

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Dezember 2024 (19.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/256633 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B60L 50/20 (2019.01) B62M 6/55 (2010.01)
B62M 6/45 (2010.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/066543

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. Juni 2024 (14.06.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 115 717.5
15. Juni 2023 (15.06.2023) DE

(71) Anmelder: **BROSE ANTRIEBSTECHNIK GMBH & CO. KOMMANDITGESELLSCHAFT, BERLIN** [DE/DE]; Sickingenstraße 29-38, 10553 Berlin (DE).

(72) Erfinder: **KLETT, Thomas**; Wurmbergstraße 6, 34130 Kassel (DE). **JORDAN, Mick**; Am Wald 33, 14656 Brie-

selang (DE). **ELANGOVAN, Vinoth Kumar**; Lydia-Rabinowitsch-Str. 21, 10557 Berlin (DE).

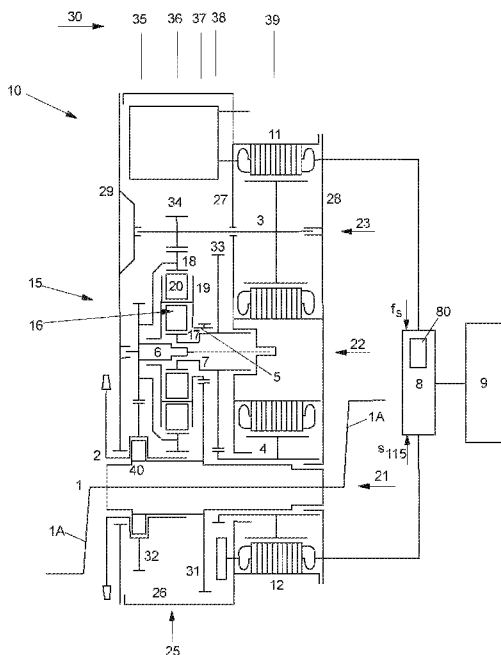
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,

(54) Title: DRIVE SYSTEM WITH CONTROL ELECTRONICS FOR ACTUATING THE ELECTROMOTIVE DRIVE USING AN ACTIVE SHORT-CIRCUIT IN THE EVENT OF A FAULT

(54) Bezeichnung: ANTRIEBSSYSTEM MIT STEUERELEKTRONIK ZUR ANSTEUERUNG DES ELEKTROMOTORISCHEN ANTRIEBS MIT EINEM AKTIVEN KURZSCHLUSS IN EINEM FEHLERFALL

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a drive system for an electric bicycle (F), comprising a driveshaft (1) for applying a drive force by means of muscle power in order to drive the electric bicycle (F), an output shaft (2) for transmitting the drive force to a wheel (112) of the electric bicycle (F), at least one electric motor (11, 12) for generating a supporting force by means of an external force, a transmission device (15) for coupling the driveshaft (1) to the output shaft (2) and for transmitting the supporting force to the output shaft (2), and control electronics (8) for controlling the at least one electric motor (11, 12), said control electronics being configured so as to actuate the at least one electric motor (11, 12) using an active short-circuit prior to switching to a torque-free state in response to at least one fault signal (f_s).

(57) Zusammenfassung: Die vorgeschlagene Lösung betrifft ein Antriebssystem für ein Elektrofahrrad (F), mit einer Antriebswelle (1) zum muskelkraftbetätigten Aufbringen einer Antriebskraft für das Antreiben des Elektrofahrrads (F), einer Abtriebswelle (2) zur Übertragung der Antriebskraft an ein Rad (112) des Elektrofahrrads (F), mindestens einem Elektromotor (11, 12) zur fremdkraftbetätigten Erzeugung einer Unterstützungskraft, einer Getriebeeinrichtung (15) zur Kopplung der Antriebswelle (1) und der Abtriebswelle (2) und Übertragung der Unterstützungskraft an die Abtriebswelle (2) und einer Steuerelektronik (8) zur Steuerung des mindestens einen Elektromotors (11, 12), die konfiguriert ist, in Reaktion auf wenigstens ein Fehlersignal (f_s) den mindestens einen Elektromotor (11, 12) vor dem Schalten in einen drehmomentfreien Zustand mit einem aktiven Kurzschluss anzusteuern.

WO 2024/256633 A1

IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)*

5

**Antriebssystem mit Steuerelektronik zur Ansteuerung des elektromotorischen
Antriebs mit einem aktiven Kurzschluss in einem Fehlerfall**

10

Beschreibung

Die vorgeschlagene Lösung betrifft insbesondere ein Antriebssystem für ein Elektrofahrrad.

15

Es ist für Antriebssysteme für Elektrofahrräder mit mindestens einem Elektromotor zur fremdkraftbetätigten Erzeugung einer Unterstützungskraft bekannt, in Reaktion auf wenigstens ein Fehlersignal den mindestens einen Elektromotor in einen drehmomentfreien Zustand zu schalten. So ist es notwendig, den mindestens einen

20 Elektromotor in einen drehmomentfreien und damit sicheren Zustand zu schalten, wenn ein sicherheitskritischer Fehler detektiert wird und damit beispielsweise eine zuverlässige Steuerung des mindestens einen Elektromotors respektive der Höhe der damit erzeugten Unterstützungskraft nicht mehr möglich ist.

25

Ein unmittelbares und damit schlagartiges Schalten des mindestens einen Elektromotors in einen drehmomentfreien Zustand in Reaktion auf einen detektierten Fehlerfall kann jedoch während der Fahrt mit dem Elektrofahrrad einen Fahrer des Elektrofahrrads vollkommen überraschen. Insbesondere kann hieraus ein plötzlicher Wegfall eines bisher noch durch den wenigstens einen Elektromotor aufgebrauchten Widerstands führen, gegen

30 den der Fahrer in die Pedale des Elektrofahrrads tritt. Ein unmittelbares Schalten in den drehmomentfreien Zustand fühlt sich damit für einen Fahrer des Elektrofahrrads unter Umständen so an, als wäre eine Antriebskette bei einem konventionellen Fahrrad gerissen. Insbesondere in Abhängigkeit von einer aktuellen Fahrersituation kann damit das unmittelbare Schalten des wenigstens einen Elektromotors in einen drehmomentfreien

35 Zustand zu einer Verletzung des Fahrers des Elektrofahrrads führen.

In dieser Hinsicht soll die vorgeschlagene Lösung Abhilfe schaffen.

Ein vorgeschlagenes Antriebssystem für ein Elektrofahrrad sieht hierfür wenigstens das Folgende vor:

- eine Antriebswelle zum muskelkraftbetätigten Aufbringen eine Antriebskraft für das Antreiben des Elektrofahrrads,
- 5 – eine Abtriebswelle zur Übertragung der Antriebskraft an ein Rad des Elektrofahrrads,
- mindestens einen Elektromotor zur fremdkraftbetätigten Erzeugung einer Unterstützungskraft,
- eine Getriebeeinrichtung zur Kopplung der Antriebswelle und der Abtriebswelle und Übertragung der Unterstützungskraft an die Abtriebswelle und
- 10 – eine Steuerelektronik zur Steuerung des mindestens einen Elektromotors, die konfiguriert ist, in Reaktion auf wenigstens ein Fehlersignal den mindestens einen Elektromotor mit einem aktiven Kurzschluss anzusteuern, bevor der mindestens eine Elektromotor über die Steuerelektronik in einen drehmomentfreien Zustand geschaltet wird.

15

Die vorgeschlagene Lösung geht damit von dem Grundgedanken aus, in einem Fehlerfall, der durch wenigstens ein Fehlersignal elektronisch signalisiert wird, den mindestens einen Elektromotor des Antriebssystems nicht unmittelbar in einen drehmomentfreien und damit sicheren Zustand zu schalten, sondern zunächst den mindestens einen Elektromotor wenigstens einmalig mit einem aktiven Kurzschluss anzusteuern. Hiermit lässt sich erreichen, dass zumindest für die Dauer des aktiven Kurzschlusses von dem mindestens einen Elektromotor ein – wenn auch gegenüber der Situation vor Erzeugung des Fehlersignals unter Umständen geringerer – Widerstand an der Antriebswelle aufrechterhalten und damit an den über Tretkurbeln mit der Antriebswelle verbundenen Pedalen für einen Fahrer des Elektrofahrrads spürbar bleibt. Das Risiko für Verletzungen des Fahrers, z.B. durch einen Sturz, lässt sich somit im Vergleich zu einem schlagartigen Schalten in den drehmomentfreien Zustand reduzieren.

20

25

Die Ansteuerung mit einem aktiven Kurzschluss hat dabei zudem den Vorteil, dass ein aktiver Kurzschluss auch mit noch nur minimal funktionierender Hardware ausführbar ist und damit auch bei sicherheitskritischen Fehlern, die durch das wenigstens eine Fehlersignal signalisiert werden, noch realisiert werden kann. Bei einer Ansteuerung mit einem aktiven Kurzschluss ist zudem auszuschließen, dass der wenigstens eine Elektromotor einen von dem Elektromotor antreibbare(n) Rotor(welle) noch beschleunigen kann. Bei einer Ansteuerung mit einem aktiven Kurzschluss kann somit der wenigstens eine Elektromotor keine Unterstützungskraft zum Drehen der Antriebswelle mehr bereitstellen.

