



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2023 103 646.7**

(22) Anmeldetag: **15.02.2023**

(43) Offenlegungstag: **22.08.2024**

(51) Int Cl.: **G01D 5/12 (2006.01)**

**G01B 7/30 (2006.01)**

**B62M 6/45 (2010.01)**

**B62M 6/50 (2010.01)**

**H04L 27/38 (2006.01)**

**H03D 3/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Schaeffler Technologies AG & Co. KG, 91074  
Herzogenaurach, DE**

(72) Erfinder:

**Huang, Yilan, 76532 Baden-Baden, DE; Zamalloa,  
Jose Alxeander Lazo, 77815 Bühl, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

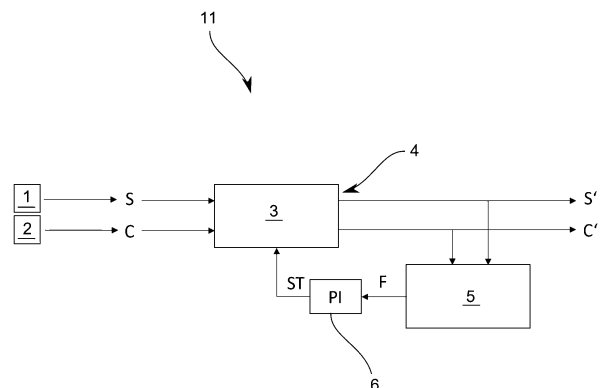
DE	10 2004 038 621	B3
DE	197 12 622	A1
DE	10 2013 012 208	A1
DE	10 2020 000 424	A1
DE	11 2018 006 832	T5
US	2006 / 0 076 480	A1
EP	1 777 906	A1
JP	2014- 211 353	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen (S,C), wobei ein erster Winkelsensor (1) und ein zweiter Winkelsensor (2) toleranzbehaftet orthogonal zueinander positioniert sind, so dass mittels des ersten Winkelsensors (1) ein sinus-artiges Signal (S) und mittels des zweiten Winkelsensors (2) ein cosinus-artiges Signal (C) bereitstellbar ist, wobei das sinus-artige Signal (S) und das cosinus-artige Signal (C) einen von 90° abweichenden Phasenversatz aufweisen, und das sinus-artige Signal (S) sowie das cosinus-artige Signal (C) an einen Korrektor (3) geleitet werden, mittels dessen der zwischen dem sinus-artigen Signal (S) und dem cosinus-artigen Signal (C) bestehende Winkelfehler (F) korrigiert und ein korrigiertes sinus-artige Signal (S') sowie ein korrigiertes cosinus-artige Signal (C') am Ausgang (4) des Korrektors (3) zur Verfügung gestellt wird, wobei der ermittelten Winkelfehler (F) an ein PI-Glied (6) übermittelt wird, welches an seinem Ausgang eine Stellgröße (ST) bereitstellt, welche als Eingangssignal an den Korrektor (3) geleitet wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen, wobei ein erster Winkelsensor und ein zweiter Winkelsensor toleranzbehaftet orthogonal zueinander positioniert sind, so dass mittels des ersten Winkelsensors ein sinus-artiges Signal und mittels des zweiten Winkelsensors ein cosinus-artiges Signal bereitstellbar ist, wobei das sinus-artige Signal und das cosinus-artige Signal einen von  $90^\circ$  abweichenden Phasenversatz aufweisen, und das sinus-artige Signal sowie das cosinus-artige Signal an einen Korrektor geleitet werden, mittels dessen der zwischen dem sinus-artigen Signal und dem cosinus-artigen Signal bestehende Winkelfehler korrigiert und ein korrigiertes sinus-artige Signal sowie ein korrigiertes cosinus-artige Signal am Ausgang des Korrektors zur Verfügung gestellt wird.

**[0002]** Neben konventionellen Kraftfahrzeugen, insbesondere Personenkraftwagen, rücken zunehmend Kleinstfahrzeuge in den Fokus der Gesellschaft, um die sich verändernden Mobilitätsanforderungen zukunftsicher zu erfüllen. Die Kleinstfahrzeuge haben den Vorteil, dass diese zum einen geringeren Raum als Parkplatz beanspruchen. Zum anderen können die Kleinstfahrzeuge so ausgelegt sein, dass diese sich maßgeblich im Stadtverkehr bewegen können, sodass die Anforderungen an mögliche Höchstgeschwindigkeiten sehr gering sind.

**[0003]** Zu dieser Gruppe von Kleinstfahrzeugen gehören traditionell auch beispielsweise Fahrräder, welche üblicherweise mit Muskelkraft betrieben wurden und werden. Neben den muskelbetriebenen Fahrrädern wurden auch Fahrräder mit Hilfsmotoren entwickelt. Mit der Entwicklung von leistungsfähigen Akkus wurden die Hilfsmotoren umweltschonend als Elektromotoren realisiert. Derartige Elektrofahrräder sind mittlerweile ein fester Bestandteil im Straßenbild geworden. Diese muskel- oder tretkraftunterstützten Fahrzeuge sind insbesondere unter den Namen Pedelec (Pedal Electric Cycle), E-Bike oder Elektrofahrrad bekannt.

**[0004]** Aus der DE 10 2013 012 208 A1 ist bereits ein derartiges elektrisches Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betriebenes Fahrzeug bekannt, wobei das elektrische Antriebssystem mindestens einen mit einer Antriebskurbel mechanisch verbundenen elektrischen Generator, einen elektrischen Antriebsmotor, einen elektrischen Energiespeicher und eine elektrische Schaltungsanordnung zur elektrischen Verkopplung des Generators mit dem Antriebsmotor und dem Energiespeicher umfasst.

**[0005]** Es existieren ferner verschiedene Konzepte, auf die, einem mechanischen Verschleiß unterlie-

genden Endloszugmittel zur Übertragung der Muskelkraft in elektrifizierten Antriebssträngen zu verzichten. Diese Konzepte sind auch unter dem Namen Chainless-Drive (CLD) bekannt, in denen beispielsweise vollständig auf eine Fahrradkette verzichtet wird.

**[0006]** Bei konventionellen Chainless-Drive (CLD) Systemen wird mit dem von den Kurbeln durch den Fahrer angetriebenen Generator mittels Elektronik ein Gleichstrom erzeugt, mittels welchem eine Batterie geladen werden kann und/oder ein Antriebsmotor mit steuerbarem/regelbarem Strom unabhängig von der Generatordrehzahl angetrieben werden kann. Da eine direkte mechanische Verbindung zwischen dem Fahrer und dem angetriebenen Rad bei einem Chainless-Drive nicht mehr vorhanden ist, kann beispielsweise eine Rücktrittbremse nicht mehr realisiert werden.

**[0007]** Hierzu wird in der Regel durch eine Steuereinheit und Regelungssoftware des Chainless-Drive-Systems auf der Basis von Eingangsparametern aus dem CLD-Tretlagermodul, wie beispielsweise Drehwinkel, Drehzahl, Drehmoment, Beschleunigungssignalen etc. ein Drehmoment- bzw. Drehzahlwert berechnet, welcher durch den Antriebsmotor in Fahrzeugvorschub umgesetzt wird.

