (EPS). Insbesondere betrifft die Erfindung das Bereitstellen einer laufenden Lenkunterstützung nach einem Fehler in einer der Spuren eines mehrspurigen redundanten EPS-Systems.

### Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Servolenkungssysteme (Electric Power Assisted Steering - EPS) sind im Stand der Technik bekannt. Die von einem Elektromotor erzeugte Leistung wird dazu verwendet, ein Unterstützungsdrehmoment in der Lenksäule in derselben Richtung wie ein erfasstes Bedarfsdrehmoment zu erzeugen, das von einem Fahrer des Fahrzeugs beim Drehen eines Lenkrads erzeugt wird.

**[0003]** Der Anmelder hat zuvor ein EPS-System vorgeschlagen, das zwei oder mehr Spuren umfasst, von denen jede mehrere Halbleiterschaltenelemente enthält, die als Wechselrichterbrücke angeordnet sind und den an den Motor gelieferten Strom und damit die Drehung des Motors steuern. Jede Spur umfasst eine Wechselrichterbrücke, wobei die beiden Brücken im Wesentlichen identisch sind. Eine Batterie **110** versorgt die beiden Wechselrichterbrücken mit Strom, obwohl für jede Spur eine separate Batterie verwendet werden kann. Es ist ein Mehrphasenmotor vorgesehen, der auf eine Lenkzahnstange wirkt. Dieser Motor verfügt über zwei unabhängige Sätze von Statorwicklungen, die sich denselben Rotor teilen. Jede Spur des Mehrphasenmotors umfasst einen dieser Sätze von Phasenwicklungen, die mit der jeweiligen Wechselrichterbrücke verbunden sind. Wie bei der Wechselrichterbrücke sind die beiden Sätze von Motorphasen in Größe und Aufbau im Wesentlichen identisch, so dass für einen gegebenen Satz von Spannungswellenformen, die vom Wechselrichter an die Phasen angelegt werden, jede Spur im Wesentlichen die gleiche Motorleistung ergibt.

**[0004]** Im Gebrauch und in einer normalen Betriebsart werden die beiden Wechselrichterbrücken so betrieben, dass in der jeweiligen Spur Strom fließt, so dass ein Drehmoment auf den Rotor ausgeübt wird. Der Fachmann ist mit der Funktionsweise einer Wechselrichterbrücke zum Antreiben eines Motors durch die Pulsweitenmodulation der Schalter der Wechselrichterbrücke vertraut. Im normalen Modus trägt jede Spur des EPS-Systems etwa 50 % des Drehmoments bei, das zur Unterstützung der Lenkung zu einem bestimmten Zeitpunkt erforderlich ist, wobei die Spuren parallel arbeiten. Diese Anordnung wird als vorteilhaft angesehen, um die Verwendung von Wechselrichterbrücken und Motorwicklungen zu

ermöglichen, deren Nennleistung geringer ist als die, die sie benötigen würden, wenn sie kontinuierlich die vollen 100 Prozent des Motordrehmoments aufbringen würden, wodurch die Kosten des EPS-Systems gesenkt würden.

**[0005]** Im Falle eines Fehlers in einer der Spuren bleibt das EPS-System betriebsbereit, da die andere Wechselrichterbrücke weiterhin Unterstützung bieten kann. Wenn jedoch die Nennleistung der Schalter nicht ausreicht, um kontinuierlich 100 Prozent des erforderlichen Stroms zu liefern, ist die Motorunterstützung normalerweise auf einem reduzierten Pegel, der den 50 Prozent entspricht, die auf einer Spur verfügbar sind. Dies kann in vielen Anwendungen zufriedenstellend sein.

**[0006]** Das US-Patent 8,569,981 B2 des Standes der Technik schlägt ein Verfahren zum Aufrechterhalten des Niveaus der verfügbaren Lenkunterstützung nach einem Ausfall in einem zweispurigen EPS-Lenksystem für einen vorbestimmten Zeitraum nach dem ersten Ausfall in einer der Spuren vor. Nachdem die fehlerhafte Spur deaktiviert wurde, liefert die voll funktionsfähige Spur einen um 100 % höheren Motorstrom und unterstützt so das Drehmoment für eine vorbestimmte Zeit. Ein Beispiel dafür ist in **Fig. 3** der Zeichnungen gezeigt, die aus der Patentanmeldung reproduziert sind, wobei ein Fehler zum Zeitpunkt  $t_0$  auftritt. Beispielsweise wird  $X = 5$  Sekunden als Übersteuerungsperiode zwischen  $t_0$  und  $t_X$  verwendet. Nach der voreingestellten Zeit von  $X$  Sekunden endet die Übersteuerung der Spur, um sicherzustellen, dass keine Gefahr einer Überhitzung der Schalter der nicht fehlerhaften Spur besteht.

**[0007]** Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Aufrechterhalten der Lenkunterstützung nach einem Fehler in einer Spur bereitzustellen, die einige der im Stand der Technik vorgesehenen Nachteile verbessern.

### Kurzdarstellung der Erfindung

**[0008]** Gemäß einem ersten erfindungsgemäßen Aspekt wird ein Verfahren zum Steuern eines elektrischen Servolenkungssystems (EPS) bereitgestellt, das mindestens zwei Wechselrichterbrücken umfasst, die jeweils mit einem Mehrphasenmotor verbunden sind, der konfiguriert ist, eine Servounterstützung für das Lenken eines Fahrzeugs bereitzustellen, wobei jede Wechselrichterbrücke mehrere Schaltelemente umfasst, die jeweils einer Phase des Motors zugeordnet sind, wobei das Verfahren Folgendes umfasst;

Während einer ersten Betriebsart des EPS-Systems, in der der Motor unter Verwendung beider Wechselrichterbrücken gleichzeitig angetrieben wird, wird der Nennstrom, der zu jeder Zeit von jeder Brücke an den

Motor angelegt wird, auf einen ersten Wert begrenzt, und

Während eines Fehlerbetriebsmodus wird der Motor nur über eine der beiden Wechselrichterbrücken angetrieben, wobei der Nennstrom, der zu einem beliebigen Zeitpunkt im Fehlermodus an den Motor angelegt wird, auf einen zweiten Wert begrenzt ist, wobei das Verfahren den zweiten Wert als Funktion eines oder mehrerer Betriebsparameter des EPS-Systems variiert, wodurch der zweite Wert höher als der erste Wert eingestellt wird, wenn dies als sicher erachtet wird.

**[0009]** In dieser Anmeldung ist mit dem Begriff Nennstrom der maximale Strom gemeint, der vom Wechselrichter ausgegeben werden darf, dessen Frequenz von der momentanen Motordrehzahl abhängt. Es ist daher der maximale Ausgangsstrom, den der/die Wechselrichter des EPS-Systems an den Motor liefern sollen, wenn der Modus den Strom begrenzt, wodurch, wenn der Nennstrom auf einen Wert von X Ampere begrenzt ist, der Ausgangsstrom X Ampere, wenn darauf begrenzt, nicht überschreiten kann. Der Fachmann wird verstehen, dass ein bestimmter Nennstrom auf verschiedene Arten ausgedrückt werden kann, beispielsweise als Spitze des typischerweise sinusförmig variierenden Ausgangsstroms oder als quadratischer Mittelwert (root means square - RMS).

