



(10) **DE 10 2016 209 275 B3** 2017.09.28

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 209 275.8**

(22) Anmeldetag: **30.05.2016**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **28.09.2017**

(51) Int Cl.: **B62M 6/45 (2010.01)**
B62M 6/55 (2010.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

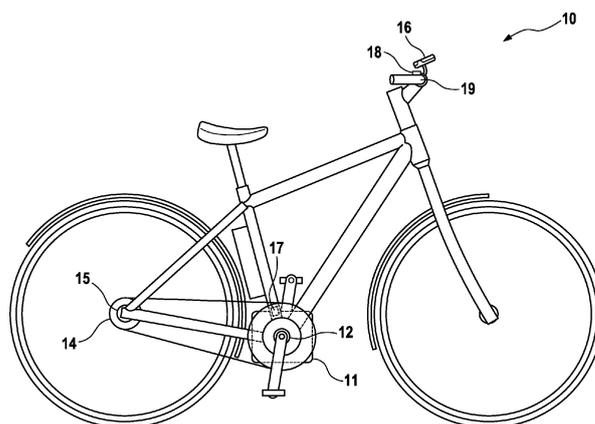
(72) Erfinder:
Dasbach, Gregor, 72074 Tübingen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2010 028 658	A1
DE	10 2014 113 702	A1
JP	H07 - 33 070	A
JP	2004 - 243 920	A

(54) Bezeichnung: **Steuerungsverfahren und Vorrichtungen zur Steuerung des Elektromotors eines Elektrofahrrads**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuerungsverfahren zur Steuerung des Elektromotors eines Elektrofahrrads in Abhängigkeit eines eingelegten Übersetzungsverhältnisses einer Gangschaltung und ein Steuergerät, welches das Steuerungsverfahren ausführt, sowie ein Elektrofahrrad mit dem Steuergerät. Das Steuerungsverfahren für einen Elektromotor eines Elektrofahrrads umfasst wenigstens eine Erfassung eines Tretmoments des Radfahrers und eine Erfassung des eingelegten Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung. Außerdem steuert das Steuerungsverfahren den Elektromotor für den Antrieb des Elektrofahrrads in Abhängigkeit des erfassten Tretmoments und des erfassten Übersetzungsverhältnisses zur Erzeugung eines Drehmoments des Elektromotors an. Dadurch wird der Radfahrer beim Antrieb des Elektrofahrrads in Abhängigkeit des eingelegten Übersetzungsverhältnisses durch den Elektromotor unterstützt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuerungsverfahren zur Steuerung des Elektromotors eines Elektrofahrrads gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs und ein Steuergerät, welches das Steuerungsverfahren ausführt, sowie ein Elektrofahrrad mit dem Steuergerät gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10.

Stand der Technik

[0002] In der Schrift DE 10 2010 028 658 A1 ist ein Elektrofahrrad beschrieben, wobei der Elektromotor ein Drehmoment zum Antrieb des Elektrofahrrads erzeugt. Die Steuerung des Motordrehmoments erfolgt in dieser Schrift in Abhängigkeit des Tretmoments des Radfahrers. Außerdem ist eine Schaltung einer elektronisch steuerbaren Gangschaltung des Elektrofahrrades in Abhängigkeit wenigstens eines Ist-Betriebsparameters offenbart. Der Ist-Betriebsparameter kann beispielsweise das Tretmoment oder eine Trittfrequenz des Radfahrers umfassen.

[0003] Die Schriften JP H07-33 070 A und JP 2004-243 920 A offenbaren ein kraftunterstütztes Fahrzeug mit einem elektrischen Antriebssystem, welches in Abhängigkeit einer Pedalkraft des Fahrers und eines Übersetzungsverhältnisses geregelt wird.

[0004] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, das Fahrverhalten eines Elektrofahrrads beim Schalten einer Gangschaltung des Elektrofahrrads zu verbessern.

[0005] Diese Aufgabe wird von jedem der Ansprüche 1, 7 und 10 gelöst.