30

35

Darüber hinaus lässt sich beobachten, dass durch Ansteuern des wenigstens einen Elektromotors mit einem aktiven Kurzschluss unter Umständen eine für den Fahrer des Elektrofahrrads spürbare und/oder hörbare Vibration an einem den wenigstens einen
5 Elektromotor aufnehmenden Gehäuses einer Antriebseinheit des Antriebssystems hervorgerufen werden kann. Hierüber kann dem Fahrer des Elektrofahrrads somit zusätzlich haptisch und/oder akustisch das Auftreten eines Fehlerfalls (gegebenenfalls zusätzlich zu einem an einem Bedienteil des Antriebssystem ausgegebenen Alarm) vermittelt werden. Hierdurch wird der Fahrer des Elektrofahrrads auf den Fehlerfall
10 aufmerksam gemacht, was typischerweise bereits dazu führt, dass der Fahrer des Elektrofahrrads eine Kraft reduziert, mit der er/sie in die Pedale tritt. Der Fahrer des Elektrofahrrads wird somit auch auf diese Weise von einem anschließenden Schalten des Elektromotors in den drehmomentfreien Zustand nicht mehr überrascht.

15 In einer Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass die Steuerelektronik des Antriebssystems konfiguriert ist, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal den mindestens einen Elektromotor vor dem Schalten in den drehmomentfreien Zustand mit einem aktiven Kurzschluss für eine vorgegebene Zeitdauer anzusteuern. In der Steuerelektronik ist somit eine Zeitdauer hinterlegt, für die der aktive Kurzschluss nach
20 dem Auftreten des wenigstens einen Fehlersignals aufrecht erhalten werden wird. Beispielsweise liegt diese Zeitdauer im Bereich von einer Sekunde.

Alternativ oder ergänzend kann die Steuerelektronik konfiguriert sein, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal den mindestens einen Elektromotor mit einer
25 Ansteuerungssequenz anzusteuern, bei der auf ein erstes Ansteuern mit einem aktiven Kurzschluss und ein anschließendes erstes Schalten in den drehmomentfreien Zustand mindestens ein weiteres Ansteuern mit einem aktiven Kurzschluss und mindestens ein anschließendes weiteres Schalten in den drehmomentfreien Zustand folgt. In einer solchen Ausführungsvariante wird folglich der wenigstens eine Elektromotor zunächst nur
30 kurzzeitig zwischen wenigstens zwei Ansteuerung mit einem aktiven Kurzschluss in einen drehmomentfreien Zustand geschaltet, bevor schlussendlich ein endgültiges Schalten in den drehmomentfreien Zustand erfolgt und der wenigstens eine Elektromotor in dem drehmomentfreien Zustand gehalten wird. Ein Wechsel zwischen Phasen mit aktivem Kurzschluss einerseits und drehmomentfreiem Zustand andererseits kann einen Fahrer
35 des Elektrofahrrads gegebenenfalls zusätzlich für das Auftreten des Fehlerfalls sensibilisieren und auf das schlussendliche Schalten und Halten des wenigstens einen Elektromotors in dem drehmomentfreien Zustand vorbereiten.

In diesem Zusammenhang kann es auch von Vorteil sein, wenn eine vorgegebene Zeitdauer für das erste Ansteuern mit dem aktiven Kurzschluss größer ist als eine zweite Zeitdauer für das mindestens eine weitere Ansteuern mit dem aktiven Kurzschluss.

5 Wechselt sich somit beispielsweise bei einer Ansteuerungssequenz erste Phasen, in denen der mindestens eine Elektromotor mit aktivem Kurzschluss angesteuert wird, und zweite Phasen, in denen der mindestens eine Elektromotor in den drehmomentfreien Zustand geschaltet wird, ab (bis ein Ende der Ansteuerungssequenz erreicht ist, an dem der wenigstens eine Elektromotor final in den drehmomentfreien Zustand geschaltet wird),

10 können die Längen der ersten Phasen mit zunehmender Zeit kürzer werden, insbesondere kontinuierlich kürzer. Bei einem periodischen Wechsel zwischen ersten und zweiten Phasen, die jeweils für eine vorgegebene Periodendauer andauern, kann somit beispielsweise der Anteil der ersten Phase, in der die Ansteuerung des aktiven Kurzschlusses erfolgt, mit zunehmender Zeit kleiner, insbesondere kontinuierlich kleiner

15 werden. Mit einer Reduzierung des Anteils der ersten Phasen mit zunehmender Zeit lässt sich erreichen, dass ein für den Fahrer des Elektrofahrrads an den Pedalen spürbarer Widerstand und damit Gegendruck fortlaufend reduziert wird, bevor der Widerstand mit dem Schalten des mindestens einen Elektromotors in den drehmomentfreien Zustand komplett entfällt.

20

Grundsätzlich können sich die ersten und zweiten Phasen für eine vorgegebene Gesamtzeitdauer abwechseln, bevor final in den drehmomentfreien Zustand geschaltet wird. Hierfür ist dann die Steuerelektronik konfiguriert, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal den mindestens einen Elektromotor für die vorgegebene Gesamtzeitdauer mit

25 sich abwechselnden ersten und zweiten Phasen anzusteuern.

Die Dauer des Wechsels zwischen ersten und zweiten Phasen bis zum finalen Schalten in den drehmomentfreien Zustand in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal kann grundsätzlich auch davon abhängen, ob ein abnehmender Anteil der ersten Phasen, in

30 denen der mindestens eine Elektromotor mit einem aktiven Kurzschluss angesteuert wird, mit zunehmender Zeit bis zu einem Schwellwert reduziert wurde. Die Ansteuerung mit einem aktiven Kurzschluss endet somit bei mit zunehmender Zeit kürzer werdenden ersten Phasen, wenn die Länge einer ersten Phase einen Schwellwert erreicht hat, beispielsweise

0 wird.

35

Die Steuerelektronik kann insbesondere konfiguriert sein, den mindestens einen Elektromotor über Steuerimpulse periodisch mit einem aktiven Kurzschluss anzusteuern.

Die Steuerelektronik ist mithin zur Erzeugung gepulster Kurzschlüsse für den mindestens einen Elektromotor konfiguriert. Dies schließt beispielsweise in Kombination mit der vorstehend geläuterten Ausführungsvariante, bei der Phasen mit einer Ansteuerung des aktiven Kurzschluss verringert werden, eine Variante ein, bei der die Steuerelektronik konfiguriert ist, einen Ansteuergrad (englisch: „duty cycle“) der Steuerimpulse während der Ansteuerungssequenz mit zunehmender Zeit zu reduzieren. So kann beispielsweise wenigstens für jede dritte oder zweite Periodendauer die Dauer des Steuerimpulses und damit dessen Anteil an der Periodendauer reduziert werden. Alternativ kann die Periodendauer der Steuerimpulse kontinuierlich und damit unmittelbar für jeden nachfolgenden Steuerimpuls reduziert werden.

In einer Ausführungsvariante ist die Steuerelektronik ferner konfiguriert, den mindestens einen Elektromotor mit einem aktiven Kurzschluss nur bei Erfüllung wenigstens eines zusätzlichen Kriteriums anzusteuern. Dieses zusätzliche Kriterium kann beispielsweise einen Betriebsparameter des Antriebssystems betreffen. So hat sich gezeigt, dass eine Ansteuerung des mindestens einen Elektromotors mit einem aktiven Kurzschluss in bestimmten Fahrsituationen sogar nachteilig sein kann. In bestimmten Ausführungsvarianten kann es daher von Vorteil sein, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal zunächst zu prüfen, ob auch wenigstens ein zusätzliches Kriterium erfüllt ist, bevor ein aktiver Kurzschluss ausgelöst wird. Gegebenenfalls erfolgt die Ansteuerung mit einem aktiven Kurzschluss in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal auf diese Weise zeitlich verzögert, nämlich nur dann, wenn auch das wenigstens eine zusätzliche Kriterium erfüllt ist. Die Erfüllung eines entsprechenden Kriteriums lässt sich hierbei beispielsweise elektronisch detektieren.

In einer Ausführungsvariante ist beispielsweise die Steuerelektronik konfiguriert, den mindestens einen Elektromotor mit einem aktiven Kurzschluss nur anzusteuern, wenn eine Drehzahl des mindestens einen Elektromotors oberhalb eines Schwellwerts liegt. Eine solche Konfiguration hat sich insbesondere als vorteilhaft bei Antriebssystemen erwiesen, die erste und zweite Elektromotoren umfassen und bei denen eine Getriebeeinrichtung wenigstens ein Planetengetriebe umfasst, dessen Übersetzungsverhältnis mithilfe der ersten und zweiten Elektromotoren einstellbar ist. Bei derartigen Antriebssystemen wird ein von dem ersten Elektromotor erzeugtes Drehmoment zumindest teilweise an die Abtriebswelle übertragen. Der zweite Elektromotor stützt im Normalbetrieb das fahrerseitig und damit muskelkraftbetätigt aufgebrauchte Fahrermoment ab, das aus der aufgebrauchten Antriebskraft resultiert. Es ist dann gerade dieser zweite Elektromotor, der im Normalbetrieb für einen für den Fahrer des Elektrofahrrads spürbaren Widerstand am

Pedal sorgt. Je nach Fahrsituation treibt der zweite Elektromotor seine (zweite) Rotorwelle zu einer Umdrehung in eine positive Drehrichtung (die einer Vorwärtsdrehung des zweiten Elektromotors entspricht) oder in die entgegengesetzte negative Drehrichtung an. Wird beispielsweise bei Auftreten eines Fehlerfalls, der schlussendlich zum Schalten der Elektromotoren in den drehmomentfreien Zustand führen soll, detektiert, dass die zweite Rotorwelle des zweiten Elektromotors in die entgegengesetzte, negative Drehrichtung dreht, wird – zunächst – kein aktiver Kurzschluss ausgelöst. Es wird vielmehr zunächst abgewartet, bis sich die Drehrichtung ändert und damit ein diesbezügliches für die Drehung des zweiten Rotors indikatives Messsignal positiv wird (und damit einen Schwellwert von 0 überschreitet). Erst bei Erfüllen dieses zusätzlichen Kriteriums wird erstmalig ein aktiver Kurzschluss ausgelöst und damit beispielsweise eine vorstehende erläuterte Ansteuerungssequenz begonnen. Wenn beispielsweise bei nicht mehr voll funktionstüchtigem elektromotorischem Antrieb die zweite Rotorwelle durch die von dem Fahrer des Elektrofahrrads aufgebrachte Muskelkraft an der Antriebswelle nach vergleichsweise kurzer Zeit in positiver Drehrichtung beschleunigt wird, tritt in einem Fehlerfall nach kurzer Zeit eine Änderung der Drehgeschwindigkeit der zweiten Rotorwelle von einem negativen Wert zu einem positiven Wert auf, auch wenn aufgrund der aktuellen Fahrsituation zunächst eine negative Drehgeschwindigkeit vorhanden war.