**[0008]** Bei derartigen Elektromotoren oder Generatoren wird der aktuelle Rotorwinkel aus Sinus- und Cosinus-Signalen entsprechender Rotorwinkelsensoren errechnet. Für einen sicheren und effizienten Betrieb der Elektromotoren ist es daher zu gewährleisten, dass die Sensoren  $90^\circ$  elektrisch zueinander verbaut sind. Diese  $90^\circ$  Anordnung der Sensoren wird auch als Orthogonalität bezeichnet. Aufgrund von Fertigungstoleranzen sowie mechanischer und/oder thermischer Verformungen der Sensoren oder der umgebenden Strukturen im Betrieb, kann dieser Winkel sich jedoch in der Praxis ändern. Dadurch wird das Winkelsignal entsprechend verfälscht, was regelmäßig unerwünscht ist.

**[0009]** Aus der EP1777906A1 ist ein Verfahren bekannt, um die Orthogonalität in den oben skizzierten Fällen zu korrigieren. Der Fehlerwinkel wird hierbei direkt aus Sinus- und Cosinus-Signalen errechnet, und ein Korrektor übernimmt dann die Aufgabe, den ermittelten Fehler entsprechend zu korrigieren. Diese direkte Ermittlung des Fehlerwinkels ist jedoch nicht günstig im Hinblick auf den hierzu erforderlichen Rechenaufwand, da im Korrektor trigonometrische Funktionen verwendet werden müssen, was zu einem hohen Rechenaufwand führt.

**[0010]** Es ist daher die Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zur dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen bereitzustellen, dass mit einer geringen Rechnerleis-

tung schnell und stabil durchgeführt werden kann. Es ist ferner die Aufgabe der Erfindung ein verbessertes Computerprogrammprodukt, eine optimierte Winkelfehlerkompensationsvorrichtung, eine verbesserte elektrische Maschine sowie ein elektrisches Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betreibbares Fahrzeug zu realisieren.

**[0011]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen, wobei ein erster Winkelsensor und ein zweiter Winkelsensor toleranzbehaftet orthogonal zueinander positioniert sind, so dass mittels des ersten Winkelsensors ein sinus-artiges Signal und mittels des zweiten Winkelsensors ein cosinus-artiges Signal bereitstellbar ist, wobei das sinus-artige Signal und das cosinus-artige Signal einen von  $90^\circ$  abweichenden Phasenversatz aufweisen, und das sinus-artige Signal sowie das cosinus-artige Signal an einen Korrektor geleitet werden, mittels dessen der zwischen dem sinus-artigen Signal und dem cosinus-artigen Signal bestehende Winkelfehler korrigiert und ein korrigiertes sinus-artige Signal sowie ein korrigiertes cosinus-artige Signal am Ausgang des Korrektors zur Verfügung gestellt wird, wobei das korrigierte sinus-artige Signal und das korrigierte cosinus-artige Signal einem Fehler-Detektor zugeleitet werden, der den Winkelfehler zwischen dem korrigierten sinus-artigen Signal und dem korrigierten cosinus-artigen Signal ermittelt, und den ermittelten Winkelfehler an ein PI-Glied übermittelt, welches an seinem Ausgang eine Stellgröße bereitstellt, welche als Eingangssignal an den Korrektor geleitet wird, wobei im Korrektor das sinus-artige Signal und das cosinus-artige Signal zunächst jeweils mit der Stellgröße multipliziert werden und nachfolgend das mit der Stellgröße multiplizierte sinus-artige Signal von dem cosinus-artigen Signal subtrahiert und als korrigiertes cosinus-artige Signal zur Verfügung gestellt wird, sowie das mit der Stellgröße multiplizierte cosinus-artige Signal von dem sinus-artigen Signal subtrahiert und als korrigiertes sinus-artiges Signal zur Verfügung gestellt wird.

**[0012]** Das Verfahren zur dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen nutzt die Tatsache, dass ein erster Winkelsensor und ein zweiter Winkelsensor orthogonal zueinander positioniert sind, um sinus- und cosinus-artige Signale bereitzustellen, die einen von  $90^\circ$  abweichenden Phasenversatz aufweisen. Durch den Einsatz eines Korrektors, eines Fehler-Detektors und eines PI-Glieds wird der Winkelfehler zwischen den beiden Signalen kontinuierlich erfasst und korrigiert, so dass am Ausgang des Korrektors korrigierte sinus- und cosinus-artige Signale zur Verfügung stehen.

**[0013]** Der technische Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass es eine genauere Ermittlung eines Winkels aus den von den Drehwinkelsensoren gelieferten Signalen ermöglicht, da es die Orthogonalität der entsprechenden Signale kontinuierlich korrigiert. Es wird ferner der Vorteil erzielt, dass im Korrektor lediglich einfache und rechenkapazitätsschonende Signalmanipulationen bzw. Auswertungen vorgenommen werden müssen, was dazu führt, dass die Korrektur der Orthogonalität auch mit vergleichsweise kostengünstigen Prozessoren hinreichend schnell und stabil bewirkt werden kann. So kann beispielsweise auf Rechner-Ressourcen beanspruchende trigonometrische Funktionen zur Signalmanipulation verzichtet werden.

**[0014]** Erfindungsgemäß dient ein PI-Glied dazu, den Winkelfehler dynamisch auf Null bzw. den Phasenversatz auf exakt  $90^\circ$  zu regeln. Im Korrektor werden die originalen Sinus- und Cosinus-Signale mit dem Ausgangssignal des PI-Glieds multipliziert und nachfolgend voneinander subtrahiert, was eine deutliche Reduktion des Rechenaufwands bewirkt.

**[0015]** Hierdurch wird es möglich, das Verfahren schnell und präzise auch mit vergleichsweise geringen Rechnerleistung durchzuführen und die Ergebnisse in Echtzeit oder nahezu in Echtzeit zu erhalten. Dies ermöglicht es, die Winkelfehler in Echtzeit zu kompensieren und somit beispielsweise die Steuerung einer die Signale verarbeitenden elektrischen Maschine zu verbessern.

**[0016]** Ein Winkelsensor kann beispielsweise als optischer Drehwinkelsensor ausgeführt sein, welcher eine optische Codierung auf dem Rotor nutzt, die von einem optischen Detektor erfasst wird, um den Drehwinkel des Rotors zu bestimmen. Diese Art von Sensor ist besonders genau und präzise, besitzen in der Regel eine hohe Auflösung, können jedoch empfindlich gegenüber Verschmutzungen sein. Ein Winkelsensor kann auch als ein magnetischer Drehwinkelsensor konfiguriert sein, der eine magnetische Codierung auf dem Rotor verwendet, die von einem magnetischen Detektor erfasst wird, um den Drehwinkel des Rotors zu bestimmen. Diese Art von Sensor ist robust und langlebig, jedoch nicht so präzise wie ein optischer Sensor und ihre Genauigkeit kann durch magnetische Störungen beeinträchtigt werden. Ferner ist es möglich, dass ein Winkelsensor als induktiver Drehwinkelsensor ausgeführt wird, der Induktionsänderungen auf dem Rotor, die von einem Induktionsdetektor erfasst werden, nutzt, um den Drehwinkel des Rotors zu bestimmen. Diese Art von Sensor ist robust und langlebig, jedoch in der Regel nicht so präzise wie ein optischer Sensor. Auch hier ist es möglich, dass ihre Genauigkeit durch elektromagnetische Störungen beeinträchtigt wird. Des Weiteren ist es denkbar, dass ein Winkelsensor als ein Potentiometer-basierter Drehwinkelsensor

aufgebaut ist. Dieser Sensor besteht aus einem Widerstand, der sich mit dem Rotor dreht und dessen Widerstandswert verändert, um den Winkel des Rotors zu bestimmen. Diese Art von Sensor ist einfach und kostengünstig, jedoch nicht so präzise wie optische oder magnetische Sensoren. Ferner kann ein Winkelsensor auch als ein Hall-Element-basierter Drehwinkelsensor konfiguriert sein, wobei dieser Sensor eine integrierte Schaltung sowie ein Hall-Effekt-Element verwendet, um den Winkel des Rotors zu bestimmen.