[0006] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuerungsverfahren zur Steuerung des Elektromotors eines Elektrofahrrads in Abhängigkeit eines eingelegten Übersetzungsverhältnisses einer Gangschaltung und ein Steuergerät, welches das Steuerungsverfahren ausführt, sowie ein Elektrofahrrad mit dem Steuergerät. Das erfindungsgemäße Steuerungsverfahren umfasst wenigstens eine Erfassung eines Tretmoments des Radfahrers und eine Erfassung des eingelegten Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung. Durch eine Steuerung des Elektromotors in Abhängigkeit des erfassten Tretmoments und des erfassten Übersetzungsverhältnisses wird ein Drehmoment für den Antrieb des Elektrofahrrads erzeugt. Dadurch wird für den Radfahrer eine angenehme Motorsteuerung beim In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Steuerungsverfahren einen Vergleich des erfassten Übersetzungsverhältnisses mit einem unmittelbar vorher erfassten Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung auf. Beim Erkennen einer Änderung des Übersetzungsverhältnisses erfolgt die Steuerung des Motordrehmoments. Das Motordrehmoment wird dabei zur Realisierung einer gleichbleibenden Gesamtleistung des Elektrofahrrads unter Annahme eines gleichbleibenden Tretmoments des Radfahrers gesteigert, wenn das Übersetzungsverhältnis erhöht wird. Das Motordrehmoment wird gesenkt, wenn das Übersetzungsverhältnis beim Schalten reduziert wird. Das Tretmoment des Radfahrers kann demnach beim Schalten konstant bleiben. Die bevorzugte Ausgestaltung weist den Vorteil auf, dass ein sehr komfortables Fahrgefühl beim Schalten entsteht.

[0007] Vorzugsweise umfasst das Steuerungsverfahren eine Erfassung einer aktuellen Trittfrequenz des Radfahrers. Die Steuerung des Motordrehmoments wird zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz durchgeführt. Dadurch kann die Steuerung des Motordrehmoments an die Trittfrequenz des Radfahrers angepasst werden. Das Produkt aus dem Tretmoment und der Trittfrequenz des Radfahrers repräsentiert außerdem die Leistung des Radfahrers. Die Steuerung des Motordrehmoments kann in dieser Ausgestaltung demnach in Abhängigkeit der Leistung des Radfahrers erfolgen. Dies weist den Vorteil einer für den Radfahrer angenehmeren Steuerung des Motordrehmoments auf.

[0008] In einer weiterführenden Ausgestaltung der Erfindung erfolgt eine Steuerung des Motordrehmoments nach einem Vergleich der erfassten Trittfrequenz mit einem Schwellenwert. Es sind insbesondere ein erster Schwellenwert bei einer niedrigen Trittfrequenz und ein zweiter Schwellenwert bei einer hohen Trittfrequenz vorgesehen. Der erste Schwellenwert repräsentiert ein bevorstehendes Schalten der Gangschaltung in ein kleineres Übersetzungsverhältnis. Beim Erreichen oder Überschreiten des ersten Schwellenwerts wird das Motordrehmoment reduziert. Der zweite Schwellenwert repräsentiert ein bevorstehendes Schalten der Gangschaltung in ein größeres Übersetzungsverhältnis. Beim Erreichen oder Überschreiten des zweiten Schwellenwerts wird das Motordrehmoment erhöht. Durch den Vergleich mit dem ersten Schwellenwert und dem zweiten Schwellenwert der Trittfrequenz wird demnach eine bevorstehende Schaltung des Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung erkannt. Durch die Anpassung des Motordrehmoments vor der Schaltung des Übersetzungsverhältnisses können Drehmomentsprünge des Elektromotors beim Schalten minimiert werden. Gleich-

zeitig wird durch die Steuerung des Motordrehmoments ein Schalten der Gangschaltung noch wahrscheinlicher. Dadurch resultiert eine auf das Fahrverhalten des Radfahrers abgestimmte Steuerung des Motordrehmoments beim Schalten.

[0009] Vorzugsweise erfolgt die Steuerung des Motordrehmoments stetig. Dadurch werden Sprünge des Motordrehmoments vermieden, wodurch vorteilhafterweise eine angenehme Kraftunterstützung für den Radfahrer resultiert.

[0010] In einer Weiterbildung der Erfindung erfolgt ein Vergleich der erfassten Trittfrequenz mit mindestens einem weiteren Schwellenwert, wobei insbesondere ein dritter Schwellenwert und ein vierter Schwellenwert vorgesehen sind. Beim Erreichen oder Überschreiten des dritten Schwellenwerts wird eine Schaltung einer elektronisch steuerbaren Gangschaltung in ein niedrigeres Übersetzungsverhältnis durchgeführt. Beim Erreichen oder Überschreiten des vierten Schwellenwerts erfolgt eine Schaltung der elektronisch steuerbaren Gangschaltung in ein höheres Übersetzungsverhältnis. Durch die automatisierte Schaltung der Gangschaltung kann der beim Schalten typischerweise auftretende Drehmomentsprung minimiert und der Zeitschaltpunkt optimiert werden. Es entsteht ein sehr komfortables Fahrgefühl.