**[0010]** Das Verfahren kann im Normalmodus den Mehrphasenmotor unter Verwendung beider Spuren antreiben, wobei die Strombegrenzung für jede Spur auf den ersten Wert eingestellt ist, und im Fehlermodus kann eine Spur deaktiviert werden, die als fehlerhaft befunden wird, eine sogenannte fehlerhafte Spur, so dass der Antrieb des Motors durch die verbleibende nicht fehlerhafte Spur mit einer auf den zweiten Wert erhöhten Strombegrenzung versorgt wird.

**[0011]** Durch Variieren des zweiten Werts als Funktion eines oder mehrerer Betriebsparameter des EPS-Systems kann das Verfahren jederzeit einen zweiten Wert auswählen, der höher als der erste Wert ist, vorausgesetzt, dies wird als sicher angesehen. Dadurch kann die Auswirkung des Verlusts einer Spur minimiert werden, insbesondere wenn der zweite Wert erhöht wird, um einen Strom bereitzustellen, der dem kombinierten Strom entspricht, der vor einem Fehler von allen Spuren verfügbar war.

**[0012]** Das Verfahren kann das Bestimmen der Betriebsparameter durch Überwachen einer oder mehrerer verfügbarer Informationen in Bezug auf die Betriebsbedingungen des EPS-Systems umfassen, um den Wert zu bestimmen, der für den zweiten Grenzwert eingestellt werden soll.

**[0013]** Der zweite Grenzwert kann unter anderem auf folgenden Elementen beruhen:

- der gemessenen oder berechneten Umgebungstemperatur des EPS-Systems und insbesondere der nicht fehlerhaften Wechselrichterbrücke(n);
- der gemessenen oder berechneten EPS-Subsystemtemperatur, insbesondere die Wechselrichterbrücke(n) oder Teile davon,
- der/den Batteriespannung(en), die die Wechselrichterbrücken versorgt/versorgen,
- der Motordrehzahl,
- der momentanen Drehmomentanforderung des Motors/der Motoren des EPS-Systems,
- dem momentanen Strombedarf des Motors/der Motoren des EPS-Systems,
- einer durchschnittlichen Drehmomentanforderung über einen vordefinierten Zeitraum vor dem Zeitpunkt; und
- einer durchschnittlichen Drehmomentanforderung über einen vordefinierten Zeitraum vor dem Zeitpunkt.

**[0014]** Insbesondere kann der Parameter die Temperatur eines oder mehrerer der Wechselrichter-schalter umfassen. Die Temperatur jedes Schalters kann während des Fehlerbetriebsmodus ständig überwacht werden, oder die Temperatur kann berechnet werden, indem der in jedem Schaltelement oder an anderer Stelle im EPS-System fließende Strom überwacht wird.

**[0015]** Vorausgesetzt, die Komponenten der Wechselrichterbrücke wurden entsprechend ausgewählt, um 200 % des momentanen Nennstroms zu widerstehen, den sie während des normalen Betriebs beim Teilen der Last mit der anderen Spur voraussichtlich liefern, solange sich alle Komponenten in der Motorspur innerhalb ihrer sicheren Betriebsgrenzen befinden, kann der volle Motorstrom durch eine einzelne Spur des zweispurigen redundanten Systems bereitgestellt werden. Die sichere Betriebsgrenze ist in den meisten Fällen die absolute maximale Temperatur.

**[0016]** Das Verfahren kann das Einstellen eines ersten Wertes umfassen, der gleich 50 Prozent eines zweiten Nennwerts ist, und das Verfahren variiert oder reguliert den zweiten verwendeten Wert hierab, indem dieser in Richtung des ersten Werts oder auf diesen reduziert wird, wenn die Betriebsparameter angeben, dass eine oder mehrere Komponenten des EPS-Systems überhitzen, und erhöht den zweiten Wert wieder auf den Spitzenwert, wenn dies zu einem späteren Zeitpunkt sicher ist.

**[0017]** Mit dem Begriff Überhitzung ist gemeint, dass ein oder mehrere Teile der EPS-Systemspur eine Temperatur erreichen, die eine vordefinierte sichere Betriebstemperatur überschreitet. Dies variiert im Gestaltungsprozess des EPS-Systems von Schaltelement zu Schaltelement und ist daher ein bekannter konstanter Wert. Die Teile können die Schalter und die Motorphasenwicklungen umfassen.

**[0018]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann auf doppelt redundante Systeme angewendet werden, jedoch auf jede Architektur mit N Motorspuren, wobei  $N \geq 2$  ist. Das maximale Nennniveau des bereitgestellten Motorstroms (Lenkassistent) jeder Spur bei Verlust der Fahrfähigkeit einer einzelnen Spur entspricht dem ersten Wert  $*N/(N - 1)$ , wobei N die Anzahl der Spuren ist und der erste Wert die 100%ige Nennstromfähigkeit einer einzelnen Spur ist.

**[0019]** Zusätzlich kann diese Variation des zweiten Grenzwerts angepasst werden, um die verfügbare Unterstützung zu maximieren, selbst nachdem die Herabregulierung des zweiten Werts begonnen hat. Mit anderen Worten ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren, dass eine Lenkunterstützung für jede Motorspur in Abhängigkeit von den Randbedingungen zwischen 100 % und  $100 \% *N/(N - 1)$  verfügbar ist. Wenn beispielsweise die Spur bereits die thermischen Grenzen erreicht hat und das Verfahren begonnen hat, den verfügbaren Motornennstrom für die Spur herabzuregulieren, bedeutet dies nicht unbedingt, dass der zweite Wert solange auf die vollen 100 % zurückgeht, sofern die Temperaturen (und andere Parameter des Systems) einen Zwischenwert zulassen, der immer noch höher als 100 % ist, aber nicht ganz den ideal benötigten  $100 \% *N/(N - 1)$  entspricht.

**[0020]** Das Verfahren kann daher einen zweiten Wert einstellen, der einen Wert in einem Bereich von 0 bis 100 Prozent des vollen Nennstroms in Abhängigkeit von den Betriebsparametern des EPS-Systems aufweist. Vorzugsweise kann das Verfahren den Wert in einem Bereich von 50 Prozent bis 100 Prozent einstellen, da bekannt ist, dass 50 Prozent in einem zweisepurigen System immer sicher sind. Für Systeme mit mehr als 2 Spuren, als N Spuren verallgemeinert, kann die Untergrenze entsprechend festgelegt werden.

**[0021]** Für den Fall, dass das Verfahren den zweiten Wert verringert, weil ein Betriebsparameter angibt, dass ein Teil der Spur überhitzt oder Gefahr läuft, zu überhitzen, kann der zweite Wert anschließend erhöht werden, wenn das Teil nicht länger überhitzt oder Gefahr läuft, zu überhitzen.

**[0022]** Das Verfahren kann daher kontinuierlich einen maximalen sicheren Wert für den zweiten Grenzwert für die Dauer des Betriebs des EPS-Systems im Fehlermodus einstellen. Dies minimiert den Zeit-

punkt, zu dem das EPS-System nicht die vollen nominalen 100 Prozent des Stroms liefern kann.