Grundsätzlich kann vorgesehen sein, dass die Steuerelektronik eine B6-Brückenschaltung zur Steuerung des mindestens einen Elektromotors umfasst. Eine solche B6-Brückenschaltung umfasst beispielsweise 6 MOSFETs.

Über ein oder mehrere Fehlersignale, die insbesondere die Schaltung des mindestens einen Elektromotors in den drehmomentfreien Zustand auslösen, kann beispielsweise signalisiert werden, dass die Lage eines Rotors (einer Rotorwelle) des mindestens einen Elektromotors nicht mehr erfassbar und/oder bestimmbar ist und/oder, bei einer feldorientierten Regelung des mindestens einen Elektromotors über die Steuerelektronik, eine Phasenstrommessung nicht mehr verfügbar ist. Bei entsprechend elektronisch detektierten Fehlern, ist eine aktive Kommutierung des mindestens einen Elektromotors nicht mehr möglich, sodass der mindestens eine Elektromotor in jedem Fall final in den drehmomentfreien und damit sicheren Zustand geschaltet werden muss. Insbesondere in solchen Fehlerfällen kann die vorgeschlagene Lösung Anwendung finden.

Die vorgeschlagene Lösung betrifft ferner auch ein Verfahren zur Steuerung eines Antriebssystems eines Elektrofahrrads. Hierbei ist bei dem Antriebssystem wenigstens das Folgende vorgesehen:

- eine Antriebswelle zum muskelkraftbetätigten Aufbringen einer Antriebskraft für das Antreiben des Elektrofahrrads,
- eine Abtriebswelle zur Übertragung der Antriebskraft an ein Rad des Elektrofahrrads,
- mindestens ein Elektromotor zur fremdkraftbetätigten Erzeugung einer Unterstützungskraft und
- eine Getriebeeinrichtung, die die Antriebswelle und die Abtriebswelle koppelt und zur Übertragung der Unterstützungskraft an die Abtriebswelle vorgesehen ist.

Bei dem vorgeschlagenen Steuerungsverfahren ist nun vorgesehen, dass der mindestens eine Elektromotor in Reaktion auf wenigstens ein Fehlersignal vor dem Schalten in einen drehmomentfreien Zustand (wenigstens einmalig) mit einem aktiven Kurzschluss angesteuert wird.

Ausführungsvarianten eines vorgeschlagenen Steuerungsverfahrens sind insbesondere mit Ausführungsvarianten eines vorgeschlagenen Antriebssystems durchführbar. Dementsprechend gelten vorstehend und nachfolgend für Ausführungsvarianten eines vorgeschlagenen Antriebssystems erläuterte Vorteile und Merkmale auch für Ausführungsvarianten eines vorgeschlagenen Steuerungsverfahrens und umgekehrt.

Darüber hinaus ist ein Computerprogrammprodukt vorgeschlagen, das Anweisungen enthält, die, wenn sie von mindestens einem Prozessor eines Steuergeräts eines elektromotorischen Antriebseinheit umfassenden Antriebssystems eines Elektrofahrrads ausgeführt werden, den mindestens einen Prozessor veranlassen, eine Ausführungsvariante eines vorgeschlagenen Steuerungsverfahrens auszuführen. Der mindestens eine Prozessor kann mithin Teil einer mit dem Steuergerät implementierten Steuerelektronik sein, die konfiguriert ist, in Reaktion auf wenigstens ein Fehlersignal den mindestens einen Elektromotor vor dem Schalten in einen drehmomentfreien Zustand mit einem aktiven Kurzschluss anzusteuern.

Die beigefügten Figuren veranschaulichen exemplarisch mögliche Ausführungsvarianten der vorgeschlagenen Lösung.

Hierbei zeigen:

Figur 1 einen 2D-Konstruktionsentwurf für eine elektromotorische Antriebseinheit einer Ausführungsvariante eines vorgeschlagenen Antriebssystems;

- Figur 2 schematisch und in Seitenansicht ein Elektrofahrrad mit einem vorgeschlagenen Antriebssystem;
- Figur 3 exemplarisch ein Beispiel für eine B6-Brückenschaltung für die Steuerelektronik der Figur 1;
- Figur 4 ein Beispiel für eine Ansteuerungssequenz, bei der ein Ansteuergrad für gepulste Kurzschlüsse mit zunehmender Zeit abnimmt und sich damit kürzer werdende Phasen einer Ansteuerung mit aktivem Kurzschluss mit länger werdenden Phasen, in denen ein elektromotorischer Antrieb in einen drehmomentfreien Zustand geschaltet ist, abwechseln;
- Figur 5 ein Ablaufdiagramm für eine Ausführungsvariante eines vorgeschlagenen Steuerungsverfahrens.

In der Figur 2 ist ein Elektrofahrrad F mit einem eine elektromotorische Antriebseinheit 10 umfassenden Antriebssystem veranschaulicht. Das Elektrofahrrad F weist einen Rahmen 110 auf, der hier beispielhaft ein Oberrohr, ein Unterrohr und ein Sattelrohr umfasst und an dem im Bereich eines Kreuzungspunktes des Sattelrohres und des Unterrohres die Antriebseinheit 10 befestigt ist. Teil der Antriebseinheit 10 sind eine Steuerelektronik 8 und eine Sensoreinrichtung 115. Über die Steuerelektronik 8 sind Elektromotoren 11 und 12 (vgl. Figur 1) der Antriebseinheit 10 steuerbar, um insbesondere die Höhe einer fremdkraftbetätigt erzeugten Unterstützungskraft für das Antreiben des Elektrofahrrads F vorzugeben. Die Sensoreinrichtung 115 ist zur sensorischen Erfassung einer Drehzahl der Antriebswelle (Tretlagerwelle) 1 der Antriebseinheit 10 vorgesehen. Die Sensoreinrichtung 15 kann hierfür einen Drehzahlsensor umfassen, über den die Drehzahl der Tretlagerwelle 1 messbar ist. Auf die Antriebswelle 1 kann über ein hiermit verbundenes Paar von Tretkurbeln 1A und hieran vorgesehene Pedale von einem Fahrer des Elektrofahrrads F muskelkraftbetätigt eine Antriebskraft zum Antreiben des Elektrofahrrads F aufgebracht werden. Gegebenenfalls kann die Sensoreinrichtung 115 auch zur sensorischen Erfassung eines an der Antriebswelle 1 muskelkraftbetätigt eingeleiteten Drehmoments vorgesehen sein und zum Beispiel mit einem Drehmomentsensor und/oder einem Positionssensor ausgebildet sein.

Über einen Riemen oder eine Kette 213 als Kraftübertragungsglied steht ein Abtriebsselement der Antriebseinheit A, zum Beispiel eine koaxial zur Tretlagerwelle 1

gelagerte, hohle Abtriebswelle 2 (vgl. Figur 1), mit einem Hinterrad 112 des Elektrofahrrads F in Verbindung, um das Elektrofahrrad F antreiben zu können. Diesem Hinterrad 112 ist exemplarisch ein Radsensor 114 zur Bestimmung einer Fahrgeschwindigkeit des Elektrofahrrads F zugeordnet. Selbstverständlich kann der Radsensor 114 hierbei
5 stattdessen an einem Vorderrad 111 des Elektrofahrrads F vorgesehen sein.

Das Antriebssystem des Elektrofahrrads F umfasst ferner ein Bedienteil 102. Das Bedienteil 102 ist in der Figur 2 beispielsweise im Bereich eines Lenkers des Elektrofahrrads F befestigt und mit der Steuerelektronik 8 der Antriebseinheit 10
10 verbunden, typischerweise über ein oder mehrere Kabel. Über das Bedienteil 102 kann eine Nutzereingabe erfasst und zur Steuerung der Antriebseinheit 10 verwendet werden. Beispielsweise umfasst das Bedienteil 102 wenigstens eine Anzeige, um einen Nutzer des Elektrofahrrads F über

- den aktuellen Betriebszustand der Antriebseinheit F, beispielsweise im Hinblick auf
15 eine eingestellte Unterstützungsstufe,
- einen Ladezustand eines die Antriebseinheit 10 mit elektrischer Energie versorgenden Energiespeichers 9, der z.B. wenigstens eine (wieder aufladbare) Batterie enthält, und/oder
- einen eingestellten Gang, der die Übersetzung vorgibt, mit der ein muskelkraftbetätigt
20 an der Abtriebswelle 1 eingeleitetes Antriebsmoment an die Abtriebswelle 2 der Antriebseinheit 10 übertragen wird,
zu informieren.

Die Figur 1 zeigt einen 2D-Konstruktionsentwurf für die zwei Elektromotoren 11 und 12
25 umfassende Antriebseinheit 10 der Figur 2.