**[0017]** Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Fehler-Detektor zunächst ein erstes Winkelsignal aus einer Subtraktion des korrigierten sinus-artigen Signals von dem korrigierten cosinus-artigen Signal sowie ein zweites Winkelsignal aus einer Addition des korrigierten sinus-artigen Signals mit dem korrigierten cosinus-artigen Signal bereitstellt, und nachfolgend eine erste Amplitude des ersten Winkelsignals über eine Periode sowie eine zweite Amplitude des zweiten Winkelsignals über einer Periode ermittelt, wobei abschließend der Winkelfehler aus der Subtraktion der ersten Amplitude von der zweiten Amplitude ermittelt wird. Der Vorteil dieser Ausgestaltung liegt darin, dass der Winkelfehler indirekt über Amplitude ermittelt. Diese Methode kann eine höhere Robustheit gegenüber Schwingungen und Störungen im Signal mit sich bringen. Durch die Verwendung von Amplitudeninformationen, die über eine Periode ermittelt werden, wird die Auswirkung von Schwingungen und Störungen auf die Winkelfehlerberechnung reduziert. Es ist eine robustere Methode im Vergleich mit dem Verwenden des Winkels direkt, da dieser empfindlicher gegenüber Schwingungen und Störungen ist.

**[0018]** Die Aufgabe der Erfindung wird ferner gelöst durch ein Computerprogrammprodukt, das auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, oder Computer-Datensignal, verkörpert durch eine elektromagnetische Welle, mit einem Computerprogrammcode, der geeignet ist zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1. Eine Software-Implementierung des Verfahrens ermöglicht es unter anderem, die Berechnungen schneller und präziser durchzuführen und erleichtert auch die Anwendung des Verfahrens in einer Vielzahl von verschiedenen Anwendungen. Durch die Möglichkeit, das Programm auf einem maschinenlesbaren Träger zu speichern, ist es auch möglich, es an verschiedenen Orten und in verschiedenen Systemen zu verwenden. Es ermöglicht auch die Möglichkeit der Anpassung und der Weiterentwicklung des Programms.

**[0019]** Die Aufgabe der Erfindung kann des Weiteren auch gelöst werden durch eine Winkelfehlerkompensationsvorrichtung, umfassend einen Prozessor und einen Speicher, der einen Computerprogrammcode

enthält, wobei der Speicher und der Computerprogrammcode konfiguriert sind, mit dem Prozessor, die Steuereinheit zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1 zu veranlassen. Durch die Verwendung eines Prozessors und eines Speichers, die mit dem Computerprogrammcode konfiguriert sind, ist es möglich, das Verfahren schnell und präzise durchzuführen und die Ergebnisse in Echtzeit zu erhalten.

**[0020]** Die Aufgabe der Erfindung kann des Weiteren gelöst sein durch eine elektrische Maschine umfassend einen Stator und einen relativ zum Stator drehbaren Rotor, wobei die Winkelposition des Rotors durch einen ersten Winkelsensor und einen zweiten Winkelsensor, welche toleranzbehaftet orthogonal zueinander positioniert sind, bestimmbar ist, wobei die elektrische Maschine eine Winkelfehlerkompensationsvorrichtung nach Anspruch 4 aufweist. Der technische Vorteil davon, dass eine elektrische Maschine eine Winkelfehlerkompensationsvorrichtung aufweist, besteht darin, dass es die Genauigkeit der Positionsbestimmung des Rotors verbessert. Da die Winkelposition des Rotors durch einen ersten Winkelsensor und einen zweiten Winkelsensor bestimmt wird, die orthogonal zueinander positioniert sind, kann die Winkelfehlerkompensationsvorrichtung die Orthogonalität der Signale kontinuierlich korrigieren und somit die Genauigkeit der Positionsbestimmung des Rotors verbessern. Dies hat Auswirkungen auf die Leistung und die Effizienz der elektrischen Maschine, da es die Steuerung und Regelung der elektrischen Maschine verbessern kann und somit die Leistung und die Effizienz steigern kann.

**[0021]** Eine möglichst genaue Messung des Drehwinkels bzw. der Winkelposition des Rotors wird in elektrischen Maschinen benötigt, um die Leistung und die Effizienz der Maschine zu steuern und zu regeln. In Generatoren wird der Drehwinkel des Rotors verwendet, um die Frequenz und die Phasenlage des erzeugten Wechselstroms zu bestimmen und zu steuern. Eine genaue Messung des Drehwinkels ermöglicht es, die Leistung des Generators präzise zu regeln und die Frequenz des erzeugten Stroms stabil zu halten. In Motoren wird der Drehwinkel des Rotors verwendet, um die Geschwindigkeit und die Leistung des Motors zu bestimmen und zu steuern. Eine genaue Messung des Drehwinkels ermöglicht es, die Leistung des Motors präzise zu regeln und die Geschwindigkeit des Rotors stabil zu halten. Eine präzise Messung des Drehwinkels ermöglicht es auch, die Betriebsbedingungen der Maschine zu überwachen und frühzeitig auf Fehler oder Schäden zu reagieren, was zu einer höheren Betriebssicherheit und zu einer längeren Lebensdauer der Maschine führt.

**[0022]** Des Weiteren kann die Aufgabe der Erfindung auch gelöst sein durch ein elektrisches

Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betreibbares Fahrzeug, umfassend, eine erste, zumindest motorisch betreibbare, elektrische Maschine, welche zum Zwecke des Antriebs auf ein Antriebsrad des Fahrzeugs wirkt, eine zweite, zumindest generatorisch betreibbare, elektrische Maschine, welche eingerichtet ist eine von einem Fahrer des Fahrzeugs über eine Betätigungseinrichtung eingebrachte mechanische Energie in elektrische Energie umzuwandeln, eine Energiespeichereinrichtung zur Speicherung und/oder zur Abgabe elektrischer Energie, sowie eine zentrale Steuereinheit zur Ansteuerung der ersten elektrischen Maschine und zur Ansteuerung der zweiten elektrischen Maschine in der Art, dass durch eine muskelkraftbewirkte Drehung der Betätigungseinrichtung eine elektrisch bewirkte Drehung des Antriebsrads erzeugbar ist, wobei die Steuereinheit eingerichtet ist, ein Verfahren nach Anspruch 1 auszuführen. Der Vorteil eines elektrischen Antriebssystems für ein mit Muskelkraft betreibbares Fahrzeug, das eine erste motorisch betreibbare elektrische Maschine, eine zweite generatorisch betreibbare elektrische Maschine, eine Energiespeichereinrichtung und eine zentrale Steuereinheit umfasst, besteht darin, dass es ermöglicht, die Muskelkraft des Fahrers effizient in elektrische Energie umzuwandeln und diese Energie zum Antrieb des Fahrzeugs zu nutzen. Das Verfahren zur dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen ermöglicht es, die Positionsbestimmung des Rotors der elektrischen Maschine präziser zu machen und somit die Leistung und die Effizienz des Antriebssystems zu steigern. Dies ermöglicht es, die Muskelkraft des Fahrers in eine größere Leistung und eine höhere Effizienz des Fahrzeugs zu übersetzen, was die Nutzung von Muskelkraft betriebenen Fahrzeugen effektiver und praktikabler machen kann.