[0011] Vorzugsweise erfolgt die Schaltung der elektronisch steuerbaren Gangschaltung nach der Steuerung des Drehmoments des Elektromotors. Dadurch erfolgt eine Anpassung des Drehmoments des Elektromotors vor dem Schalten der Gangschaltung, wodurch der Drehmomentsprung beim Schalten minimiert und eine mit dem Fahrverhalten abgestimmte Motorsteuerung realisiert wird.

[0012] Das erfindungsgemäße Steuergerät ist dazu eingerichtet das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen. Das Steuergerät weist wenigstens eine Recheneinheit auf. Diese Recheneinheit erfasst eine das Tretmoment des Radfahrers repräsentierende Größe. Außerdem wird eine das eingelegte Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung repräsentierende Größe erfasst. Die Recheneinheit erzeugt ein Steuersignal für den Elektromotor in Abhängigkeit des erfassten Tretmomentes und des erfassten Übersetzungsverhältnisses. Ein erfindungsgemäßes Steuergerät steuert das Motordrehmoment für ein besonders angenehmes Fahrgefühl beim Schalten der Gangschaltung.

[0013] In einer weiteren Ausgestaltung erfasst die Recheneinheit eine die Trittfrequenz des Radfahrers repräsentierende Größe. Die Recheneinheit erzeugt das Steuersignal für den Elektromotor zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz. Dies weist den Vorteil einer optimierten Anpassung der Drehmomentsteuerung an das Fahrverhalten des Radfahrers auf.

[0014] In einer bevorzugten Weiterbildung erzeugt die Recheneinheit des Steuergerätes ein weiteres Steuersignal für eine elektronisch steuerbare Gangschaltung in Abhängigkeit des erfassten Tretmomentes und/oder der erfassten Trittfrequenz. Dadurch entsteht der Vorteil, dass das Steuergerät die Schaltung der Gangschaltung übernimmt und der Radfahrer sich beispielsweise verstärkt auf den Verkehr konzentrieren kann.

[0015] Vorzugsweise erfolgt die Schaltung in ein anderes Übersetzungsverhältnis durch das weitere Steuersignal in Abhängigkeit der Steuerung des Motordrehmoments. Durch die Kopplung der Steuerung des Drehmoments und einem Schalten der Gangschaltung kann ein sehr stetiger und sanfter Drehmomentverlauf für den Radfahrer realisiert werden.

[0016] Das erfindungsgemäße Elektrofahrrad umfasst wenigstens einen Elektromotor zur Kraftunterstützung des Radfahrers beim Antrieb des Elektrofahrrads. Außerdem sind ein erster Sensor zum Erfassen eines Tretmomentes des Radfahrers und ein zweiter Sensor zum Erfassen eines eingelegten Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung am Elektrofahrrad angeordnet. Das Elektrofahrrad weist ein Steuergerät zur Steuerung des Elektromotors in Abhängigkeit des erfassten Tretmomentes und des erfassten Übersetzungsverhältnisses auf. Das erfindungsgemäße Elektrofahrrad realisiert vorteilhafterweise ein komfortables Fahrgefühl beim Schalten des Übersetzungsverhältnisses.

[0017] In einer alternativen Ausgestaltung weist das Elektrofahrrad eine elektronisch steuerbare Gangschaltung auf. Das Steuergerät steuert in dieser Ausgestaltung die elektronische Gangschaltung in Abhängigkeit des Tretmomentes und/oder der Trittfrequenz an. Die automatische Schaltung des Übersetzungsverhältnisses erlaubt es dem Radfahrer sich besser auf das Radfahren beziehungsweise den Verkehr konzentrieren zu können, wodurch ein sichereres Radfahren und ein komfortableres Fahrgefühl entstehen.

[0018] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsformen und beigefügter Zeichnungen erläutert.