**[0023]** Das Verfahren kann das EPS-System im normalen Modus betreiben, wenn alle Spuren als betriebsbereit angesehen werden. Das Verfahren kann das EPS-System im Fehlermodus betreiben, wenn eine Spur als fehlerhaft angesehen wird. Vorausgesetzt, es gibt mindestens eine nicht fehlerhafte Spur, kann das Verfahren das EPS-System im Fehlermodus weiter betreiben.

**[0024]** Das Verfahren kann daher das Überwachen des Zustands der beiden Spuren umfassen, um festzustellen, ob die Spur betriebsbereit oder fehlerhaft ist. Wenn mehr als zwei Spuren vorhanden sind, kann jede Spur überwacht werden.

**[0025]** Gemäß einem zweiten erfindungsgemäßen Aspekt wird ein System für ein elektrisches Servolenkungsgerät (EPS) bereitgestellt, das mindestens zwei Wechselrichterbrücken umfasst, die jeweils mit einem Mehrphasenmotor verbunden sind, der konfiguriert ist, eine Servounterstützung für das Lenken eines Fahrzeugs bereitzustellen, wobei jede Wechselrichterbrücke mehrere Schaltelemente umfasst, die jeweils einer Phase des Motors zugeordnet sind, wobei das System ferner eine Steuerung umfasst, die für Folgendes angeordnet ist:

während einer ersten Betriebsart des EPS-Systems, in der die Steuerung den Motor unter Verwendung beider Wechselrichterbrücken gleichzeitig antreibt, wird der Nennstrom, der zu jeder Zeit von jeder Brücke an den Motor angelegt wird, auf einen ersten Wert begrenzt, und

während eines Fehlerbetriebsbetriebs treibt die Steuerung den Motor nur über eine der beiden Wechselrichterbrücken an, wobei der Nennstrom, der zu einem beliebigen Zeitpunkt im Fehlermodus an den Motor angelegt wird, auf einen zweiten Wert begrenzt ist,

wobei die Steuerung den zweiten Wert während der Dauer des Fehlerbetriebs in Abhängigkeit von einem oder mehreren Betriebsparametern des EPS-Systems variiert.

**[0026]** Das System kann weiter im Fehlermodus betrieben werden, bis der Fehler in der fehlerhaften Spur behoben worden ist, beispielsweise während eines Zurücksetzens des Fahrzeugs oder einer Wartung.

**[0027]** Das System kann eine Verarbeitungseinheit enthalten, die den Wert des zweiten Werts mindestens dann bestimmt, wenn das EPS-System im Fehlermodus arbeitet.

**[0028]** Die Verarbeitungseinheit kann Signale empfangen, die für einen oder mehrere Betriebsparame-

ter des EPS-Systems repräsentativ sind. Dies können digitale oder analoge Signale sein.

**[0029]** Die Verarbeitungseinheit kann den zweiten Wert periodisch bestimmen, wenn sie sich im Fehlermodus befindet, möglicherweise jede Sekunde oder alle T Sekunden, wobei T ein beliebiger numerischer Wert ist. Die Rate zur Bestimmung des zweiten Wertes kann von der Rate abhängen, mit der die Betriebsparameter gemessen oder berechnet werden.

**[0030]** Die Verarbeitungseinheit und die Steuerung können zu einer einzigen Signalverarbeitungseinheit kombiniert werden.

**[0031]** Die Steuerung kann den Strom, der im Fehlermodus an die Spur angelegt werden soll, gemäß dem geforderten Drehmoment bestimmen und daraus die Spannungen bestimmen, die an jede Phase der Spur angelegt werden sollen. Die Steuerung kann den Strom und die Spannungen gemäß dem Wert des zweiten Nennstromwerts begrenzen, wodurch sichergestellt wird, dass die Spur nicht überhitzt.

**[0032]** Das System kann ferner ein Fehlerereigniserkennungsmittel umfassen. Das Fehlererkennungsmittel kann Überwachungsmittel umfassen, die konfiguriert sind, die zwei Spuren zu überwachen, um zu bestimmen, ob eine Spur betriebsbereit oder fehlerhaft ist. Das System kann unter der Steuerung der Fehlerereigniserkennungsmittel zwischen dem normalen Modus und dem Fehlermodus umschalten.

**[0033]** Die Schaltelemente jeder Wechselrichterbrücke können so bemessen sein, dass sie einen Strom mit dem ersten Nennwert auf unbestimmte Zeit handhaben, aber nicht in der Lage sind, den Strom mit dem Spitzenwert für die zweite Grenze (d. h. vor der Herabregulierung) unbegrenzt sicher zu leiten, aber in der Lage sind, diesen Strom in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen des EPS-Systems für einen kurzen Zeitraum zu handhaben. Durch Überwachen und ständiges Variieren des zweiten Strombegrenzungswerts nach Bedarf können diese Schalter sicher hochgeregelt werden, wenn die Bedingungen dies zulassen.

**[0034]** Merkmale, die im Zusammenhang mit getrennten erfindungsgemäßen Aspekten und Ausführungsformen beschrieben werden, können zusammen verwendet werden und/oder austauschbar sein. In ähnlicher Weise können, wenn Merkmale der Kürze halber im Kontext einer einzelnen Ausführungsform beschrieben werden, diese auch separat oder in einer beliebigen geeigneten Unterkombination bereitgestellt werden. Merkmale, die in Verbindung mit der Vorrichtung beschrieben werden, können entsprechende Merkmale aufweisen, die in Bezug auf das (die) Verfahren und das Computerprogramm definier-

bar sind, und diese Ausführungsformen sind speziell bereitgestellt.

**[0035]** Wenn auf ein „Ereignis“ oder einen „Fehlerzustand“ oder dergleichen Bezug genommen wird, ist dies weit auszulegen. Es versteht sich, dass dies „interne“ Ausfälle/Fehler abdeckt, z. B. einen Kurzschluss. Es werden auch „externe“ Ereignisse abgedeckt, die dazu führen können, dass ein FET einer hohen elektromotorischen Gegenkraft ausgesetzt wird, z. B. wenn der EPS-Motor während der Werkstattwartung eines Fahrzeugs (durch einen Servicetechniker) mit hoher Geschwindigkeit extern gedreht wird und somit als Generator fungiert.

#### Figurenliste

**[0036]** Erfindungsgemäße Ausführungsformen werden nun unter Bezugnahme auf die Figuren der beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

**Fig. 1** eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Doppelbrücken-EPS-Steuersystems während eines normalen Betriebsmodus;

**Fig. 2** entsprechend **Fig. 1**, das EPS-Steuersystem in einem Fehlerbetriebsmodus;

**Fig. 3** schematisch die zwei Spuren und die Steuerung, die den maximalen Nennstrom einstellt, der dem Motor von jeder Spur zur Verfügung steht;

**Fig. 4** ein Flussdiagramm eines Steuerverfahrens gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform; und

**Fig. 5** ein Verfahren nach dem Stand der Technik zum Betreiben eines Doppelbrücken-EPS-Systems, bei dem eine einzelne Spur verwendet wird, um eine überbewertete Strombegrenzung für einen festen Zeitraum nach Auftreten eines Fehlers bereitzustellen.

#### Detaillierte Beschreibung der erfindungsgemäßen Ausführungsformen

**[0037]** Die **Fig. 1** und **Fig. 2** stellen eine erste Ausführungsform eines Doppelbrücken-EPS-Steuersystems **100** gemäß der vorliegenden Erfindung dar. Obwohl ein zweispuriges System gezeigt wird, ist dies nur beispielhaft und die Erfindung kann auf EPS-Systeme angewendet werden, die drei oder mehr Spuren aufweisen.