Die Antriebseinheit 10 weist die Abtriebswelle 1 und die Abtriebswelle 2 auf, die beide in seinem Gehäuse 25 der Antriebseinheit 10 drehbar gelagert sind. Die Abtriebswelle 1 geht durch das Gehäuse 25 hindurch und ist auf jeder Seite mit einer Tretkurbel 1A verbunden,
30 über die ein Fahrer des Elektrofahrrads F muskelkraftbetätigt eine Antriebskraft aufbringen kann. Die Abtriebswelle 2 ragt nur auf einer Seite aus dem Gehäuse 25 heraus und ist mit einem Kettenrad oder einer Zahnriemenscheibe verbunden, um von dort aus das Hinterrad 112 des Elektrofahrrads F anzutreiben.

35 Die Antriebseinheit 10 weist einen ersten Elektromotor 11 mit einer ersten Rotorwelle 3 auf sowie einen zweiten Elektromotor 12 mit einer zweiten Rotorwelle 4 auf. Die beiden Elektromotoren 11 und 12 stehen über die Steuerelektronik 8 in Verbindung und bilden ein

stufenloses elektrisches Stellgetriebe. Die Steuerelektronik 8 steht auch mit dem Energiespeicher 9 in Verbindung. Damit kann die Abtriebswelle 2 über den ersten Elektromotor 11 auch rein elektrisch angetrieben werden. Der Energiespeicher 9 kann auch als Bremsenergiespeicher genutzt werden, wenn an der Abtriebswelle 2
5 Bremsleistung in die Antriebseinheit 10 fließt.

Die Antriebswelle 1, die Abtriebswelle 2 und die beiden Rotorwellen 3 und 4 sind über ein mehrstufiges Planetengetriebe 15 gekoppelt, das mehrere Getriebestufen mit einem ersten Freiheitsgrad und mindestens eine Planetenradstufe 16 mit einem zweiten
10 Freiheitsgrad aufweist. Die Getriebestufen sind hier als Stirnradstufen ausgeführt. Es sind aber auch Zahnriemen-Getriebestufen denkbar. Die vorliegend dreiwellige Planetenradstufe 16 umfasst ein Sonnenrad 17, ein Hohlrads 18 und einen Planetenträger 19 mit mehreren Planetenrädern 20, die auf Planetenradbolzen gelagert sind.

Die Elemente der Antriebseinheit 10 sind vorliegend exemplarisch auf drei Wellensträngen 21, 22 und 23 verteilt, die alle parallel zueinander innerhalb eines durch das Gehäuse 25 definierten Bauraums angeordnet sind. Die Antriebswelle 1, die Abtriebswelle 2 und die zweite Rotorwelle 4 des zweiten Elektromotors 12 sind koaxial auf dem ersten Wellenstrang 21 angeordnet. Die dreiwellige Planetenradstufe 16 des mehrstufigen
20 Planetengetriebes 15 ist auf dem zweiten Wellenstrang 22 angeordnet. Die erste Rotorwelle 3 des ersten Elektromotors 11 ist auf einem dritten Wellenstrang 23 angeordnet. Auf dem ersten Wellenstrang 21 umschließt die außen liegende (hohle) Abtriebswelle 2 die innenliegende Antriebswelle 1 auf einer Seite des Gehäuses 25 und die zweite Rotorwelle 4 umschließt die Antriebswelle 1 auf der anderen Seite des Gehäuses 25.

25

Zur kinematischen Kopplung der auf die drei Wellenstränge 21, 22 und 23 verteilten, im Gehäuse 25 untergebrachten Elemente der Antriebseinheit 10 dienen vier als Stirnradstufen ausgeführte Getriebestufen 31 bis 34. Die Antriebswelle 1 auf dem ersten Wellenstrang 21 steht über eine erste Stirnradstufe 31 mit einer ersten Koppelwelle 5 auf dem zweiten Wellenstrang 22 in Verbindung. Die Abtriebswelle 2 auf dem ersten Wellenstrang 21 steht über eine zweite Stirnradstufe 32 mit einer zweiten Koppelwelle 6 auf dem zweiten Wellenstrang 22 in Verbindung. Die zweite Rotorwelle 4 des zweiten Elektromotors 12 auf dem ersten Wellenstrang 21 steht über eine dritte Stirnradstufe 33 mit einer dritten Koppelwelle 7 auf dem zweiten Wellenstrang 22 in Verbindung. Diese dritte
35 Koppelwelle trägt auch das Sonnenrad 17. Die erste Rotorwelle 3 des ersten Elektromotors 11 auf dem dritten Wellenstrang 23 steht über eine vierte Stirnradstufe 34 mit dem Hohlrads 18 der Planetenradstufe 16 auf dem zweiten Wellenstrang 22 in Verbindung. Auf dem

zweiten Wellenstrang 22 ist die erste Koppelwelle 5 mit dem Planetenträger 19, die zweite Koppelwelle 6 mit dem Hohlrad 18 und die dritte Koppelwelle mit dem Sonnenrad 17 der Planetenradstufe 16 verbunden. Da die erste Rotorwelle 3 des ersten Motors 11 mit dem Hohlrad 18 und damit mit der Abtriebswelle 2 verbunden ist, weist die exemplarisch
5 dargestellte Antriebseinheit 10 eine abtriebsseitige Leistungsverzweigung auf.

Die erste Stirnradstufe 31 erhöht die Drehzahl der Antriebswelle 1 auf eine, z.B. ca. dreimal, größere Absolutdrehzahl der ersten Koppelwelle 5, die über die Planetenradstufe 16 mit der zweiten Koppelwelle 6 in Verbindung steht. Die Drehzahl der zweiten
10 Koppelwelle 6 wird mit der Übersetzung der zweiten Stirnradstufe 32 auf eine, z.B. ca. 30%, geringere Drehzahl der Abtriebswelle 2 übertragen.

In der Figur 1 sind fünf Anordnungsebenen 35, 36, 37, 38 und 39 markiert, deren Nummern in einer Achsrichtung 30 ansteigen. Die Achsrichtung 30 zeigt von der Stelle, an der die
15 Abtriebswelle 2 aus dem Gehäuse 25 austritt, ins Gehäuse 25 hinein. In der Figur 1 ist erkennbar, dass die zweite Stirnradstufe 32 in der ersten Anordnungsebene 35 liegt und dass die Planetenradstufe 16 und die vierte Stirnradstufe 34 in der zweiten Anordnungsebene 36 liegen, die parallel zur ersten Anordnungsebene 35 in Achsrichtung 30 versetzt liegt, und dass die erste Stirnradstufe 31 in einer dritten Anordnungsebene 37
20 liegt, die auch in Achsrichtung 30 gegenüber der zweiten Anordnungsebene 36 versetzt liegt, und dass die dritte Stirnradstufe 33 in einer vierten Anordnungsebene 38 liegt, die auch in Achsrichtung 30 gegenüber der dritten Anordnungsebene 37 versetzt liegt, und dass die beiden Elektromotoren 11 und 12 in einer fünften Anordnungsebene 39 liegen, die ebenfalls in Achsrichtung 30 gegenüber der vierten Anordnungsebene 38 versetzt liegt.

25 Die Planetenradstufe 16 und die vierte Stirnradstufe 34 können in der gleichen zweiten Anordnungsebene 36 liegen, weil das Zahnrad der vierten Stirnradstufe 34 auf dem zweiten Wellenstrang 22 einen größeren Wälzkreisradius hat als das Hohlrad 18 der dreiwelligen Planetenradstufe 16. Dadurch findet das Hohlrad 18 innerhalb dieses
30 Zahnrades der vierten Stirnradstufe 34 in der zweiten Anordnungsebene 36 Platz.

Diese axiale Anordnung der Stirnradstufen 31, 32, 33 und 34 in der Umgebung der Planetenradstufe 16 auf dem zweiten Wellenstrang 22 führt im Zusammenhang mit der dargestellten Aufteilung der Antriebs Elemente auf die drei Wellenstränge 21, 22 und 23 zu
35 einem äußerst kompakten mehrstufigen Planetengetriebe 15.

In der ersten Anordnungsebene 35 mit der zweiten Stirnradstufe 32 befindet sich ein Freilauf 40 zwischen der Antriebswelle 1 und der Abtriebswelle 2, beispielsweise in Form eines Klemmkörperfreilaufs. Der Freilauf 40 kann insbesondere bei einer maximalen Getriebeübersetzung die Antriebswelle 1 direkt mit der Abtriebswelle 2 verbinden. Der Freilauf 40 dient ferner zum einen als Überlastschutz der Antriebseinheit 10 und zum anderen garantiert er eine mechanische Grundfunktion der Antriebseinheit 10 bei Problemen im elektrischen System, zum Beispiel bei einem Spannungsabfall, oder bei Problemen in der Steuerung/Regelung, beispielsweise hervorgerufen durch einen Ausfall einer oder mehrerer Sensoren der Sensoreinrichtung 115.

Für die einfache Montage der übrigen Elemente des Antriebssystems 10 und deren Lagerung im Gehäuse 25 weist das Gehäuse 25 vier Gehäuseteile auf. Das Gehäuse 25 besteht aus einem Hauptgehäuse 26 mit einem damit verbindbaren oder verbundenen Mittelsteg 27 und einer mit dem Hauptgehäuse 26 verbindbaren oder verbundenen Motorenabdeckung 28 auf der Seite der fünften Anordnungsebene 39 und einer mit dem Hauptgehäuse 26 verbindbaren oder verbundenen Getriebeabdeckung 29 auf der Seite der ersten Anordnungsebene 35, durch die die Abtriebswelle 2 aus dem Gehäuse 25 ragt.