**[0023]** Schließlich kann die Aufgabe der Erfindung auch gelöst werden durch ein elektrisches Antriebssystem für ein mit Muskelkraft betreibbares Fahrzeug, umfassend, eine erste, zumindest motorisch betreibbare, elektrische Maschine, welche zum Zwecke des Antriebs auf ein Antriebsrad des Fahrzeugs wirkt, eine zweite, zumindest generatorisch betreibbare, elektrische Maschine, welche eingerichtet ist eine von einem Fahrer des Fahrzeugs über eine Betätigungseinrichtung eingebrachte mechanische Energie in elektrische Energie umzuwandeln, eine Energiespeichereinrichtung zur Speicherung und/oder zur Abgabe elektrischer Energie, sowie eine zentrale Steuereinheit zur Ansteuerung der ersten elektrischen Maschine und zur Ansteuerung der zweiten elektrischen Maschine in der Art, dass durch eine muskelkraftbewirkte Drehung der Betätigungseinrichtung eine elektrisch bewirkte Drehung des Antriebsrads erzeugbar ist, wobei die erste elektrische Maschine und/oder die zweite elektrische Maschine jeweils eine Winkelfehlerkompensations-

vorrichtung nach Anspruch 4 aufweist. Hierdurch kann die Genauigkeit und Effizienz des Systems insgesamt erhöht werden. Indem die erste und/oder die zweite elektrische Maschine mit einer Winkelfehlerkompensationsvorrichtung ausgestattet sind/ist, kann die Positionsbestimmung des Rotors beider Maschinen präziser gemacht werden, was die Leistung und Effizienz des Antriebssystems insgesamt steigert, was die Nutzung von Muskelkraft betriebenen Fahrzeugen insgesamt effektiver und praktikabler machen kann.

**[0024]** Bevorzugt ist das Fahrzeug als ein Klein- oder Kleinstfahrzeug oder als ein Elektromobil ausgebildet. Das Fahrzeug ist bevorzugt mehrspurig, z.B. mit drei oder mehr Rädern ausgebildet. Es kann z.B. als ein ein- oder mehrspuriger Roller, insbesondere als ein Elektromotorrad, als ein Elektromotorroller, als ein Elektroroller, Elektrotretroller, Elektroscooter, z.B. E-Scooter, als ein Segway, Hoverboard, Kickboard, Skateboard, Longboard o. ä. ausgebildet sein. Alternativ kann das Fahrzeug als ein Fahrrad, insbesondere als ein Elektrofahrrad, z.B. als ein Pedelec oder als ein E-Bike ausgebildet sein. Beispielsweise kann das Fahrzeug ein Transport- oder Lastenrad, insbesondere ein motorisiertes bzw. elektrisch angetriebenes Transport- oder Lastenrad, im Speziellen ein Dreirad- oder Vierrad-Pedelec oder eine Rikscha, insbesondere mit oder ohne Dach, oder ein Kabinenroller sein.

**[0025]** Grundsätzlich wäre es natürlich auch denkbar, dass eine Mehrzahl von motorisch betreibbaren elektrischen Maschinen an eine generatorisch betreibbaren Maschine gekoppelt sind. Hierdurch ließe sich beispielsweise ein mehrachsiges Antriebskonzept oder ein Allradantrieb bei einem mehrspurigen Fahrzeug realisieren. Ebenso wäre es möglich, dass mehrere generatorisch betreibbare Maschinen mit einer elektrisch betreibbaren Maschine gekoppelt sind, so dass sich hierdurch beispielsweise Tandem-Antriebskonzepte, bei denen beispielsweise zwei Personen Muskelkraft in das Antriebssystem einspeisen, realisiert werden können. Schließlich ist es auch möglich, das Antriebskonzept zu weiterzuentwickeln, dass mehrere generatorisch betreibbare elektrische Maschinen mit mehreren motorisch betreibbaren elektrischen Maschinen gekoppelt sind.

**[0026]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Figuren ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens näher erläutert werden.

**[0027]** Es zeigt:

**Fig. 1** ein Schaltbild einer Winkelfehlerkompensationsvorrichtung,

**Fig. 2** ein Schaltbild eines Fehler-Detektors,

**Fig. 3** ein Schaltbild eines Korrektors,

**Fig. 4** eine elektrische Maschine in einer schematischen Darstellung,

**Fig. 5** ein erste Ausführungsform eines elektrischen Antriebssystems für ein mit Muskelkraft betreibbares Fahrzeug in einer schematischen Darstellung,

**Fig. 6** ein zweite Ausführungsform eines elektrischen Antriebssystems für ein mit Muskelkraft betreibbares Fahrzeug in einer schematischen Darstellung.

**[0028]** Die **Fig. 1** zeigt eine Winkelfehlerkompensationsvorrichtung 11 zur Durchführung eines Verfahrens zur dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen S,C. Hierbei sind ein erster Winkelsensor 1 und ein zweiter Winkelsensor 2 toleranzbehafet orthogonal zueinander positioniert, so dass mittels des ersten Winkelsensors 1 ein sinus-artiges Signal S und mittels des zweiten Winkelsensors 2 ein cosinus-artiges Signal C bereitstellbar ist, wobei das sinus-artige Signal S und das cosinus-artige Signal C einen von  $90^\circ$  abweichenden Phasenversatz aufweisen, der beispielsweise aus mechanischen oder elektrischen Toleranzen eines Winkelsensors 1,2 bzw. eines Anbauteils, an dem ein Winkelsensor 1,2 angeordnet ist, herrühren können.

**[0029]** Das sinus-artige Signal S sowie das cosinus-artige Signal C werden daher zunächst an einen Korrektor 3 geleitet, mittels dessen der zwischen dem sinus-artigen Signal S und dem cosinus-artigen Signal C bestehende Winkelfehler F korrigiert und ein korrigiertes sinus-artige Signal S' sowie ein korrigiertes cosinus-artige Signal C' am Ausgang 4 des Korrektors 3 zur Verfügung gestellt wird.

**[0030]** Zur Regelung der Winkelfehlers F Richtung Null, werden das korrigierte sinus-artige Signal S' und das korrigierte cosinus-artige Signal C' einem Fehler-Detektor 5 zugeleitet, der den Winkelfehler F zwischen dem korrigierten sinus-artigen Signal S' und dem korrigierten cosinus-artigen Signal C' ermittelt.

**[0031]** Aus der **Fig. 2** ist ferner ersichtlich, dass der Fehler-Detektor 5 zunächst ein erstes Winkelsignal W1 aus einer Subtraktion des korrigierten sinus-artigen Signals S' von dem korrigierten cosinus-artigen Signal C' sowie ein zweites Winkelsignal W2 aus einer Addition des korrigierten sinus-artigen Signals S' mit dem korrigierten cosinus-artigen Signal C' bereitstellt. Nachfolgend werden eine erste Amplitude A1 des ersten Winkelsignals W1 über eine Periode sowie eine zweite Amplitude A2 des zweiten Winkelsignals W2 über einer Periode ermittelt. Abschließend erfolgt die Bestimmung des Winkelfehlers F aus der Subtraktion der ersten Amplitude A1 von der zweiten Amplitude A2. Der ermittelten Win-

kelfehler F wird nach nachfolgend an ein PI-Glied 6 übermittelt, welches an seinem Ausgang eine Stellgröße ST bereitstellt, welche als Eingangssignal an den Korrektor 3 geleitet wird. Falls es keinen Winkelfehler F gibt, es also bereits eine exakte  $90^\circ$  Phasenverschiebung zwischen S' und C' vorhanden ist, ergibt sich somit ein Winkelfehler von  $F = 0$ .