[0019] Fig. 1: Elektrofahrrad zur erfindungsgemäßen Durchführung des Steuerungsverfahrens

[0020] Fig. 2a: Ablaufdiagramm zum erfindungsgemäßen Steuerungsverfahren der Ansteuerung eines Elektromotors

[0021] Fig. 2b: Ablaufdiagramm zum Steuerungsverfahren mit Ansteuerung bei Änderung eines Übersetzungsverhältnisses der Gangschaltung

[0022] Fig. 2c: Ablaufdiagramm zum Steuerungsverfahren mit Schaltung einer elektronisch steuerbaren Gangschaltung

[0023] Fig. 3: Steuergerät zur erfindungsgemäßen Durchführung des Steuerungsverfahrens

[0024] In Fig. 1 ist ein Elektrofahrrad **10** skizziert. Das Elektrofahrrad **10** weist einen Akkumulator und einen Elektromotor **11** auf. Der Elektromotor **11** kann als Mittelmotor an der Kurbelwelle ausgeführt oder alternativ auch in der Nabe des Vorder- oder Hinterrades angeordnet sein. Das Elektrofahrrad **10** weist außerdem eine Gangschaltung **14** zur Änderung des Übersetzungsverhältnisses auf, das heißt beispielsweise eine Naben- oder eine Kettenschaltung. Alternativ kann eine stufenlose Gangschaltung **14** vorgesehen sein. Die Schaltung der Gangschaltung **14** erfolgt bevorzugt mittels eines Schalthebels **18** am Lenker. Ein Steuergerät **16** steuert den Elektromotor **11** an. Das Steuergerät **16** kann, wie in Fig. 1 dargestellt, bevorzugt am Lenker **19** oder alternativ am Akkumulator oder am Elektromotor **11** angeordnet sein. Die Erfassung des Tret Drehmomentes M_{Fahrer} an der Kurbelwelle erfolgt bevorzugt durch einen ersten Sensor **12**. Das eingelegte Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung **14** wird zweckmäßigerweise durch einen zweiten Sensor **15** erfasst, welcher beispielsweise an der Gangschaltung **14** oder am Schalthebel **18** der Gangschaltung **14** angeordnet sein kann. Die Erfassung der Trittfrequenz K erfolgt mit einem optionalen, dritten Sensor **17** an beziehungsweise in der Nähe der Kurbelwelle, der Kurbel oder den Pedalen.

[0025] Ketten- und Nabenschaltungen von Fahrrädern weisen meist diskrete Übersetzungsverhältnisse i auf, wobei die Stufung der Gänge abhängig von der Bauart der Gangschaltung und dem Hersteller ist. Beispielsweise liegt das Übersetzungsverhältnis einer Kettenschaltung mit einer 53/39-Kettenblatt-Kombination an der Kurbelwelle und einem Ritzelpaket mit 11 bis 21 Zähnen an der Hinterradnabe in diskreten Stufen zwischen 1,86 bis 4,82. Nabenschaltungen mit 3- beziehungsweise 8-Gängen und stufenlose Gangschaltungen weisen ähnliche Übersetzungsverhältnisse wie die beschriebene Kettenschaltung auf. Die Räder eines Fahrrades drehen sich bei einem niedrigen Übersetzungsverhältnis von $i = 2$ demnach beispielsweise mit der doppelten Drehzahl der Trittfrequenz des Radfahrers.

[0026] Die Geschwindigkeit v eines Fahrrades lässt sich allgemein als Produkt aus dem eingelegten Übersetzungsverhältnis i der Gangschaltung **14**, der Trittfrequenz K und dem äußeren Radumfang U ableiten. Dies gilt allgemein solange das Fahrrad aktiv angetrieben wird, das heißt, dass kein Leerlauf oder ein Bremsen vorliegt. Beispielsweise wird durch das Treten eines Radfahrers bei einem Übersetzungsverhältnis von $i = 2$ mit einer Trittfrequenz von $K = 80$ rpm und einem äußeren Radumfang $U = \text{ca. } 2,1$ m (28" Zoll Rennradreifen) eine Geschwindigkeit $v = \text{ca. } 20$ km/h erreicht, siehe auch Gleichung (2).

$$v = K \cdot i \cdot U \quad (2)$$

[0027] Die Tretleistung P_{Fahrer} eines Radfahrers kann zum Zeitpunkt des Schaltens eines Übersetzungsverhältnisses näherungsweise gleichbleibend angenommen werden. Sie lässt sich als Produkt der Trittfrequenz K und des Tret Drehmomentes M_{Fahrer} des Radfahrers beschreiben, siehe Gleichung (3).