**[0038]** Das EPS-System umfasst eine erste **120** und eine zweite **120'** Wechselrichterbrücke, die mit dem ersten **130** bzw. zweiten **130'** Motor verbunden und zum Ansteuern von diesen konfiguriert sind. Jeder Motor umfasst einen Satz von Phasenwicklungen, die in diesem Beispiel drei in einer Sterntopologie geschaltete Phasen bilden. Die erste Brücke und der erste Motor bilden eine Spur, und die zweite Brücke

und der zweite Motor bilden eine zweite Spur. Die beiden Spuren sind in diesem Beispiel identisch, wobei nun der Aufbau von nur einer ersten Spur beschrieben wird.

**[0039]** Eine Gleichspannung wird von einer Batterie **110** zwischen einer Versorgungsschiene und einer Masseschiene angelegt und über einen Wechselrichter **120** mit dem Dreiphasenmotor **130** verbunden. Der Wechselrichter **120** umfasst drei parallele Arme (A, B, C), von denen jeder ein Paar Silizium(Si)-MOSFETs 122a, 122b, 124a, 124b, 126a, 126b aufweist, die zwischen einer Versorgungsschiene und einer Erdungsschiene in Reihe geschaltet sind. Die Motorphasen A, B, C sind in einer Sternkonfiguration miteinander verbunden und verzweigen sich zwischen einem jeweiligen Paar von MOSFETs. Als solche sind die MOSFETs 122a, 122b mit einer ersten Phase A des Motors **130** verbunden, die MOSFETs 124a, 124b sind mit einer zweiten Phase B des Motors **130** verbunden und die MOSFETs 126a, 126b sind mit einer dritten Phase C des Motors **130** verbunden. Die jeder Phase zugeordneten MOSFET-Paare (Arme A, B, C) sind zueinander und zur Batterie **110** parallel geschaltet. Ein Leistungsfilter (nicht gezeigt) kann zwischen der Batterie **110** und den MOSFETs 122a, 122b, 124a, 124b, 126a, 126b bereitgestellt sein.

**[0040]** Die MOSFETs sind auch in zwei Gruppen angeordnet, wobei sich die MOSFETs 122a, 124a, 126a auf der „High“-Seite des Wechselrichters **120** und die MOSFETs 122b, 124b, 126b auf der „Low“-Seite des Wechselrichters **120** befinden. Die Begriffe „High“ (hoch) und „Low“ (niedrig) dienen nur zur leichteren Orientierung. Jeder MOSFET 122a, 122b, 124a, 124b, 126a, 126b umfasst einen Transistorkanal und eine Eigenkörperdiode, die parallel zum Transistorkanal geschaltet sind. Das Gate jedes MOSFET 122a, 122b, 124a, 124b, 126a, 126b ist mit einem Gate-Treiber verbunden, um jeden MOSFET ein- oder auszuschalten. Jeder Gate-Treiber empfängt Steuersignale von einem Steuerblock (nicht dargestellt).

**[0041]** Im Betrieb legt die Steuervorrichtung Spannungssignale an das Gate jedes MOSFET an, um sie schnell in einer vordefinierten Reihenfolge ein- und auszuschalten, wodurch die an jede Phase des Motors angelegte Spannung und der durch die Wicklungen fließende Strom gesteuert werden. Dadurch werden wiederum die Stärke und Ausrichtung des von den Wicklungen erzeugten Magnetfelds und damit das Drehmoment und die Drehzahl des Motors gesteuert. Durch Verwendung eines ausreichend schnellen Schaltmusters zur Impulsweitenmodulation (PWM) kann eine Phasensteuerungswellenform angewendet werden, die sich der idealen Sinuswellenform annähert, die zum reibungslosen Drehen des Motors erforderlich ist. Dies gilt für beide Brücken

**120, 120'** im Normalbetrieb, d. h. alle MOSFETs beider Brücken **120, 120'** werden im Normalbetrieb kontrolliert ein- und ausgeschaltet.

**[0042]** Wenn das Lenkrad **140** eines Fahrzeugs (nicht dargestellt) von einem Fahrer betätigt wird, wird von dem System ein Bedarfsdrehmoment erfasst. Die Steuervorrichtung bestimmt aus dieser Drehmomentanforderung eine Stromanforderung für jeden der beiden Motoren **130, 130'**, und geeignete PWM-Gate-Signale werden an die Schalter angelegt, um zu bewirken, dass der Motor ein Unterstützungsdrehmoment erzeugt, das von dem Bedarfsdrehmoment und der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängig ist, das auf die Lenkzahnstange wirkt, um das Lenken des Fahrzeugs zu unterstützen.

**[0043]** Die zwei Motoren **130, 130'** können physisch in einem Gehäuse oder getrennt angeordnet sein, aber in jedem Fall wirken sie auf dieselbe Lenkzahnstange und tragen im normalen Betrieb jeweils ungefähr 50 % der Lenkleistung bei. Dies ist leicht zu erzielen, wenn die beiden Spuren im Wesentlichen identisch sind, indem die gleichen PWM-Ansteuersignale von der Steuerung an die beiden Wechselrichterbrücken geliefert werden. Die Motoren **130, 130'** können zweckmäßigerweise bürstenlose 3-Phasen-Wechselstrom-Permanentmagnet-Synchronmotoren (PMSM) sein.

**[0044]** Im Normalbetrieb übt jeder Motor das gleiche Drehmoment aus. Dies bedeutet, dass jede Wechselrichterbrücke den gleichen Strom an die jeweiligen Phasenwicklungen der Spur anlegt. Da von jeder Spur nur ein nomineller Spitzenstrom von 50 Prozent benötigt wird, können die Schalter so gewählt werden, dass sie eine relativ niedrige Nennleistung aufweisen, wobei sie den nominalen Spitzenstrom von 50 Prozent bei Bedarf kontinuierlich liefern können, jedoch nicht hoch genug sind, um 100 Prozent des nominalen Spitzenstroms über eine Spur kontinuierlich anzulegen. Wenn dies vorgesehen wäre, würde erwartet, dass die Schalter überhitzen, was zu einem Fehler führt. Zur Vereinfachung der Erklärung wird diese 50-Prozent-Grenze im Folgenden als erster Stromgrenzwert betrachtet.

**[0045]** In beiden Spuren, häufig in der Wechselrichterbrücke, kann ein Fehler auftreten, der dazu führen kann, dass der Motor nicht mehr angetrieben werden kann. Der wahrscheinlichste Fehler liegt bei den Schaltelementen der Wechselrichterbrücken **120, 120'** vor. Zu weiteren Fehlern, die auftreten können, zählen ein Verbindungsverlust zwischen der Brücke und den Motorwicklungen oder ein Kurzschluss oder ein offener Stromkreis bei einer oder mehreren der Wicklungen.

**[0046]** Das System enthält eine Fehlererkennungseinheit, die den Betrieb jeder Spur überwacht. Wenn

ein Fehler erkannt wird, weist die Fehlererkennungseinheit die Steuerung an, das EPS-System folgendermaßen in einem Fehlerbetriebsmodus zu betreiben.