**[0032]** Wie man anhand der **Fig. 3** nachvollziehen kann, werden im Korrektor 3 das sinus-artige Signal S und das cosinus-artige Signal C zunächst jeweils mit der Stellgröße ST multipliziert. Nachfolgend wird das mit der Stellgröße ST multiplizierte sinus-artige Signal S\*ST von dem cosinus-artigen Signal C subtrahiert und als korrigiertes cosinus-artiges Signal C' zur Verfügung gestellt. In analoger Weise wird auch das mit der Stellgröße ST multiplizierte cosinus-artige Signal C\*ST von dem sinus-artigen Signal S subtrahiert und als korrigiertes sinus-artiges Signal S' zur Verfügung gestellt, sodass am Ende der Fehlerkorrektur ein Phasenversatz von möglichst exakt  $90^\circ$  zwischen S' und C' besteht. Der Prozess ist somit symmetrisch durchgeführt und bringt keine Amplitudenungleichheit dazu. Der Rechenaufwand bleibt niedrig.

**[0033]** Die gezeigte Reglerstruktur strebt somit im Laufe der Betriebszeit den Phasenwinkel zwischen S und C auf  $90^\circ$  zu regeln. Sowohl Fertigungstoleranzen als auch mechanische und/oder thermische Verformungen im Betrieb können dadurch kompensiert werden. Das beschriebene Verfahren kann insbesondere in Form einer Software umgesetzt sein.

**[0034]** Wie in der **Fig. 4** dargestellt, umfasst kann die Winkelfehlerkompensationsvorrichtung 11 einen Prozessor 33 und einen Speicher 34 aufweisen, der einen Computerprogrammcode enthält, wobei der Speicher 34 und der Computerprogrammcode konfiguriert sind, mit dem Prozessor 33, die Winkelfehlerkompensationsvorrichtung 11 zur Durchführung des oben skizzierten Verfahrens zu veranlassen. Die **Fig. 4** zeigt des Weiteren, eine elektrische Maschine 22,24 umfassend einen Stator 7 und einen relativ zum Stator 7 drehbaren Rotor 8, wobei die Winkelposition des Rotors 8 durch einen ersten Winkelsensor 1 und einen zweiten Winkelsensor 2, welche toleranzbehafet orthogonal zueinander positioniert sind, bestimmbar ist. Die elektrische Maschine 22,24 weist eine Winkelfehlerkompensationsvorrichtung 11 auf, die die Messsignale der Winkelsensoren 1,2 korrigiert, bevor diese zur Steuerung der elektrischen Maschine 22,24 an eine Steuereinheit 27 übergeben werden.

**[0035]** **Fig. 5** zeigt ein elektrisches Antriebssystem 20 für ein mit Muskelkraft betreibbares Fahrzeug 21, umfassend, eine erste, zumindest motorisch betreibbare, elektrische Maschine 22, welche zum Zwecke des Antriebs auf ein Antriebsrad 23 des

Fahrzeugs 21 wirkt, eine zweite, zumindest generatorisch betreibbare, elektrische Maschine 24, welche eingerichtet ist eine von einem Fahrer des Fahrzeugs 21 über eine Betätigungseinrichtung 25 eingebrachte mechanische Energie in elektrische Energie umzuwandeln, eine Energiespeichereinrichtung 26 zur Speicherung und/oder zur Abgabe elektrischer Energie, sowie eine zentrale Steuereinheit 27 zur Ansteuerung der ersten elektrischen Maschine 22 und zur Ansteuerung der zweiten elektrischen Maschine 24 in der Art, dass durch eine muskelkraftbewirkte Drehung der Betätigungseinrichtung 25 eine elektrisch bewirkte Drehung des Antriebsrads 23 erzeugbar ist. Die Steuereinheit 27 ist hierbei eingerichtet, ein Verfahren nach Anspruch 1 auszuführen. Die dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen S,C ist also in der Steuereinheit 27 integriert, beispielsweise durch eine entsprechende Software.

21	Fahrzeug
22	elektrische Maschine
23	Antriebsrad
24	elektrische Maschine
25	Betätigungseinrichtung
26	Energiespeichereinrichtung
27	Steuereinheit
33	Prozessor
34	Speicher

**[0036]** Fig. 6 zeigt eine Abwandlung des aus der Fig. 5 bekannten elektrischen Antriebssystems 20, bei der die erste elektrische Maschine 22 und die zweite elektrische Maschine 24 jeweils eine Winkelfehlerkompensationsvorrichtung 11 aufweisen, wie sie aus der Fig. 1 bekannt ist. Die elektrischen Maschinen 22,24 können dann der in der Fig. 4 gezeigten Konfiguration entsprechen.

**[0037]** Die Erfindung ist nicht auf die in den Figuren dargestellten Ausführungsformen beschränkt. Die vorstehende Beschreibung ist daher nicht als beschränkend, sondern als erläuternd anzusehen. Die nachfolgenden Patentansprüche sind so zu verstehen, dass ein genanntes Merkmal in zumindest einer Ausführungsform der Erfindung vorhanden ist. Dies schließt die Anwesenheit weiterer Merkmale nicht aus. Sofern die Patentansprüche und die vorstehende Beschreibung ‚erste‘ und ‚zweite‘ Merkmal definieren, so dient diese Bezeichnung der Unterscheidung zweier gleichartiger Merkmale, ohne eine Rangfolge festzulegen.

#### Bezugszeichenliste

1	Winkelsensor
2	Winkelsensor
3	Korrektor
4	Ausgang
5	Fehler-Detektor
6	PI-Glied
7	Stator
8	Rotor
11	Winkelfehlerkompensationsvorrichtung
20	Antriebssystem

**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 102013012208 A1 [0004]
- EP 1777906 A1 [0009]



### Patentansprüche

1. Verfahren zur dynamischen Korrektur der Orthogonalität von zwei wellenförmigen Drehwinkelsignalen (S,C), wobei ein erster Winkelsensor (1) und ein zweiter Winkelsensor (2) toleranzbehaftet orthogonal zueinander positioniert sind, so dass mittels des ersten Winkelsensors (1) ein sinus-artiges Signal (S) und mittels des zweiten Winkelsensors (2) ein cosinus-artiges Signal (C) bereitstellbar ist, wobei das sinus-artige Signal (S) und das cosinus-artige Signal (C) einen von 90° abweichenden Phasenversatz aufweisen, und das sinus-artige Signal (S) sowie das cosinus-artige Signal (C) an einen Korrektor (3) geleitet werden, mittels dessen der zwischen dem sinus-artigen Signal (S) und dem cosinus-artigen Signal (C) bestehende Winkelfehler (F) korrigiert und ein korrigiertes sinus-artige Signal (S') sowie ein korrigiertes cosinus-artige Signal (C') am Ausgang (4) des Korrektors (3) zur Verfügung gestellt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das korrigierte sinus-artige Signal (S') und das korrigierte cosinus-artige Signal (C') einem Fehler-Detektor (5) zugeleitet werden, der den Winkelfehler (F) zwischen dem korrigierten sinus-artigen Signal (S') und dem korrigierten cosinus-artigen Signal (C') ermittelt, und den ermittelten Winkelfehler (F) an ein PI-Glied (6) übermittelt, welches an seinem Ausgang eine Stellgröße (ST) bereitstellt, welche als Eingangssignal an den Korrektor (3) geleitet wird, wobei im Korrektor (3) das sinus-artige Signal (S) und das cosinus-artige Signal (C) zunächst jeweils mit der Stellgröße (ST) multipliziert werden und nachfolgend das mit der Stellgröße (ST) multiplizierte sinus-artige Signal (S\*ST) von dem cosinus-artigen Signal (C) subtrahiert und als korrigiertes cosinus-artiges Signal (C') zur Verfügung gestellt wird, sowie das mit der Stellgröße (ST) multiplizierte cosinus-artige Signal (C\*ST) von dem sinus-artigen Signal (S) subtrahiert und als korrigiertes sinus-artiges Signal (S') zur Verfügung gestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Fehler-Detektor (5) zunächst ein erstes Winkelsignal (W1) aus einer Subtraktion des korrigierten sinus-artigen Signals (S') von dem korrigierten cosinus-artigen Signal (C') sowie ein zweites Winkelsignal (W2) aus einer Addition des korrigierten sinus-artigen Signals (S') mit dem korrigierten cosinus-artigen Signal (C') bereitstellt, und nachfolgend eine erste Amplitude (A1) des ersten Winkelsignals (W1) über eine Periode sowie eine zweite Amplitude (A2) des zweiten Winkelsignals (W2) über einer Periode ermittelt, wobei abschließend der Winkelfehler (F) aus der Subtraktion der ersten Amplitude (A1) von der zweiten Amplitude (A2) ermittelt wird.