Die Steuerelektronik 8 der elektromotorischen Antriebseinheit 10 der Figuren 1 und 2 umfasst insbesondere eine B6-Brückenschaltung 80 für die Steuerung der ersten und zweiten Elektromotoren 11 und 12. Die Figur 3 zeigt exemplarisch eine solche aus dem Stand der Technik übliche B6-Brückenschaltung mit sechs MOSFETs. In einem Fehlerfall kann die B6-Brückenschaltung 80 der Steuerelektronik 8 abgeschaltet werden, um die Elektromotoren 11, 12 in einen sicheren und drehmomentfreien Zustand zu schalten. So kann beispielsweise über wenigstens ein Fehlersignal f_s der Steuerelektronik 8 signalisierbar sein, dass ein sicherheitskritischer Fehler an der Antriebseinheit 10 detektiert wurde. Dies schließt beispielsweise ein, dass über das Fehlersignal f_s signalisiert wird, dass eine Rotorlage wenigstens eines der Rotoren 3, 4 nicht mehr sensorisch erfassbar und/oder bestimmbar ist oder dass bei einer feldorientierten Regelung der ersten und zweiten Elektromotoren 11, 12 eine erforderliche Phasenstrommessung nicht mehr verfügbar ist. In einem solchen Fall soll die Steuerelektronik 8 die Elektromotoren 11 und 12 in einen drehmomentfreien Zustand schalten. Wird jedoch in Reaktion auf das Vorliegen wenigstens eines Fehlersignals f_s unmittelbar ein Schalten in den drehmomentfreien Zustand ausgelöst, führt dies zum schlagartigen Wegfall eines Gegendrucks an den an den Trekkurbeln 1A befestigten Pedalen. Ein Fahrer des Elektrofahrrads F würde somit

schlagartig „ins Leere“ treten, wie dies auch bei einem Riss einer Antriebskette bei einem konventionellen Fahrrad der Fall wäre.

Um ein diesbezügliches Verletzungsrisiko für einen Fahrer eines Elektrofahrrads F in einem Fehlerfall an dem elektromotorischen Antrieb zu reduzieren, ist die Steuerelektronik 8 konfiguriert, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal f_s die Elektromotoren 11 und 10 nicht unmittelbar in einen drehmomentfreien Zustand zu schalten, sondern zuvor wenigstens einmalig den zweiten Elektromotor 12 mit einem aktiven Kurzschluss anzusteuern. Für die Dauer des aktiven Kurzschlusses kann ein für den Fahrer des Elektrofahrrads F weiterhin spürbarer Gegendruck an den Pedalen erzeugt werden, sodass der Fahrer des Elektrofahrrads 1 nicht schlagartig ins Leere tritt. Die Ansteuerung mit einem aktiven Kurzschluss bietet dabei auch den Vorteil, dass der aktive Kurzschluss auch noch mit minimal funktionierender Hardware ausführbar ist und der aktive Kurzschluss nicht zu einer Beschleunigung der Rotoren 3, 4 führen kann. Des Weiteren ist bei einer Ansteuerung mit einem aktiven Kurzschluss auch beobachtbar, dass an dem Gehäuse 25 der Antriebseinheit 10 spürbar und hörbar Vibrationen ausgelöst werden. Hierüber lässt sich dem Fahrer des Elektrofahrrads F dann auch in einem Fehlerfall unmittelbar an der Antriebseinheit 10 haptisch und akustisch das Auftreten eines Fehlerfalls vermitteln, sodass der Fahrer von sich aus bereits eine an der Antriebswelle 1 und insbesondere den Tretkurbeln 1A aufgebrachte Antriebskraft reduziert, weil er auf den aufgetretenen Fehlerfall aufmerksam gemacht wurde.

Um den Fahrer des Elektrofahrrads F an das finale und damit abschließende Schalten in den drehmomentfreien Zustand heranzuführen, kann es von Vorteil sein, den zweiten Elektromotor E2 nicht nur einmalig für eine vorgegebene Zeitdauer mit einem aktiven Kurzschluss anzusteuern, wenn ein Fehlersignal f_s anliegt. So kann auch vorgesehen sein, dass sich erste Phasen, in denen ein Ansteuern mit einem aktiven Kurzschluss erfolgt, mit zweiten Phasen abwechseln, in denen der elektromotorische Antrieb in den drehmomentfreien Zustand geschaltet ist. Mit zunehmender Zeit können dann die ersten Phasen verkürzt werden, insbesondere kontinuierlich.

Eine solche Verkürzung der ersten Phasen mit aktivem Kurzschluss illustriert exemplarisch die Figur 4. Hierbei ist für die Ansteuerung des aktiven Kurzschlusses ein gepulstes Signal durch die Steuerelektronik 8 erzeugbar. Die Pulsweite PW1 des entsprechenden (ersten) Steuerimpulses reduziert sich dabei mit zunehmender Zeit t über eine Pulsweite PW2 bis zu einer Pulsweite PW3. Ein Ansteuergrad (englisch „duty cycle“) nimmt somit über die Zeit t ab, d. h., der Anteil der ersten Phase für eine Periodendauer T nimmt mit der Zeit ab. Es

verkleinert sich also das Verhältnis der Impulsdauer für das Ansteuern mit einem aktiven Kurzschluss zur Periodendauer T . Hat der Ansteuergrad den Wert 0 erreicht, werden die Elektromotoren 11 und 12 in dem drehmomentfreien Zustand gehalten.

- 5 In dem Diagramm der Figur 4 folgen exemplarisch auf wenigstens zwei Steuerimpulse mit identischer Pulsweite $PW1$ oder $PW2$ nachfolgend Steuerimpulse mit kürzerer Pulsweite $PW2$ oder $PW3$. Es ist aber selbstverständlich auch möglich, dass die Pulsweiten $PW1$, $PW2$ und $PW3$ und damit ein Ansteuergrad kontinuierlich reduziert wird, d. h., die Pulsweite eines nachfolgenden Steuerimpulses jeweils kürzer sind als bei einem vorangegangenen
- 10 Steuerimpuls. In der Figur 4 würden dann folglich die gestrichelt dargestellten Steuerimpulse ausgespart.

Es sei dieser Stelle auch darauf hingewiesen, dass in der Figur 4 lediglich zur Veranschaulichung lediglich drei Steuerimpulse mit unterschiedlichen Pulsweiten $PW1$, $PW2$ und $PW3$ dargestellt sind. Es können selbstverständlich auch weniger oder mehr als

15 drei Steuerimpulse mit unterschiedlicher Pulsweite in einer Ansteuerungssequenz der Steuerelektronik 8 vorgesehen sein, bei denen sich erste Phasen mit einem Ansteuern des aktiven Kurzschlusses und zweite Phasen mit einem Schalten in den drehmomentfreien Zustand abwechseln.

20

Bei einem Antriebssystem, das ähnlich oder identisch zu der Antriebseinheit 10 zwei Elektromotoren 11 und 12 umfasst, sodass mit deren Hilfe ein Übersetzungsverhältnis des Planetengetriebes 15 stufenlos einstellbar ist, kann in bestimmten Fahrsituationen auch das Ansteuern des zweiten Elektromotors E2 mit einem aktiven Kurzschluss von Nachteil

25 sein, gleichwohl über das Fehlersignal f_s eine sicherheitskritischer Fehlerfall signalisiert wurde. So kann es im Normalbetrieb der Antriebseinheit 10 offensichtlich vorkommen, dass die zweite Rotorwelle 4 von dem zweiten Elektromotor 12 mit einer negativen Drehzahl und damit zu einer Drehung in eine negative Drehrichtung angetrieben wird. In einem solchen Fall ist beobachtbar, dass ein aktiver Kurzschluss nachteilig sein kann.

30

Dementsprechend ist beispielsweise bei der Ausführungsvariante der Figur 1 vorgesehen, dass vor dem (erstmaligen) Ansteuern mit einem aktiven Kurzschluss und damit einem eventuellen Beginn einer Ansteuerungssequenz entsprechend der Figur 4 geprüft wird, in welche Drehrichtung die Rotorwelle 4 des zweiten Elektromotors 12 dreht. Wird eine

35 negative Drehzahl sensorisch über ein Sensorsignal s_{115} der Sensoreinrichtung 115 für die zweite Rotorwelle 4 signalisiert, unterbleibt (zunächst) ein Ansteuern mit aktivem Kurzschluss. Erst wenn über das Sensorsignal s_{115} signalisiert wird, dass die zweite

Rotorwelle 4 des zweiten Elektromotors 12 stillsteht oder in positive Drehrichtung dreht, erfolgt erstmalig ein Ansteuern mit einem aktiven Kurzschluss. Hierbei wird sich auch zunutze gemacht, dass in einem Fehlerfall und damit nicht mehr voll funktionstüchtigem elektromotorischem Antrieb ein Fahrer des Elektrofahrrads F durch seine Antriebskraft, die er/sie an den an den Tretkurbeln 1A befestigten Pedalen muskelkraftbetätigt (weiter) aufbringt, dafür sorgt, dass die Rotorwelle 4 nach vergleichsweise kurzer Zeit in positive Drehrichtung beschleunigt wird. Über das Sensorsignal s_{115} wird somit die Erfüllung eines einen Fahrzustand des Elektrofahrrads F charakterisierenden Betriebsparameters des Antriebssystems signalisiert. Erst bei Erfüllung des entsprechenden Kriteriums erfolgt ein Ansteuern mit aktivem Kurzschluss.

Das vorstehend skizzierte Vorgehen für eine Ansteuerung der ersten und zweiten Elektromotoren 11, 12 in einem Fehlerfall ist anhand der Figur 5 für eine Ausführungsvariante eines vorgeschlagenen Steuerungsverfahrens nochmals illustriert.

15

Hiernach ist in einem ersten Schritt S1 zunächst die Detektion eines sicherheitsrelevanten Fehlers vorgesehen. Hier wird folglich geprüft, ob das Fehlersignal f_s erzeugt wurde und damit anliegt. In einem zweiten Schritt S2 erfolgt dann zunächst, auf Basis des Sensorsignal s_{115} , eine Prüfung, ob die Drehzahl des zweiten Elektromotors 12 und damit der zweiten Rotorwelle größer gleich 0 ist, also die Rotorwelle 4 in einer Vorwärtsdrehrichtung gedreht wird. Ist dies nicht der Fall, wird zunächst weiter abgewartet und die Drehzahl weiter beobachtet.