$$P_{\text{Fahrer}} = M_{\text{Fahrer}} \cdot K \quad (3)$$

[0028] Um beispielsweise bei einer Steigung auf der Fahrstrecke das Tret Drehmoment M_{Fahrer} zu reduzieren, schaltet der Radfahrer in ein niedrigeres Übersetzungsverhältnis i einer Gangschaltung **14**, wobei sich gleichzeitig die Trittfrequenz K erhöht. Da beim Schalten nicht gebremst wird, bleibt die Geschwindigkeit v des Fahrrads zum unmittelbaren Zeitpunkt des Schaltens gleich ($v_1 = v_2$). Die Trittfrequenz K ändert sich in Abhängigkeit des Übersetzungsverhältnisses i nach Gleichung (4) diskret, das heißt beispielsweise in Abhängigkeit der Stufung der Gangschaltung.

$$v_2 = v_1 \Rightarrow K_2 = K_1 \cdot \frac{i_1}{i_2} \quad (4)$$

[0029] Bei gleichbleibender Tretleistung P_{Fahrer} zum Zeitpunkt des Schaltens eines Übersetzungsverhältnisses folgt eine Abhängigkeit des Tretdrehmoments $M_{\text{Fahrer},2}$ von den Übersetzungsverhältnissen i_1 und i_2 sowie dem Tretdrehmoment $M_{\text{Fahrer},1}$ nach Gleichung (5).

$$M_{\text{Fahrer},2} = M_{\text{Fahrer},1} \cdot \frac{i_2}{i_1} \quad (5)$$

[0030] Die Steuerung des Elektromotors **11** von einem Elektrofahrrad erfolgt typischerweise im Stand der Technik in Abhängigkeit vom Tretdrehmoment M_{Fahrer} oder der Trittfrequenz K des Radfahrers. Beispielsweise erfolgt die Ansteuerung in linearer Abhängigkeit des Tretdrehmomentes M_{Fahrer} und eines Assistenzverhältnisses α . Das Assistenzverhältnis α ist der Quotient aus dem Drehmoment M_{Motor} des Elektromotors und einem Tretdrehmoment M_{Fahrer} des Radfahrers, siehe Gleichung (6).

$$\alpha = \frac{M_{\text{Motor}}}{M_{\text{Fahrer}}} \quad (6)$$

[0031] Beim Schalten eines Übersetzungsverhältnisses von i_1 auf i_2 ändern sich das Tretdrehmoment M_{Fahrer} folglich diskret (siehe Gleichung (5)). Demnach ändert sich durch eine Ansteuerung mit einem konstantem Assistenzverhältnis α beim Schalten das Drehmoment M_{Motor} des Elektromotors **11** ebenfalls diskret.

[0032] Bei einem Elektrofahrrad **10** repräsentiert die Gesamtleistung $P_{\text{Elektrofahrrad}}$ die Summe aus der Tretleistung P_{Fahrer} des Radfahrers und der Motorleistung P_{Motor} , wobei die Motorleistung P_{Motor} als Produkt aus dem Drehmoment M_{Motor} des Elektromotors **11** und der Winkelgeschwindigkeit ω beschrieben werden kann. Die Winkelgeschwindigkeit ω entspricht für den Radfahrer der Trittfrequenz und es folgt Gleichung (7).

$$P_{\text{Elektrofahrrad}} = P_{\text{Fahrer}} + P_{\text{Motor}} \\ M_{\text{Fahrer}} \cdot K + M_{\text{Motor}} \cdot \omega \quad (7)$$

[0033] Die Winkelgeschwindigkeit ω des Elektromotors **11** und die Trittfrequenz K des Radfahrers sind bei einem Elektrofahrrad **10** mit Mittelmotor gekoppelt, da zwischen beiden ein festes Übersetzungsverhältnis c vorliegt. Deshalb folgt mittels algebraischer Vereinfachungen Gleichung (8).

$$P_{\text{Elektrofahrrad}} = M_{\text{Fahrer}} \cdot K \cdot (1 + \alpha \cdot c) \quad (8)$$

[0034] Die Gesamtleistung $P_{\text{Elektrofahrrad}}$ eines Elektrofahrrads mit Mittelmotor ist beim Schalten eines Übersetzungsverhältnisses mit einem konstanten Assistenzverhältnis α demnach ebenfalls konstant, weil das Produkt aus dem Tretdrehmoment M_{Fahrer} des Radfahrers und der Trittfrequenz K beim Schalten der Gangschaltung, wie oben beschrieben, als konstant anzunehmen ist (siehe Gleichungen (3) und (8)).