3. Computerprogrammprodukt, das auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, oder Computer-Datensignal, verkörpert durch eine elektromagnetische Welle, mit einem Computerprogrammcode, der geeignet ist zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1.

4. Winkelfehlerkompensationsvorrichtung (11) umfassend einen Prozessor (33) und einen Speicher (34), der einen Computerprogrammcode enthält, wobei der Speicher (34) und der Computerprogrammcode konfiguriert sind, mit dem Prozessor (33), die Winkelfehlerkompensationsvorrichtung (11) zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1 zu veranlassen.

5. Elektrische Maschine (22,24) umfassend einen Stator (7) und einen relativ zum Stator (7) drehbaren Rotor (8), wobei die Winkelposition des Rotors (8) durch einen ersten Winkelsensor (1) und einen zweiten Winkelsensor (2), welche toleranzbehaftet orthogonal zueinander positioniert sind, bestimmbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Maschine (22,24) eine Winkelfehlerkompensationsvorrichtung (11) nach Anspruch 4 aufweist.

6. Elektrisches Antriebssystem (20) für ein mit Muskelkraft betreibbares Fahrzeug (21), umfassend, eine erste, zumindest motorisch betreibbare, elektrische Maschine (22), welche zum Zwecke des Antriebs auf ein Antriebsrad (23) des Fahrzeugs (21) wirkt, eine zweite, zumindest generatorisch betreibbare, elektrische Maschine (24), welche eingerichtet ist eine von einem Fahrer des Fahrzeugs (21) über eine Betätigungseinrichtung (25) eingebrachte mechanische Energie in elektrische Energie umzuwandeln, eine Energiespeichereinrichtung (26) zur Speicherung und/oder zur Abgabe elektrischer Energie, sowie eine zentrale Steuereinheit (27) zur Ansteuerung der ersten elektrischen Maschine (22) und zur Ansteuerung der zweiten elektrischen Maschine (24) in der Art, dass durch eine muskelkraftbewirkte Drehung der Betätigungseinrichtung (25) eine elektrisch bewirkte Drehung des Antriebsrads (23) erzeugbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass

die Steuereinheit (27) eingerichtet ist, ein Verfahren nach Anspruch 1 auszuführen.

7. Elektrisches Antriebssystem (20) für ein mit Muskelkraft betreibbares Fahrzeug (21), umfassend, eine erste, zumindest motorisch betreibbare, elektrische Maschine (22), welche zum Zwecke des Antriebs auf ein Antriebsrad (23) des Fahrzeugs (21) wirkt, eine zweite, zumindest generatorisch betreibbare, elektrische Maschine (24), welche eingerichtet ist eine von einem Fahrer des Fahrzeugs (21) über eine Betätigungseinrichtung (25) eingebrachte mechanische Energie in elektrische Energie

umzuwandeln, eine Energiespeichereinrichtung (26) zur Speicherung und/oder zur Abgabe elektrischer Energie, sowie eine zentrale Steuereinheit (27) zur Ansteuerung der ersten elektrischen Maschine (22) und zur Ansteuerung der zweiten elektrischen Maschine (24) in der Art, dass durch eine muskelfkraftbewirkte Drehung der Betätigungseinrichtung (25) eine elektrisch bewirkte Drehung des Antriebsrads (23) erzeugbar ist,

**dadurch gekennzeichnet**, dass die erste elektrische Maschine (22) und/oder die zweite elektrische Maschine (24) jeweils eine Winkelfehlerkompensationsvorrichtung (11) nach Anspruch 4 aufweist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

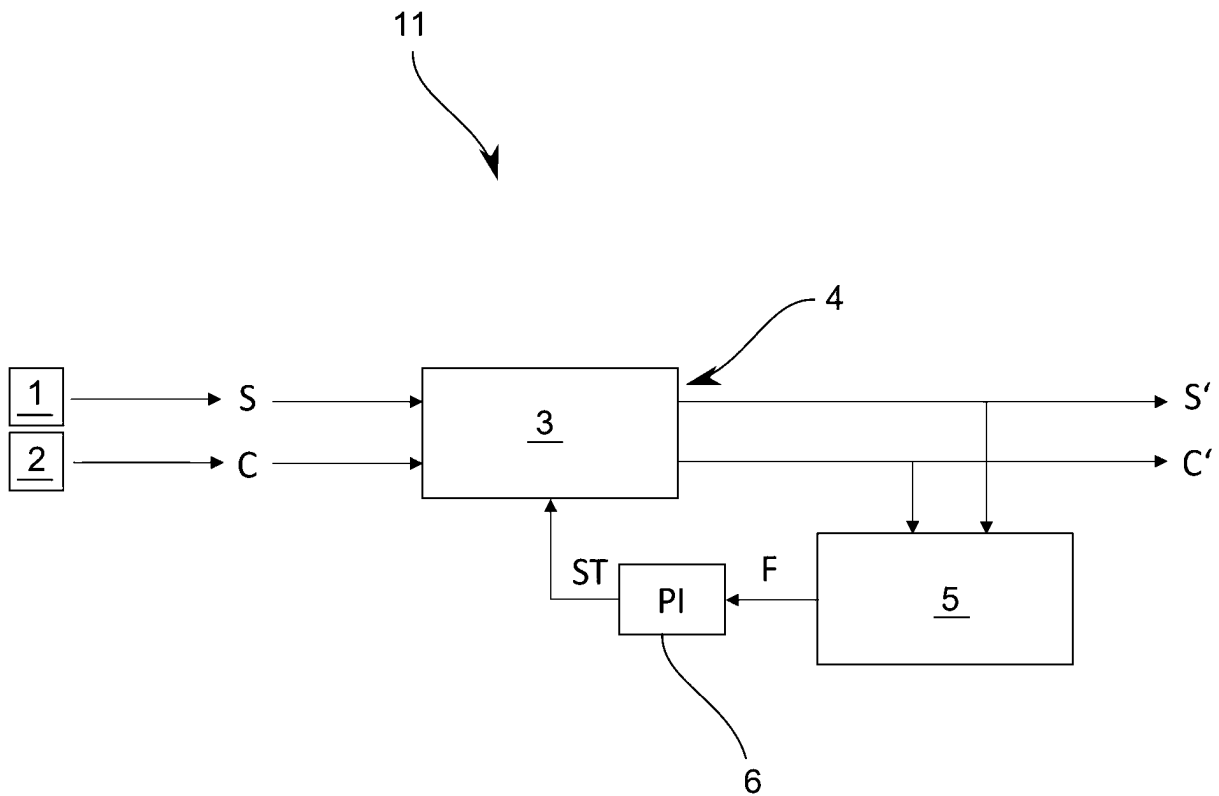
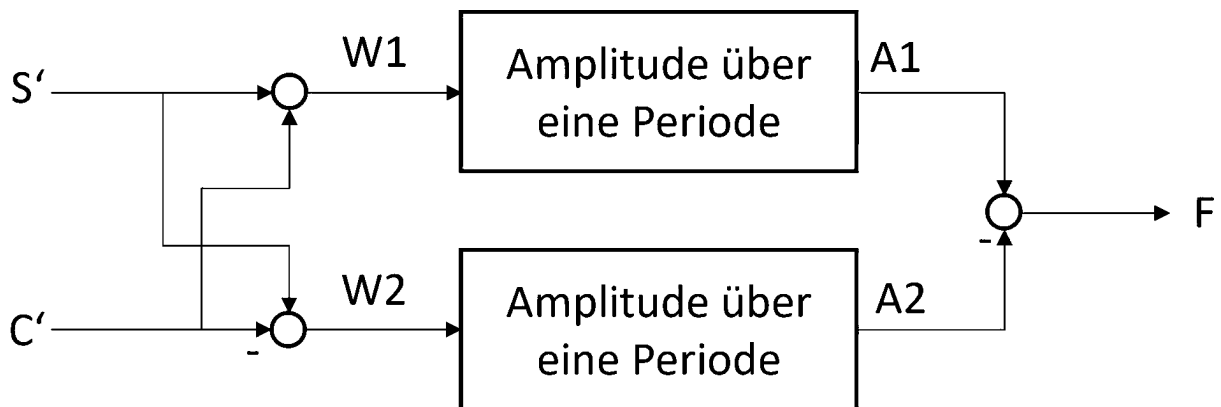