Ist die Drehzahl des zweiten Elektromotors 12 respektive der Rotorwelle 4 größer gleich 0 erfolgt ein (erstmaliges) Ansteuern mit einem aktiven Kurzschluss. Wie anhand insbesondere der Figur 4 erläutert, wird dann im Zuge einer von der Steuerchronik 8 kontrollierten Ansteuerungssequenz die Aktivphase und damit die Impulsdauer eines Steuerimpulses für den aktiven Kurzschluss (kontinuierlich) reduziert, bis der drehmomentfreie Zustand gehalten wird.

30

Bezugszeichenliste

1	Antriebswelle
10	Antriebseinheit
11	erster Elektromotor
12	zweiter Elektromotor
15	Planetengetriebe
16	(Dreiwellige) Planetenradstufe
17	Sonnenrad
18	Hohlrad
19	Planetenträger
2	Abtriebswelle
20	Planetenrad
21	erster Wellenstrang
22	zweiter Wellenstrang
23	dritter Wellenstrang
25	Gehäuse
26	Hauptgehäuse
27	Mittelsteg
28	Motorenabdeckung
29	Getriebeabdeckung
3	erste Rotorwelle
30	Achsrichtung
31	erste Stirnradstufe
32	zweite Stirnradstufe
33	dritte Stirnradstufe
34	vierte Stirnradstufe
35	erste Anordnungsebene
36	zweite Anordnungsebene
37	dritte Anordnungsebene
38	vierte Anordnungsebene
39	fünfte Anordnungsebene
4	zweite Rotorwelle
40	Freilauf
5	erste Koppelwelle
6	zweite Koppelwelle
7	dritte Koppelwelle

8	Steuerelektronik
80	B6-Brücke
9	Energiespeicher
102	Bedienteil
110	(Fahrrad-)Rahmen
111	Vorderrad
112	Hinterrad
113	Riemen / Kette
114	Radsensor
115	Sensoreinrichtung
F	Elektrofahrrad
f_s	Fehlersignal
PW1, PW2, PW3	Pulsweite
T	Periodendauer
s_{115}	Sensorsignal

Ansprüche

1. Antriebssystem für ein Elektrofahrrad (F), mit
- einer Antriebswelle (1) zum muskelkraftbetätigten Aufbringen einer Antriebskraft für das Antreiben des Elektrofahrrads (F),
 - einer Abtriebswelle (2) zur Übertragung der Antriebskraft an ein Rad (112) des Elektrofahrrads (F),
 - mindestens einem Elektromotor (11, 12) zur fremdkraftbetätigten Erzeugung einer Unterstützungskraft,
 - einer Getriebeeinrichtung (15) zur Kopplung der Antriebswelle (1) und der Abtriebswelle (2) und Übertragung der Unterstützungskraft an die Abtriebswelle (2) und
 - einer Steuerelektronik (8) zur Steuerung des mindestens einen Elektromotors (11, 12), die konfiguriert ist, in Reaktion auf wenigstens ein Fehlersignal (f_s) den mindestens einen Elektromotor (11, 12) in einen drehmomentfreien Zustand zu schalten,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal (f_s) den mindestens einen Elektromotor (11, 12) vor dem Schalten in den drehmomentfreien Zustand mit einem aktiven Kurzschluss anzusteuern.

2. Antriebssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal (f_s) den mindestens einen Elektromotor (11, 12) vor dem Schalten in den drehmomentfreien Zustand mit einem aktiven Kurzschluss für eine vorgegebene Zeitdauer anzusteuern.

3. Antriebssystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal (f_s) den mindestens einen Elektromotor (11, 12) mit einer Ansteuerungssequenz anzusteuern, bei der auf ein erstes Ansteuern mit einem aktiven Kurzschluss und ein anschließendes erstes Schalten in den drehmomentfreien Zustand mindestens ein weiteres Ansteuern mit einem aktiven Kurzschluss und mindestens ein anschließendes weiteres Schalten in den drehmomentfreien Zustand folgt.

4. Antriebssystem nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine vorgegebene erste Zeitdauer für das erste Ansteuern mit dem aktiven Kurzschluss größer ist als eine zweite Zeitdauer für das mindestens eine weitere Ansteuern mit dem aktiven Kurzschluss.
- 5
5. Antriebssystem nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal (f_s) den mindestens einen Elektromotor (11, 12) mit einer Ansteuerungssequenz anzusteuern, bei der sich erste Phasen, in denen der mindestens eine Elektromotor (11, 12) mit aktivem Kurzschluss angesteuert wird, und zweite Phase, in denen der mindestens eine Elektromotor (11, 12) in den drehmomentfreien Zustand geschaltet wird, abwechseln.
- 10
6. Antriebssystem nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Länge der ersten Phasen einer Ansteuerungssequenz mit zunehmender Zeit kürzer werden, insbesondere kontinuierlich kürzer.
- 15
7. Antriebssystem nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal (f_s) den mindestens einen Elektromotor (11, 12) für eine vorgegebene Gesamtzeitdauer mit sich abwechselnden ersten und zweiten Phasen anzusteuern.
- 20
8. Antriebssystem nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal (f_s) den mindestens einen Elektromotor (11, 12) mit sich abwechselnden ersten und zweiten Phasen anzusteuern, bis die Länge der mit zunehmender Zeit kürzer werdenden ersten Phasen einen Schwellwert erreicht hat.
- 25
9. Antriebssystem nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, den mindestens einen Elektromotor (11, 12) über Steuerimpulse periodisch mit einem aktiven Kurzschluss anzusteuern.
- 30
10. Antriebssystem nach Anspruch 6 und nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, einen Ansteuergrad der Steuerimpulse während der Ansteuerungssequenz mit zunehmender Zeit zu reduzieren.
- 35
11. Antriebssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, den mindestens einen Elektromotor (11, 12) mit einem aktiven Kurzschluss nur bei Erfüllung wenigstens eines

zusätzlichen Kriteriums anzusteuern, insbesondere nur bei Erfüllung eines zusätzlichen Kriteriums, das einen Betriebsparameter des Antriebssystems betrifft.

12. Antriebssystem nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
5 Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, den mindestens einen Elektromotor (11, 12) mit einem aktiven Kurzschluss nur anzusteuern, wenn eine Drehzahl des mindestens einen Elektromotors (12) oberhalb eines Schwellwerts liegt.
13. Antriebssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch**
10 **gekennzeichnet**, dass das Antriebssystem einen ersten Elektromotor (11) und einen zweiten Elektromotor (12) umfasst und die Getriebeeinrichtung wenigstens ein Planetengetriebe (15) umfasst, dessen Übersetzungsverhältnis mithilfe der ersten und zweiten Elektromotoren (11, 12) einstellbar ist, wobei ein von dem ersten Elektromotor (11) erzeugtes Drehmoment zumindest teilweise an die Abtriebswelle (2) übertragbar
15 ist.
14. Antriebssystem nach den Ansprüchen 12 und 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerelektronik (8) konfiguriert ist, die ersten und zweiten Elektromotoren (11, 12) mit einem aktiven Kurzschluss nur anzusteuern, wenn eine Drehzahl des zweiten
20 Elektromotors (12) oberhalb eines Schwellwerts liegt.
15. Antriebssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch**
gekennzeichnet, dass die Steuerelektronik (8) eine B6-Brückenschaltung (80) zur Steuerung des mindestens einen Elektromotors (11, 12) umfasst.
25
16. Antriebssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch**
gekennzeichnet, dass über das wenigstens eine Fehlersignal (f_s) signalisiert wird, dass die Lage eines Rotors (3, 4) des mindestens einen Elektromotors (11, 12) nicht mehr erfassbar und/oder bestimmbar ist und/oder, bei einer feldorientierten Regelung
30 des mindestens einen Elektromotors (11, 12) über die Steuerelektronik (8), eine Phasenstrommessung nicht mehr verfügbar ist.
17. Verfahren zur Steuerung eines Antriebssystems eines Elektrofahrrads (F), wobei bei dem Antriebssystem
35
- eine Abtriebswelle (1) zum muskelkraftbetätigten Aufbringen einer Antriebskraft für das Antreiben des Elektrofahrrads (F) vorgesehen ist,
 - eine Abtriebswelle (2) zur Übertragung der Antriebskraft an ein Rad (112) des Elektrofahrrads (F) vorgesehen ist,

- mindestens ein Elektromotor (11, 12) zur fremdkraftbetätigten Erzeugung einer Unterstützungskraft vorgesehen ist,
- eine Getriebereinrichtung (15) die Antriebswelle (1) und die Abtriebswelle (2) koppelt und zur Übertragung der Unterstützungskraft an die Abtriebswelle (2) vorgesehen ist und
- der mindestens eine Elektromotor (11, 12) in Reaktion auf wenigstens ein Fehlersignal (f_s) in einen drehmomentfreien Zustand schaltbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

in Reaktion auf das wenigstens eine Fehlersignal (f_s) der mindestens eine Elektromotor (11, 12) vor dem Schalten in den drehmomentfreien Zustand mit einem aktiven Kurzschluss angesteuert wird.

18. Computerprogrammprodukt enthaltend Anweisungen, die, wenn sie von mindestens einem Prozessor eines Steuergeräts eines eine elektromotorische Antriebseinheit (10) umfassenden Antriebssystems eines Elektrofahrrads (F) ausgeführt werden, den mindestens einen Prozessor veranlassen, ein Verfahren nach Anspruch 17 auszuführen.