**[0047]** Im Fehlermodus wird die fehlerhafte Spur ausgeschaltet, sodass sie keinen Strom zum Antreiben des Motors liefert. Anstatt das Motordrehmoment auf die beiden Spuren zu verteilen, wird das gesamte Drehmoment von einer einzigen fehlerfreien Spur bereitgestellt. Wenn mehr als zwei Spuren vorhanden sind, teilt der Fehlermodus das Drehmoment auf jede der verbleibenden nicht fehlerhaften Spuren auf.

**[0048]** Um sicherzustellen, dass der Wert der Lenkunterstützung nicht verringert wird, wird die Nennstrombegrenzung vom ersten Strombegrenzungswert auf einen zweiten höheren Strombegrenzungswert erhöht. Der Betrag, um den diese erhöht wird, wird gemäß einem oder mehreren Betriebsparametern des EPS-Systems eingestellt.

**[0049]** Im Fehlermodus wird der zweite Strombegrenzungswert so lange wie möglich auf den 100-Prozent-Wert eingestellt, was reduziert wird, wenn die Betriebsbedingungen darauf hinweisen, dass dies aufgrund von Überhitzung oder Überhitzungsgefahr nicht sicher ist. In diesem Fall wird der zweite Wert auf einen geringeren Pegel herabreguliert. Insbesondere kann durch kontinuierliche Überwachung des Betriebsparameters im Fehlermodus der herabregulierte zweite Wert erhöht werden, sobald dies ohne Überhitzungsgefahr möglich ist. Er wird kontinuierlich variiert, um die nicht fehlerhafte Spur so gut wie möglich zu unterstützen, damit die Auswirkungen des Verlusts einer Spur minimiert werden.

**[0050]** Ein Verfahren zum Durchführen einer erfindungsgemäßen Ausführungsform ist in **Fig. 4** zusammengefasst. In einem ersten Schritt S10 wird davon ausgegangen, dass alle Spuren ordnungsgemäß funktionieren. Der maximale Nennstrom, der von jeder Spur geliefert werden kann, wird auf 50 Prozent des maximalen Strombedarfs festgelegt, wobei beide Spuren die Aufgaben zur Bereitstellung des Drehmoments für das EPS-System teilen.

**[0051]** Die Betriebsparameter des Motors werden kontinuierlich überwacht, und wenn alles in Ordnung ist, läuft das EPS-System in Schritt 11 im normalen Betriebsmodus weiter. Wenn ein Fehler in einer Spur erkannt wird, wird diese Spur ausgeschaltet und der Betrieb wird in Schritt 12 in einen Fehlermodus geschaltet. Zunächst wird in Schritt 13 ein Wert der Strombegrenzung für die verbleibende nicht fehlerhafte Spur auf 100 Prozent erhöht, damit der Motor das gleiche Maß an Unterstützung anwenden kann, das er im normalen Modus erhalten konnte. Die Betriebsparameter des EPS-Systems werden in Schritt 14 überwacht, und wenn es als unsicher erachtet wird, mit einer Heraufregulierung von 100 Prozent zu

arbeiten, wird in Schritt 15 der zweite Wert auf einen sicheren Wert von weniger als 100 Prozent herabreguliert. Es ist bekannt, dass 50 Prozent sicher ist, sodass der Wert in einem einfachen System auf 50 Prozent absinken kann. Es ist jedoch vorzuziehen, so wenig wie möglich herabzuregulieren, um dem Fahrer die maximale Drehmomentunterstützung zu bieten. Wenn andererseits der zweite Wert unter 100 Prozent liegt und es als sicher angesehen wird, den zweiten Wert zu erhöhen, kann in Schritt 16 der zweite Wert auf 100 Prozent oder so weit erhöht werden, wie zu diesem Zeitpunkt als sicher angesehen wird.

**[0052]** Das vorgeschlagene erfindungsgemäße Verfahren hat den inhärenten Vorteil, die Fähigkeit zu haben, die Herabregulierung umzukehren. Dies bedeutet, dass, wenn sich die Randbedingungen in günstiger Weise ändern (z. B. die Lastbedingungen eine Verringerung der Temperatur der Leistungsstufenkomponenten ermöglichen), der verfügbare Motorstrom wieder auf 100 Prozent erhöht und der spätere im Laufe der Zeit erhöht/verringert werden kann, um optimale Lenkunterstützungspegel innerhalb der sicheren Betriebsgrenzen des EPS-Systems zu erzielen.

**[0053]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann die folgenden Hauptvorteile bereitstellen:

- Es ist keine detaillierte Charakterisierung erforderlich, um die zulässige Zeit für die Überregulierung der nicht fehlerhaften Spur(en) zu bestimmen
- Das Herabregulieren auf unter 100 Prozent passt sich den Betriebsbedingungen an
- Anwendbar auf N Spuren, wobei N eine ganze Zahl von 2 oder höher ist

**[0054]** Aus dem Lesen der vorliegenden Offenbarung werden dem Fachmann andere Variationen und Modifikationen ersichtlich sein. Solche Variationen und Modifikationen können äquivalente und andere Merkmale beinhalten, die bereits in der Technik bekannt sind und die anstelle oder zusätzlich zu den hier bereits beschriebenen Merkmalen verwendet werden können.

**[0055]** Obwohl die beigefügten Ansprüche auf bestimmte Kombinationen von Merkmalen abzielen, versteht es sich, dass der Umfang der Offenbarung der vorliegenden Erfindung auch jedes neuartige Merkmal oder jede neuartige Kombination von hierin offenbarten Merkmalen entweder explizit oder implizit oder eine Verallgemeinerung davon umfasst, gleich ob sie sich auf dieselbe Erfindung, wie sie vorliegend in einem Anspruch beansprucht wird, bezieht oder nicht, und ob sie einige oder alle derselben technischen Probleme wie die vorliegende Erfindung mildert oder nicht.

**[0056]** Merkmale, die im Zusammenhang mit getrennten Ausführungsformen beschrieben werden, können auch in Kombination in einer einzelnen Ausführungsform bereitgestellt werden. Umgekehrt können verschiedene Merkmale, die der Kürze halber im Kontext einer einzelnen Ausführungsform beschrieben werden, auch separat oder in einer beliebigen geeigneten Unterkombination bereitgestellt werden. Der Anmelder weist hiermit darauf hin, dass während der Verfolgung der vorliegenden Anmeldung oder einer weiteren daraus abgeleiteten Anmeldung neue Ansprüche auf solche Merkmale und/oder Kombinationen solcher Merkmale formuliert werden können.

**[0057]** Der Vollständigkeit halber wird auch angegeben, dass der Begriff „umfassend“ andere Elemente oder Schritte nicht ausschließt, der Begriff „ein“ oder „einer, eine, eines“ mehrere davon nicht ausschließt, ein einzelner Prozessor oder eine andere Einheit die Funktionen mehrerer Mittel, die in den Ansprüchen aufgeführt sind, erfüllen kann, und Bezugszeichen in den Ansprüchen nicht als Einschränkung des Umfangs der Ansprüche auszulegen sind.