Fig. 1

5



**Fig. 2**

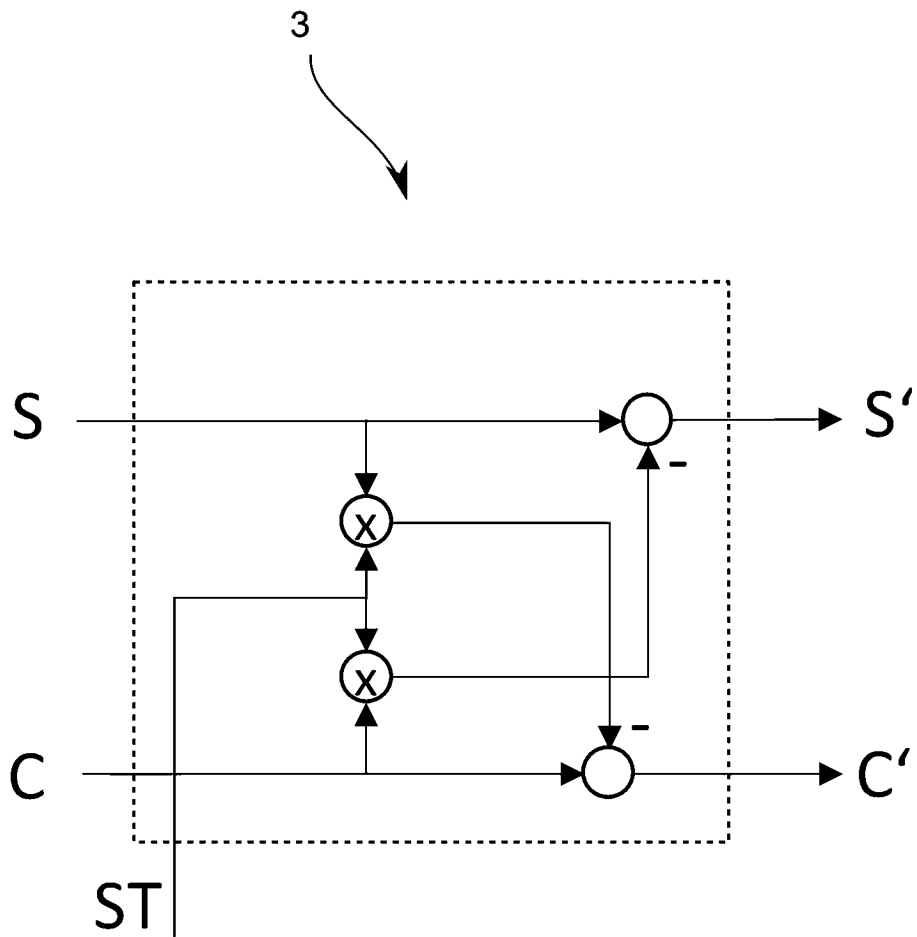


Fig. 3

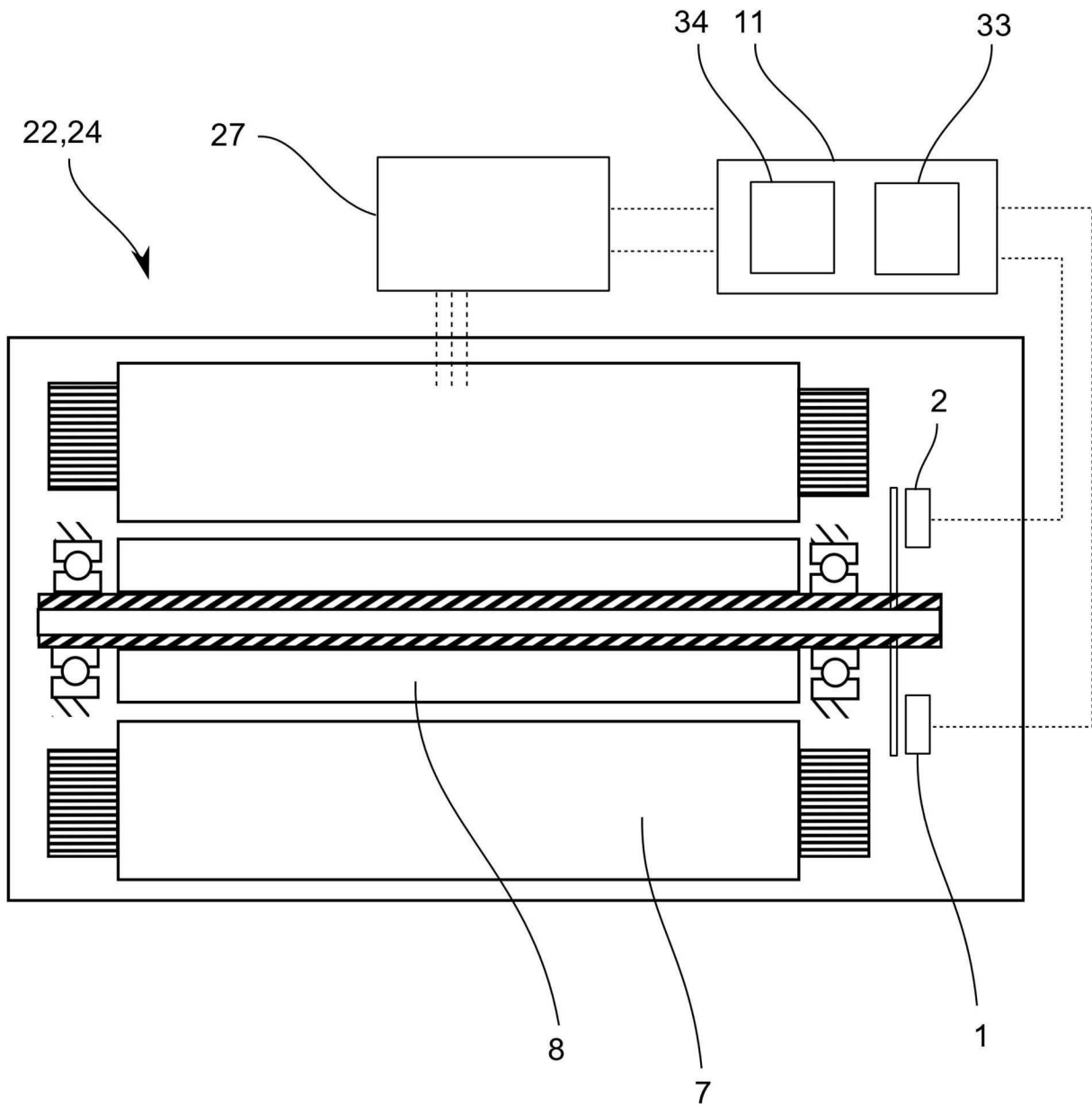