[0035] In Fig. 2a ist ein mögliches Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Steuerungsverfahrens **20** zur Steuerung des Elektromotors **11** eines Elektrofahrrads **10** dargestellt. In einem Schritt **21** wird ein Tretdrehmoment M_{Fahrer} eines Radfahrers erfasst. In einem weiteren Schritt **22** wird das eingelegte Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung **14** erfasst. In einem weiteren Schritt **26** wird der Elektromotor **11** in Abhängigkeit des erfassten Tretdrehmomentes und des erfassten Übersetzungsverhältnisses angesteuert. Durch die Steuerung des Elektromotors **11** wird ein Drehmoment M_{Motor} zum Antrieb des Elektrofahrrads erzeugt. Das erfindungsgemäße Verfahren kann kontinuierlich oder wiederholt ablaufen.

[0036] Nach dem Schritt **22** kann in einem optionalen Schritt **24** die Trittfrequenz des Radfahrers erfasst werden. In dieser Ausführung wird der Elektromotor **11** im Schritt **26** zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz angesteuert.

[0037] In dem alternativen Ablaufdiagramm in Fig. 2b ist ein weiterer Schritt **23** zum Vergleich des erfassten Übersetzungsverhältnisses i_2 mit dem unmittelbar vorher erfassten Übersetzungsverhältnisses i_1 dargestellt. Ist das aktuell erfasste Übersetzungsverhältnisses i_2 gleich dem vorher erfassten Übersetzungsverhältnisses i_1 , wird keine Änderung des Übersetzungsverhältnisses i erkannt und es erfolgt keine Anpassung des Motor-

drehmoments M_{Motor} . Die Anpassung des Motordrehmomentes M_{Motor} im Schritt **26** erfolgt nur nach dem Erkennen eines veränderten Übersetzungsverhältnisses i . Das erfindungsgemäße Verfahren nach dem Ablaufdiagramm in **Fig. 2b** kann kontinuierlich oder wiederholt ablaufen.

[0038] In einer Weiterbildung des Verfahrens nach dem Ablaufdiagramm in **Fig. 2b** erfolgt die Anpassung des Motordrehmoments M_{Motor} im Schritt **26** zur Realisierung einer gleichbleibenden Gesamtleistung P des Elektrofahrrads **10** unter der Prämisse eines konstanten Tret Drehmoments M_{Fahrer} des Radfahrers. Die Gesamtleistung P des Elektrofahrrads **10** umfasst eine Summe der Motorleistung P_{Motor} und der Leistung P_{Fahrer} des Radfahrers. Die durch den Radfahrer ohne das Verfahren notwendige Anpassung des Tret Drehmoments M_{Fahrer} beim Schalten wird durch die Anpassung des Motordrehmoments M_{Motor} kompensiert. Aus der Annahme eines konstanten Tret Drehmoments M_{Fahrer} des Radfahrers beim Schalten folgt, dass in dieser Weiterbildung der Erfindung beim Schalten vom Radfahrer lediglich die Trittfrequenz K an das neue Übersetzungsverhältnis i_2 der Gangschaltung **14** angepasst wird. Die Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} erfolgt dabei in Abhängigkeit eines nicht konstanten Assistenzverhältnisses. Das Assistenzverhältnis α_2 nach dem Schalten ist nach Gleichung (7) abhängig vom eingelegten Übersetzungsverhältnisses i_2 durch das Schalten und abhängig vom unmittelbar vorher eingelegten Übersetzungsverhältnisses i_1 sowie vom unmittelbar vorher verwendeten Assistenzverhältnis α_1 . Demnach erfolgt in dieser Ausgestaltung der Erfindung im Schritt **26** nach dem Schalten des Übersetzungsverhältnis i_2 eine Änderung des Motordrehmoments M_{Motor} , wobei das Assistenzverhältnis α beim Schalten in ein höheres Übersetzungsverhältnis gesteigert und beim Schalten in ein niedrigeres Übersetzungsverhältnis reduziert wird.