FIG 1

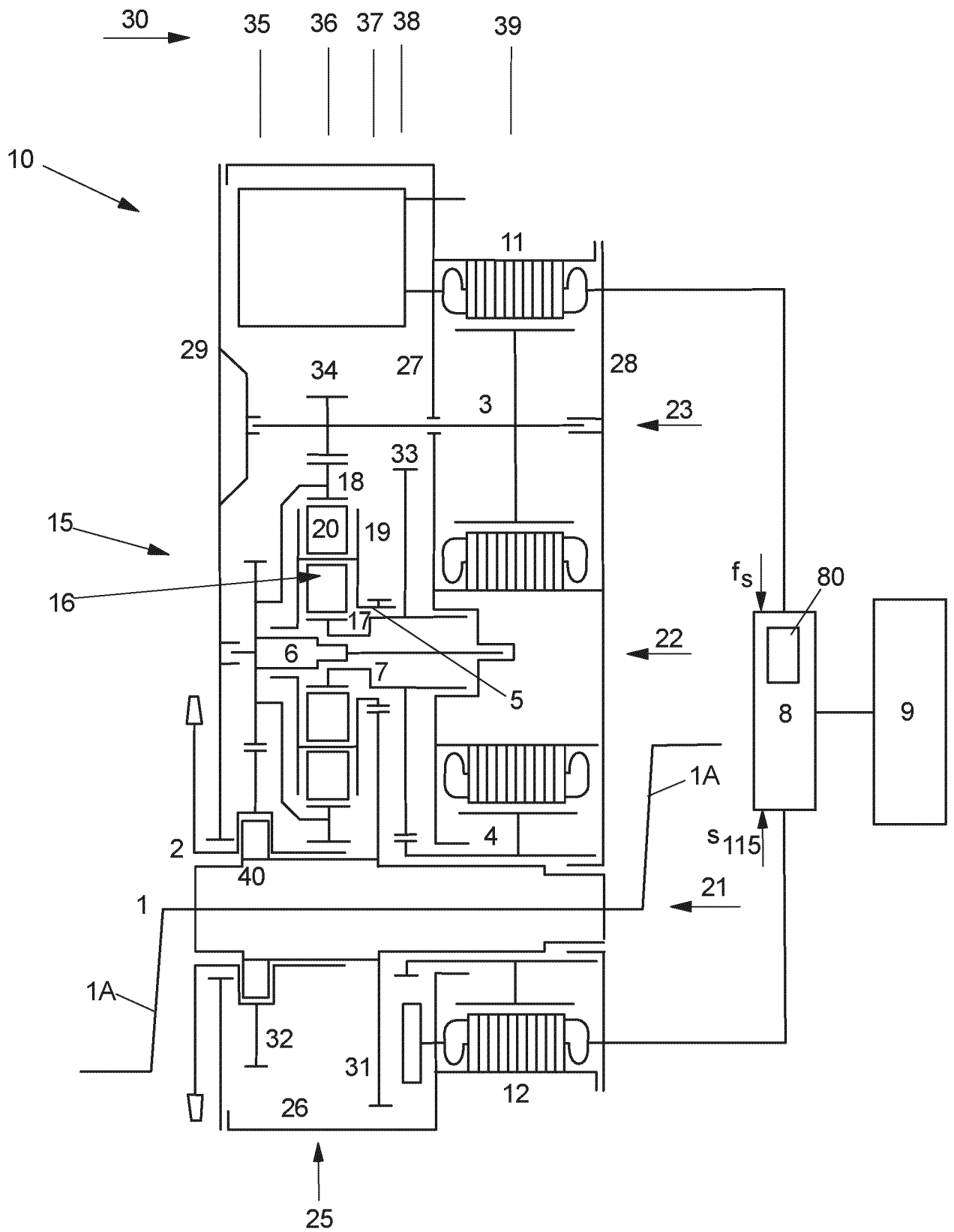
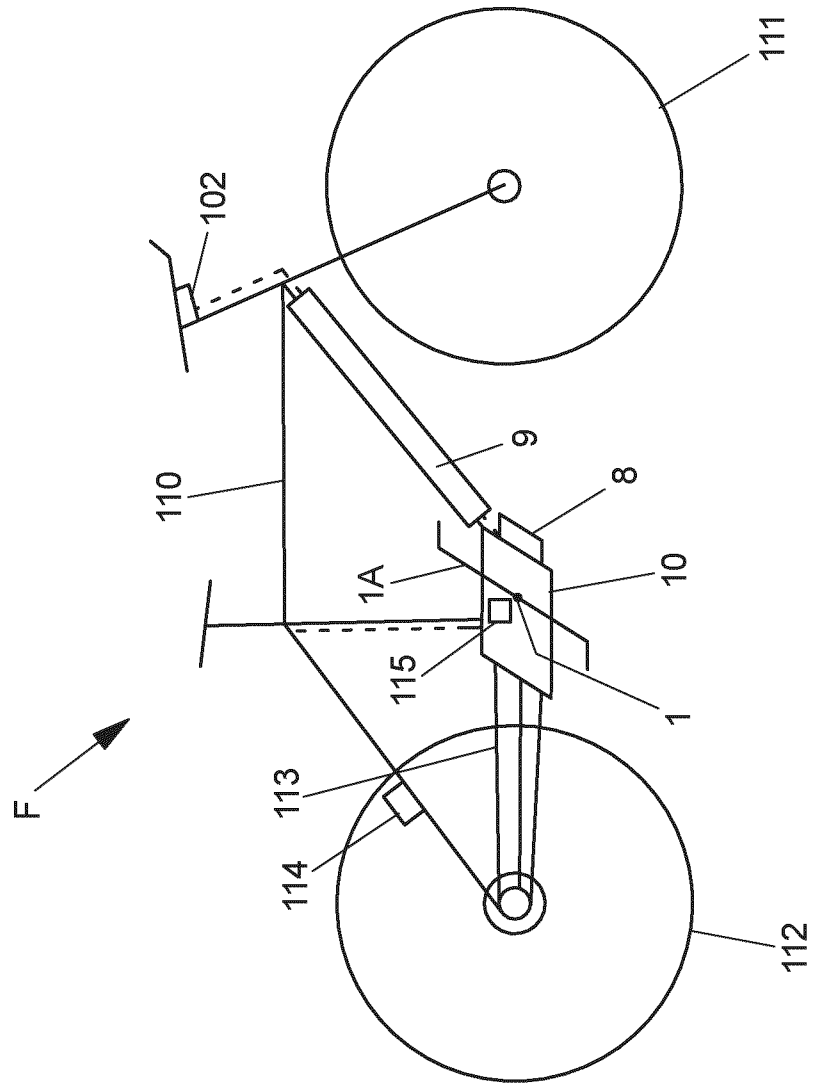