Fig. 4

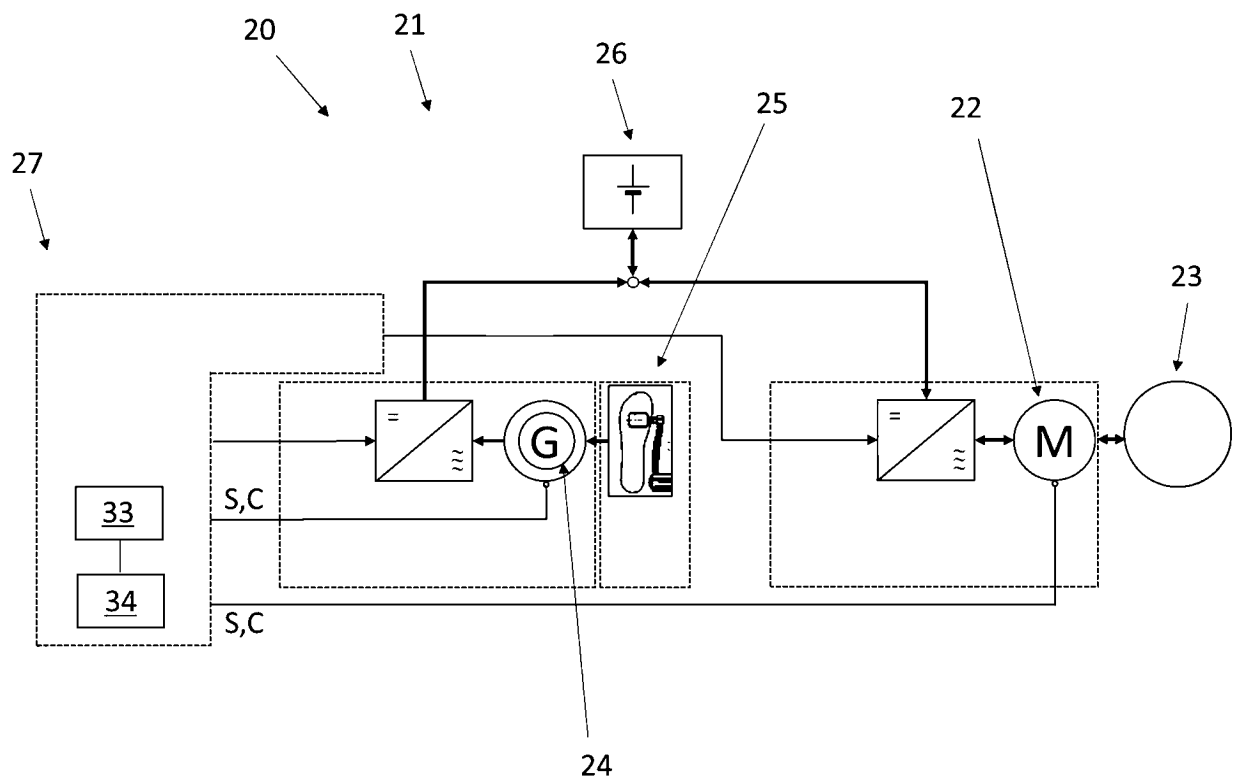
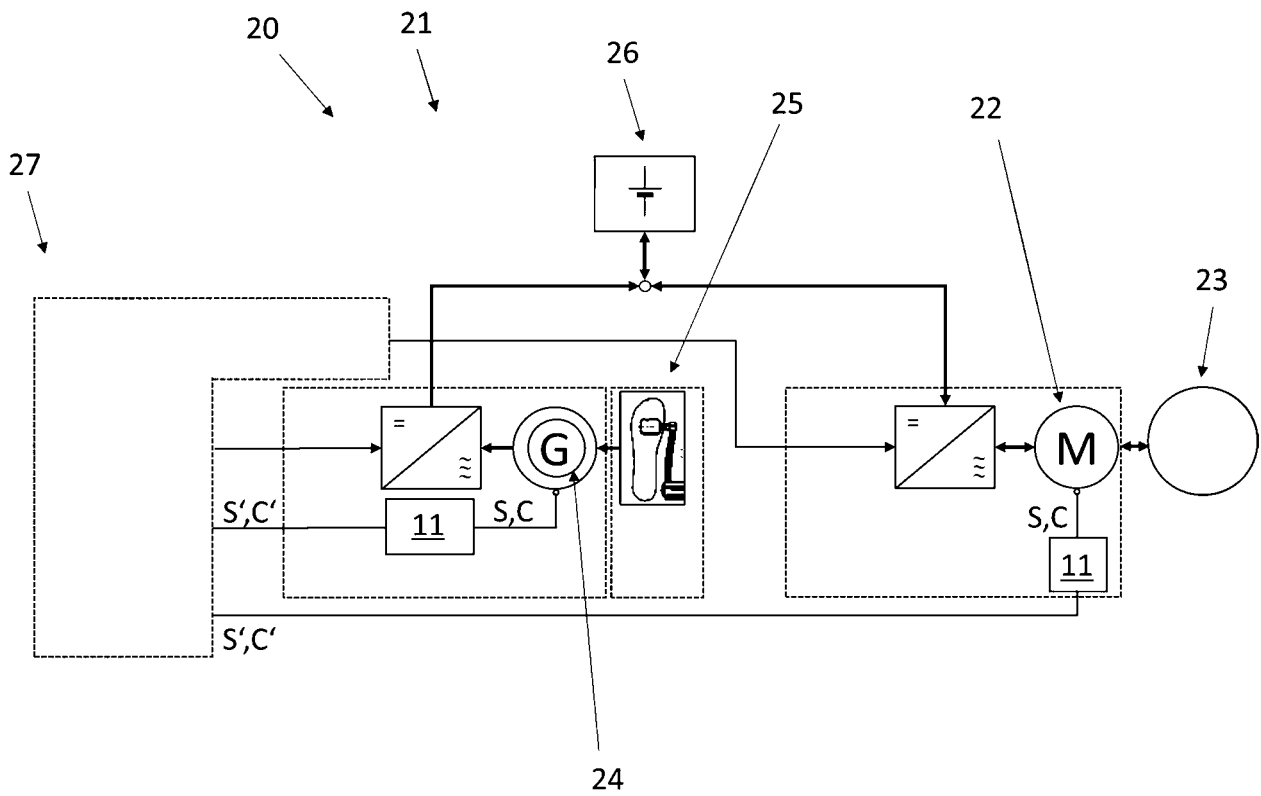


Fig. 5



**Fig. 6**