$$M_{\text{Fahrer},1} \cdot (1 + \alpha_1) \cdot K_1 = M_{\text{Fahrer},1} \cdot (1 + \alpha_2) \cdot K_2$$

$$\Rightarrow \alpha_2 = (1 + \alpha_1) \cdot \frac{i_2}{i_1} - 1 \quad (7)$$

[0039] Dies bedeutet beispielsweise, dass beim Schalten eines Übersetzungsverhältnis von $i_1 = 2$ bei einem ursprünglichen Assistenzverhältnis von $\alpha_1 = 1$ nach dem Schalten auf $i_2 = 2,5$ ein neues Assistenzverhältnis von $\alpha_2 = 1,5$ resultiert. Das Drehmoment M_{Motor} des Elektromotors **11** wird in diesem Beispiel unmittelbar nach dem Schalten somit um 50% erhöht. Die notwendige Trittfrequenz K erniedrigt sich entsprechend Gleichung (3) um 20%. Der Radfahrer kann in diesem Beispiel, wie in der obigen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben, das Tret Drehmoment M_{Fahrer} beim Schalten konstant halten.

[0040] Im Ablaufdiagramm in **Fig. 2c** ist eine weitere besonders bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung dargestellt. In dieser Ausgestaltung wird vor der Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} ein Schritt **24** zur Erfassung der Trittfrequenz K durchgeführt. Außerdem wird in einem Schritt **25** nach der Erfassung der Trittfrequenz K und vor der Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} die Trittfrequenz K mit vier Schwellenwerten verglichen. Liegt die Trittfrequenz zwischen dem ersten Schwellenwert S_1 und dem zweiten Schwellenwert S_2 , erfolgt keine Anpassung des Motordrehmoments M_{Motor} . Erreicht oder überschreitet die erfasste Trittfrequenz K den ersten Schwellenwert S_1 oder den zweiten Schwellenwert **82**, so erfolgt im Schritt **26** die Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} nach einem erfindungsgemäßen Verfahren, wobei diese Steuerung zusätzlich in Abhängigkeit der Trittfrequenz K erfolgen kann.

[0041] Erreicht oder überschreitet die Trittfrequenz den dritten Schwellenwert S_3 oder den vierten Schwellenwert S_4 , erfolgt im Schritt **26** die Steuerung des Motordrehmoments M_{Motor} und danach im Schritt **27** die Schaltung einer elektrisch steuerbaren Gangschaltung **14** in ein anderes Übersetzungsverhältnis i_2 . Das erfindungsgemäße Verfahren nach dem Ablaufdiagramm in **Fig. 2c** kann kontinuierlich oder wiederholt ablaufen.

[0042] In **Fig. 3** ist das erfindungsgemäße Steuergerät **16** dargestellt. Das Steuergerät **16** weist wenigstens eine Recheneinheit **32** auf. Die Recheneinheit **32** erfasst eine das Tret Drehmoment M_{Fahrer} repräsentierende Größe und eine das eingelegte Übersetzungsverhältnis i repräsentierende Größe. Außerdem erzeugt die Recheneinheit **32** ein Steuersignal für den Elektromotor **11** zur Anpassung eines Motordrehmoments M_{Motor} . Das Steuergerät kann zum Erfassen von Größen eine Empfangseinheit **31** und zur Ausgabe des Sensorsignals eine Ausgabereinheit **33** aufweisen. Optional erfasst die Recheneinheit **32** zusätzlich eine die Trittfrequenz K repräsentierende Größe. Die erfassten Größen können beispielsweise Sensorgrößen des ersten Sensors **12**, des zweiten Sensors **15** und/oder des dritten Sensors **17** darstellen.

Patentansprüche

1. Steuerungsverfahren für einen Elektromotor (11) eines Elektrofahrrads (10) wenigstens umfassend die Schritte

- Erfassung (21) eines Tretdrehmoments (M_{Fahrer}) des Radfahrers, und
- Erfassung (22) des eingelegten Übersetzungsverhältnisses (i) der Gangschaltung (14), **dadurch gekennzeichnet**, dass folgender Schritt durchgeführt wird
- Steuerung (26) des Elektromotors (11) in Abhängigkeit des erfassten Tretdrehmomentes (M_{Fahrer}) und des erfassten Übersetzungsverhältnisses (i) zur Erzeugung eines Drehmoments (M_{Motor}) für den Antrieb des Elektrofahrrads (10), wobei die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) stetig steuert.

2. Steuerungsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- ein Vergleich (23) des erfassten Übersetzungsverhältnisses (i) mit einem unmittelbar vorher erfassten Übersetzungsverhältnis (i_1) der Gangschaltung (14) durchgeführt wird, und
- beim Erkennen einer Änderung des Übersetzungsverhältnisses
- die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) zur Realisierung einer gleichbleibenden Gesamtleistung ($P_{\text{Elektrofahrrad}}$) des Elektrofahrrads (10) zusätzlich in Abhängigkeit der Änderung des Übersetzungsverhältnisses erhöht oder reduziert.