FIG 2



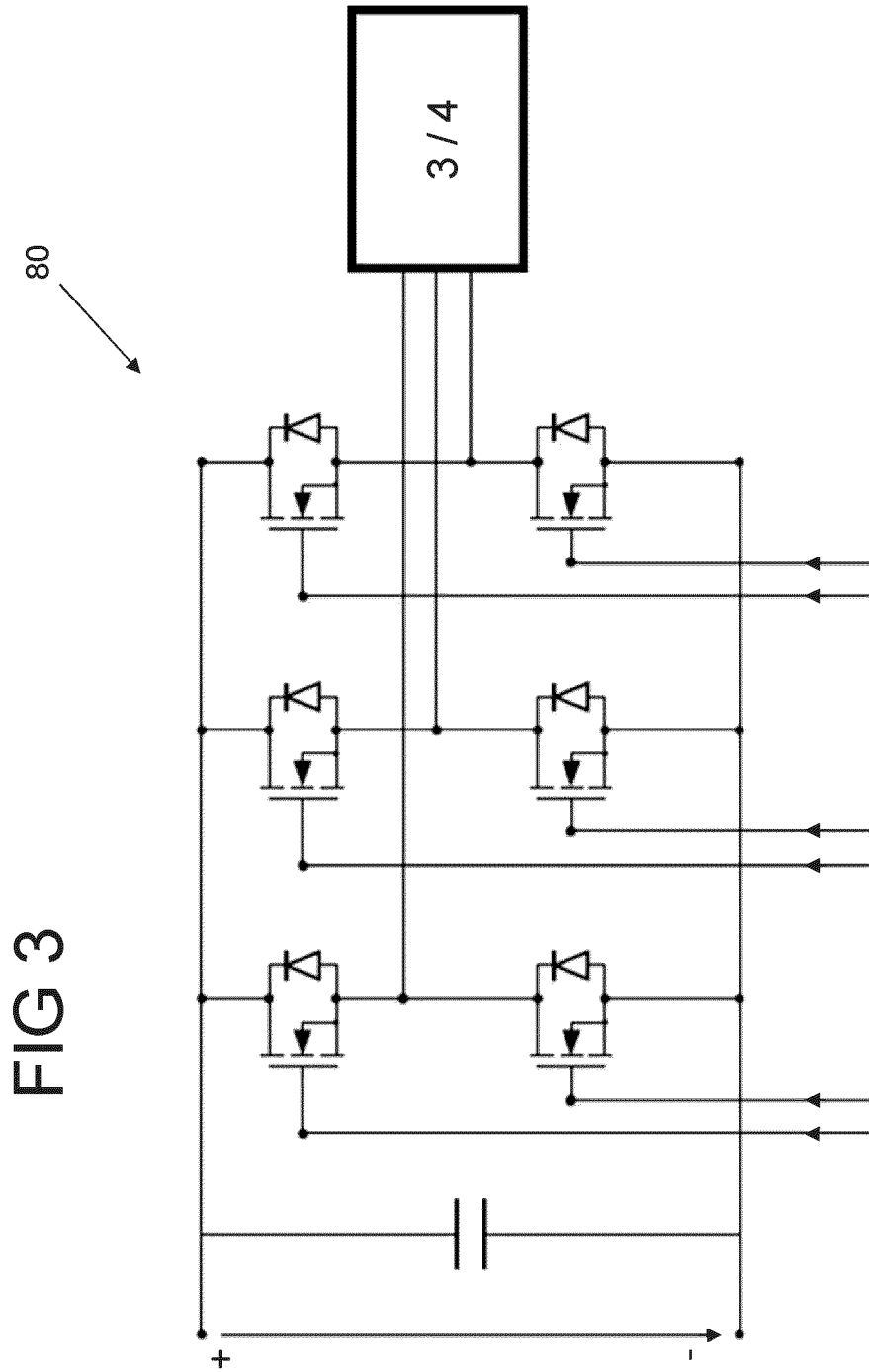


FIG 3

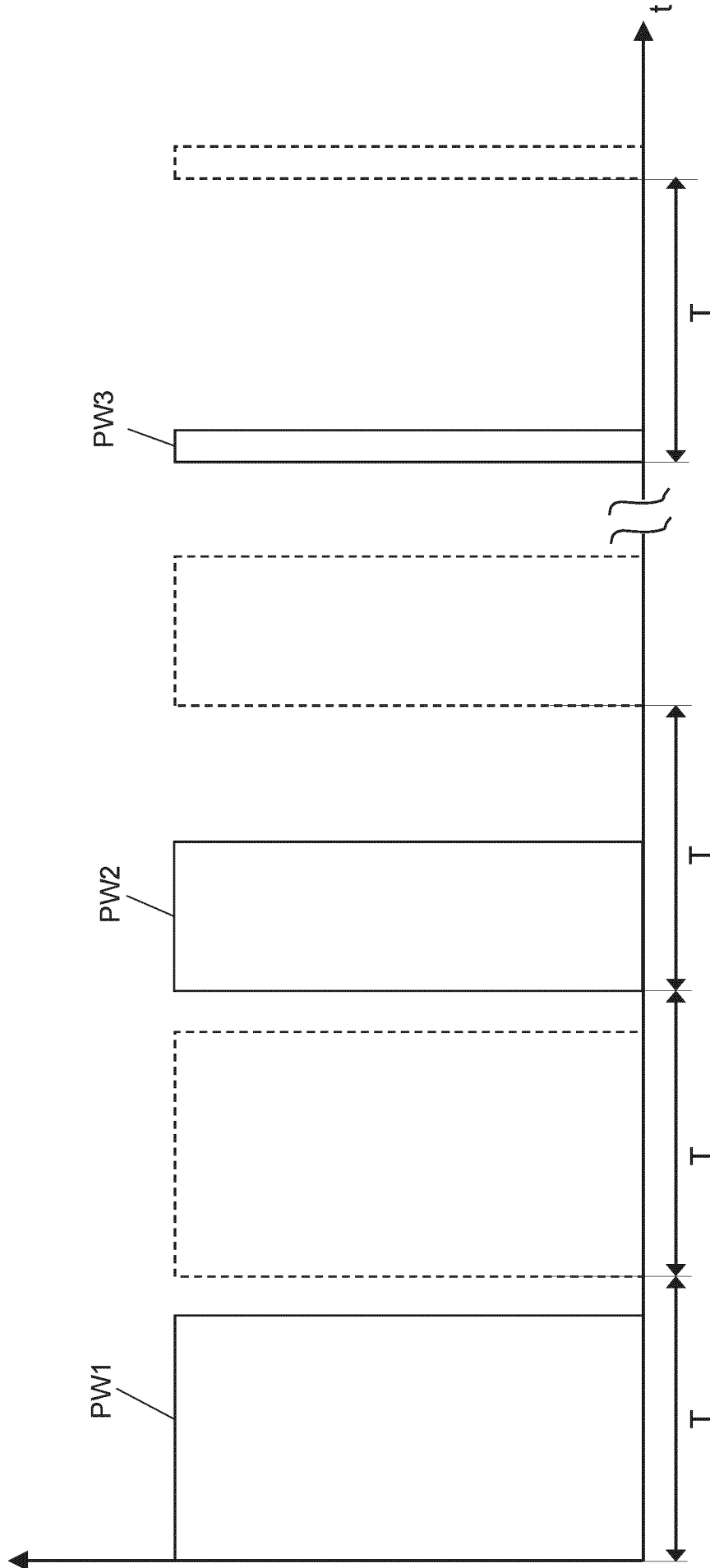


FIG 4

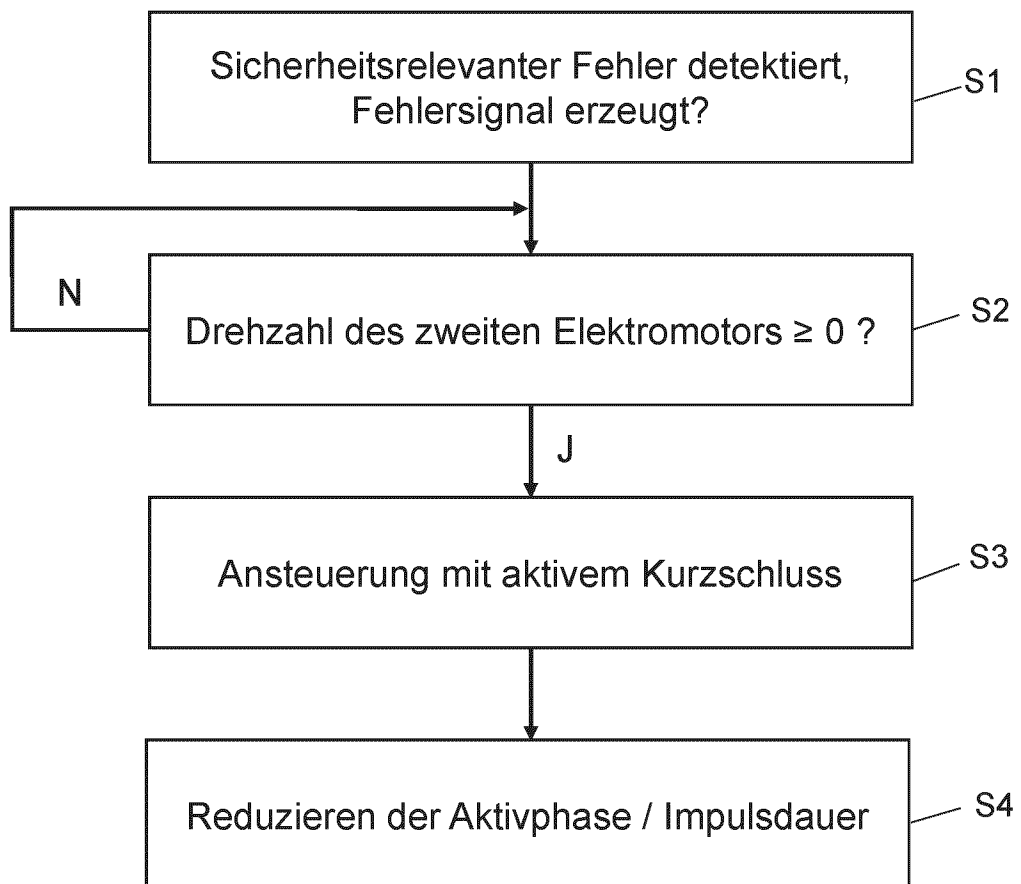


FIG 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/066543**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****B60L 50/20**(2019.01)i; **B62M 6/45**(2010.01)i; **B62M 6/55**(2010.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B60L; B62M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102021112903 A1 (SHIMANO KK [JP]) 02 December 2021 (2021-12-02)	1-12, 14-18
Y	paragraphs [0002], [0007], [0020], [0024], [0048], [0049], [0057], [0063], [0067], [0069], [0070] paragraphs [0084], [0087], [0088], [0101], [0104], [0105] figure 1	13
Y	DE 102021207255 A1 (BROSE ANTRIEBSTECHNIK GMBH & CO KG BERLIN [DE]) 12 January 2023 (2023-01-12) paragraphs [0006], [0032], [0034] figure 4	13

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 September 2024

Date of mailing of the international search report

30 September 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Lutz, Tobias

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/EP2024/066543

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102021112903	A1	02 December 2021	DE	102021112903	A1	02 December 2021
				JP	7514656	B2	11 July 2024
				JP	2021187323	A	13 December 2021

DE	102021207255	A1	12 January 2023	DE	102021207255	A1	12 January 2023
				EP	4367011	A1	15 May 2024
				WO	2023280983	A1	12 January 2023

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/066543

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. B60L50/20 B62M6/45 B62M6/55
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B60L B62M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2021 112903 A1 (SHIMANO KK [JP]) 2. Dezember 2021 (2021-12-02)	1 - 12, 14 - 18
Y	Absätze [0002], [0007], [0020], [0024], [0048], [0049], [0057], [0063], [0067], [0069], [0070] Absätze [0084], [0087], [0088], [0101], [0104], [0105] Abbildung 1	13
Y	DE 10 2021 207255 A1 (BROSE ANTRIEBSTECHNIK GMBH & CO KG BERLIN [DE]) 12. Januar 2023 (2023-01-12) Absätze [0006], [0032], [0034] Abbildung 4	13

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- | | |
|--|---|
| <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> | <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> |
|--|---|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absdtedatum des internationalen Recherchenberichts
11. September 2024	30/09/2024

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Lutz, Tobias
--	--

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/066543

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102021112903 A1	02-12-2021	DE 102021112903 A1	02-12-2021
		JP 7514656 B2	11-07-2024
		JP 2021187323 A	13-12-2021

DE 102021207255 A1	12-01-2023	DE 102021207255 A1	12-01-2023
		EP 4367011 A1	15-05-2024
		WO 2023280983 A1	12-01-2023