**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**

- US 8569981 B2 [0006]

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines elektrischen Servolenkungssystems (electric power assisted steering - EPS), das mindestens zwei Wechselrichterbrücken umfasst, die jeweils mit einem Mehrphasenmotor verbunden sind, der konfiguriert ist, eine Servounterstützung für das Lenken eines Fahrzeugs bereitzustellen, wobei jede Wechselrichterbrücke mehrere Schaltelemente umfasst, die jeweils einer Phase des Motors zugeordnet sind, wobei das Verfahren Folgendes umfasst;

- während einer ersten Betriebsart des EPS-Systems, in der der Motor unter Verwendung beider Wechselrichterbrücken gleichzeitig angetrieben wird, wird der Nennstrom, der zu jeder Zeit von jeder Brücke an den Motor angelegt wird, auf einen ersten Wert begrenzt, und

- während eines Fehlerbetriebsmodus wird der Motor nur über eine der beiden Wechselrichterbrücken angetrieben, wobei der Nennstrom, der zu einem beliebigen Zeitpunkt im Fehlermodus an den Motor angelegt wird, auf einen zweiten Wert begrenzt ist,

- wobei das Verfahren den zweiten Wert als Funktion eines oder mehrerer Betriebsparameter des EPS-Systems variiert, wodurch der zweite Wert höher als der erste Wert eingestellt wird, wenn dies als sicher erachtet wird. Das Verfahren kann im Normalmodus den Mehrphasenmotor unter Verwendung beider Spure antreiben, wobei die Strombegrenzung für jede Spur auf den ersten Wert eingestellt ist, und im Fehlermodus kann eine Spur deaktiviert werden, die als fehlerhaft befunden wird, eine sogenannte fehlerhafte Spur, so dass der Antrieb des Motors durch die verbleibende nicht fehlerhafte Spur mit einer auf den zweiten Wert erhöhten Strombegrenzung versorgt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend das Bestimmen der Betriebsparameter durch Überwachen einer oder mehrerer verfügbarer Informationen in Bezug auf die Betriebsbedingungen des EPS-Systems, um den Wert zu bestimmen, der für den zweiten Grenzwert eingestellt werden soll.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wo bei der zweite Grenzwert auf mindestens einem der Folgenden basiert:

- der gemessenen oder berechneten Umgebungstemperatur des EPS-Systems und insbesondere der nicht fehlerhaften Wechselrichterbrücke(n);
- der gemessenen oder berechneten EPS-Subsystemtemperatur, insbesondere die Wechselrichterbrücke(n) oder Teile davon,
- der/den Batteriespannung(en), die die Wechselrichterbrücken versorgt/versorgen,
- der Motordrehzahl,
- der momentanen Drehmomentanforderung des Motors/der Motoren des EPS-Systems,

- dem momentanen Strombedarf des Motors/der Motoren des EPS-Systems,

- einer durchschnittlichen Drehmomentanforderung über einen vordefinierten Zeitraum vor dem Zeitpunkt; und

- einer durchschnittlichen Drehmomentanforderung über einen vordefinierten Zeitraum vor dem Zeitpunkt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend das Einstellen eines ersten Wertes, der gleich 50 Prozent eines zweiten Nennwerts ist, und das Verfahren variiert oder reguliert den zweiten verwendeten Wert herab, indem dieser in Richtung des ersten Werts oder auf diesen reduziert wird, wenn die Betriebsparameter angeben, dass eine oder mehrere Komponenten des EPS-Systems überhitzen, und erhöht den zweiten Wert wieder auf den Spitzenwert, wenn dies zu einem späteren Zeitpunkt sicher ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend das Einstellen eines zweiten Werts, der einen Wert in einem Bereich von 0 bis 100 Prozent des vollen Nennstroms in Abhängigkeit von den Betriebsparametern des EPS-Systems aufweist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in dem Fall, dass das Verfahren den zweiten Wert verringert, weil ein Betriebsparameter angibt, dass ein Teil der Spur überhitzt oder Gefahr läuft, zu überhitzen, der zweite Wert anschließend erhöht wird, wenn das Teil nicht länger überhitzt oder Gefahr läuft, zu überhitzen.

7. System für ein elektrisches Servolenkungsgerät (EPS), das mindestens zwei Wechselrichterbrücken umfasst, die jeweils mit einem Mehrphasenmotor verbunden sind, der konfiguriert ist, eine Servounterstützung für das Lenken eines Fahrzeugs bereitzustellen, wobei jede Wechselrichterbrücke mehrere Schaltelemente umfasst, die jeweils einer Phase des Motors zugeordnet sind, wobei das System ferner eine Steuerung umfasst, die für Folgendes angeordnet ist:

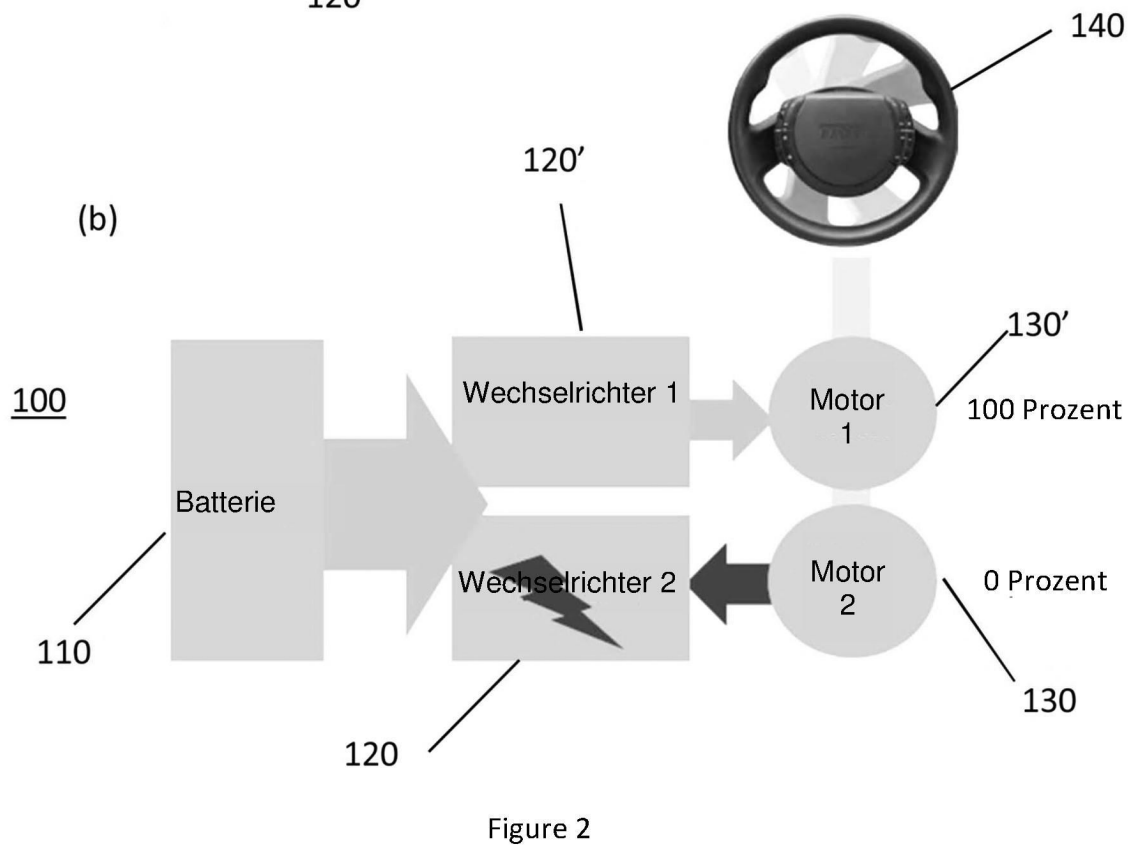
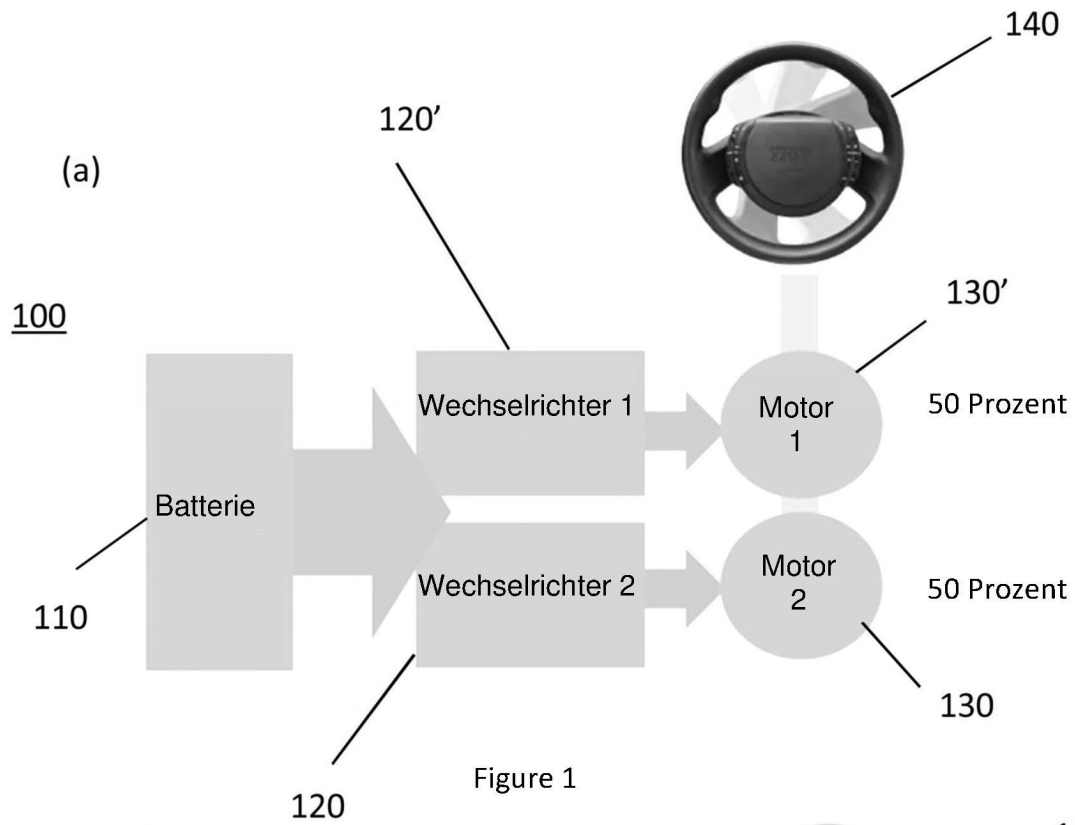
- während einer ersten Betriebsart des EPS-Systems, in der die Steuerung den Motor unter Verwendung beider Wechselrichterbrücken gleichzeitig antreibt, wird der Nennstrom, der zu jeder Zeit von jeder Brücke an den Motor angelegt wird, auf einen ersten Wert begrenzt, und

- während eines Fehlerbetriebsmodus treibt die Steuerung den Motor nur über eine der beiden Wechselrichterbrücken an, wobei der Nennstrom, der zu einem beliebigen Zeitpunkt im Fehlermodus an den Motor angelegt wird, auf einen zweiten Wert begrenzt ist, wobei die Steuerung den zweiten Wert während der Dauer des Fehlerbetriebs in Abhängigkeit von ei-

nem oder mehreren Betriebsparametern des EPS-  
Systems variiert.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



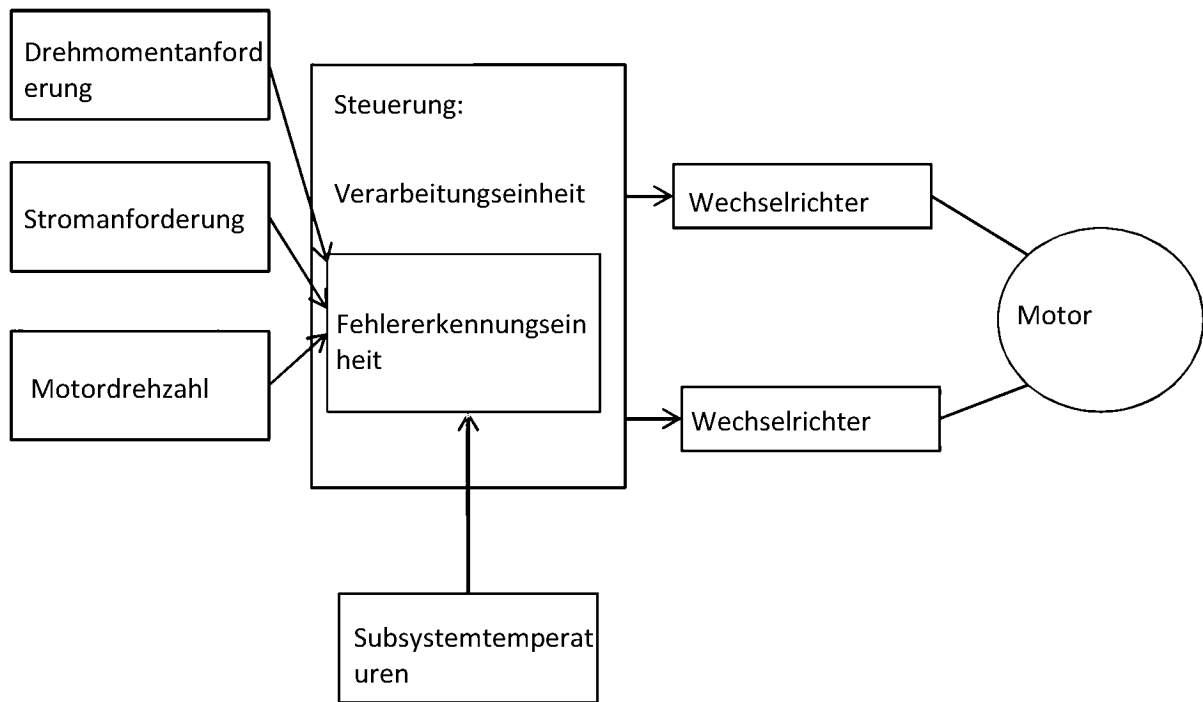


Figure 3

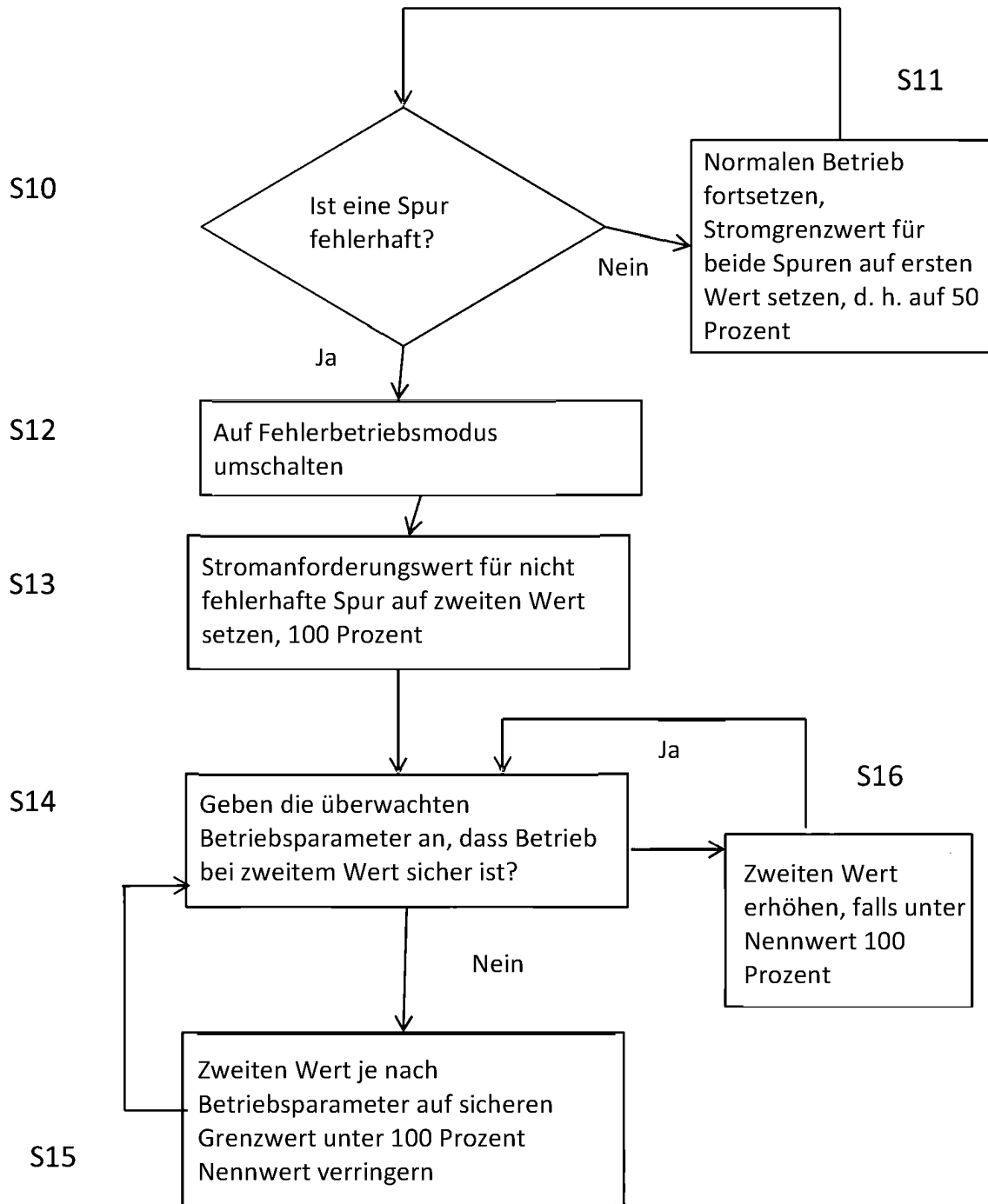


Figure 4

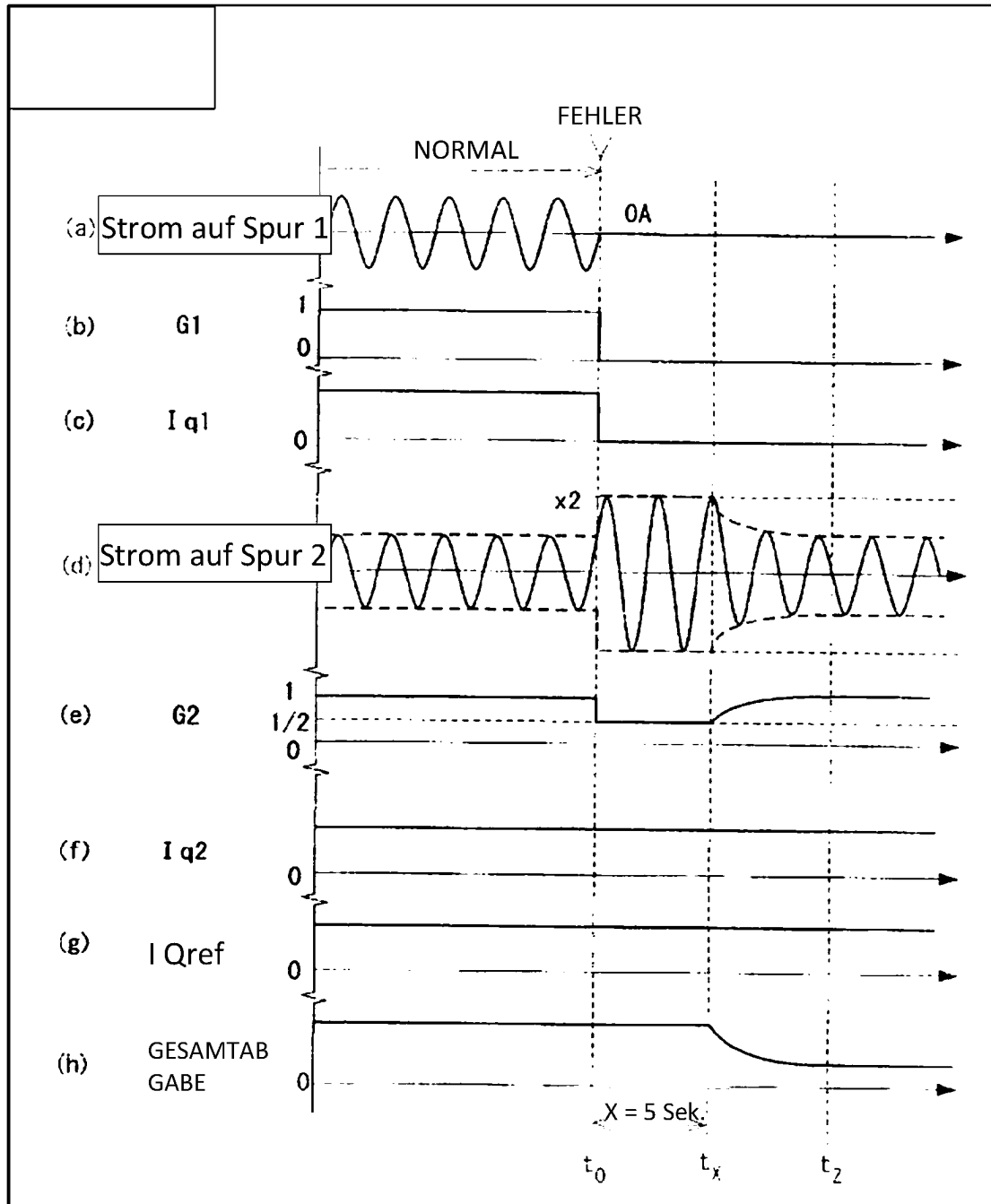


Figure 5