3. Steuerungsverfahren nach einem der nach Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- eine Erfassung (24) einer aktuellen Trittfrequenz (K) des Radfahrers erfolgt, und
- die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz (K) steuert.

4. Steuerungsverfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- ein Vergleich (25) der erfassten Trittfrequenz (K) mit einem ersten Schwellenwert (S1) und einem zweiten Schwellenwert (S2) erfolgt, und
- beim Erreichen oder Überschreiten des ersten Schwellenwerts (S1) die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) des Elektromotors (11) reduziert, und
- beim Erreichen oder Überschreiten des zweiten Schwellenwerts (S2) die Steuerung (26) das Drehmoment (M_{Motor}) des Elektromotors (11) erhöht.

5. Steuerungsverfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- ein Vergleich (25) der erfassten Trittfrequenz (K) mit einem dritten Schwellenwert (S3) und einem vierten Schwellenwert (S4) erfolgt, und
- beim Erreichen oder Überschreiten des dritten Schwellenwerts (S3) eine Schaltung (27) einer elektronisch steuerbaren Gangschaltung (14) in ein niedrigeres Übersetzungsverhältnis erfolgt, und
- beim Erreichen oder Überschreiten des vierten Schwellenwerts (S4) eine Schaltung (27) der elektronisch steuerbaren Gangschaltung (14) in ein höheres Übersetzungsverhältnis erfolgt.

6. Steuerungsverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltung (27) der Gangschaltung (14) nach der Steuerung (26) des Drehmoments (M_{Motor}) des Elektromotors (11) erfolgt.

7. Steuergerät (16), welches ein Steuerungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 ausführt, wobei das Steuergerät (16) wenigstens eine Recheneinheit (32) aufweist, welche

- eine das Tretdrehmoment (M_{Fahrer}) des Radfahrers repräsentierende Größe erfasst, und
- eine das eingelegte Übersetzungsverhältnis (i) der Gangschaltung (14) repräsentierende Größe erfasst, und
- ein Steuersignal für den Elektromotor (11) in Abhängigkeit des erfassten Tretdrehmomentes (M_{Fahrer}) und des erfassten Übersetzungsverhältnisses (i) erzeugt.

8. Steuergerät nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Recheneinheit (32)

- eine die Trittfrequenz (K) des Radfahrers repräsentierende Größe erfasst, und
- das Steuersignal für den Elektromotor (11) zusätzlich in Abhängigkeit der erfassten Trittfrequenz (K) erzeugt wird.

9. Steuergerät nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Recheneinheit (32) ein weiteres Steuersignal für eine elektronisch steuerbare Gangschaltung (14) in Abhängigkeit des erfassten Tretdrehmoments (M_{Fahrer}) und/oder der erfassten Trittfrequenz (K) erzeugt, wobei die Schaltung (27) in ein anderes Übersetzungsverhältnis (i_2) in Abhängigkeit der Steuerung (26) des Drehmoments (M_{Motor}) des Elektromotors (11) erfolgt.

10. Elektrofahrrad, wobei das Elektrofahrrad wenigstens folgende Komponenten umfasst
- einen Elektromotor (**11**) zum Antrieb des Elektrofahrrads (**10**), und
 - einen ersten Sensor (**12**) zum Erfassen eines Tret Drehmomentes (M_{Fahrer}) des Radfahrers, und
 - einen zweiten Sensor (**15**) zum Erfassen eines eingelegten Übersetzungsverhältnisses (i) der Gangschaltung (**14**),
- dadurch gekennzeichnet**, dass
- ein Steuergerät (**16**) nach einem der Ansprüche 7 bis 9 zur Steuerung (**26**) des Elektromotors (**11**) in Abhängigkeit des erfassten Tret Drehmomentes (M_{Fahrer}) und des erfassten Übersetzungsverhältnisses (iaktuell) angeordnet ist.

11. Elektrofahrrad nach Anspruch 10, umfassend eine elektronisch steuerbare Gangschaltung (**14**), wobei das Steuergerät (**16**) eine elektronische Gangschaltung (**14**) in Abhängigkeit des Tret Drehmomentes (M_{Fahrer}) und/oder der Trittfrequenz (K) ansteuert.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

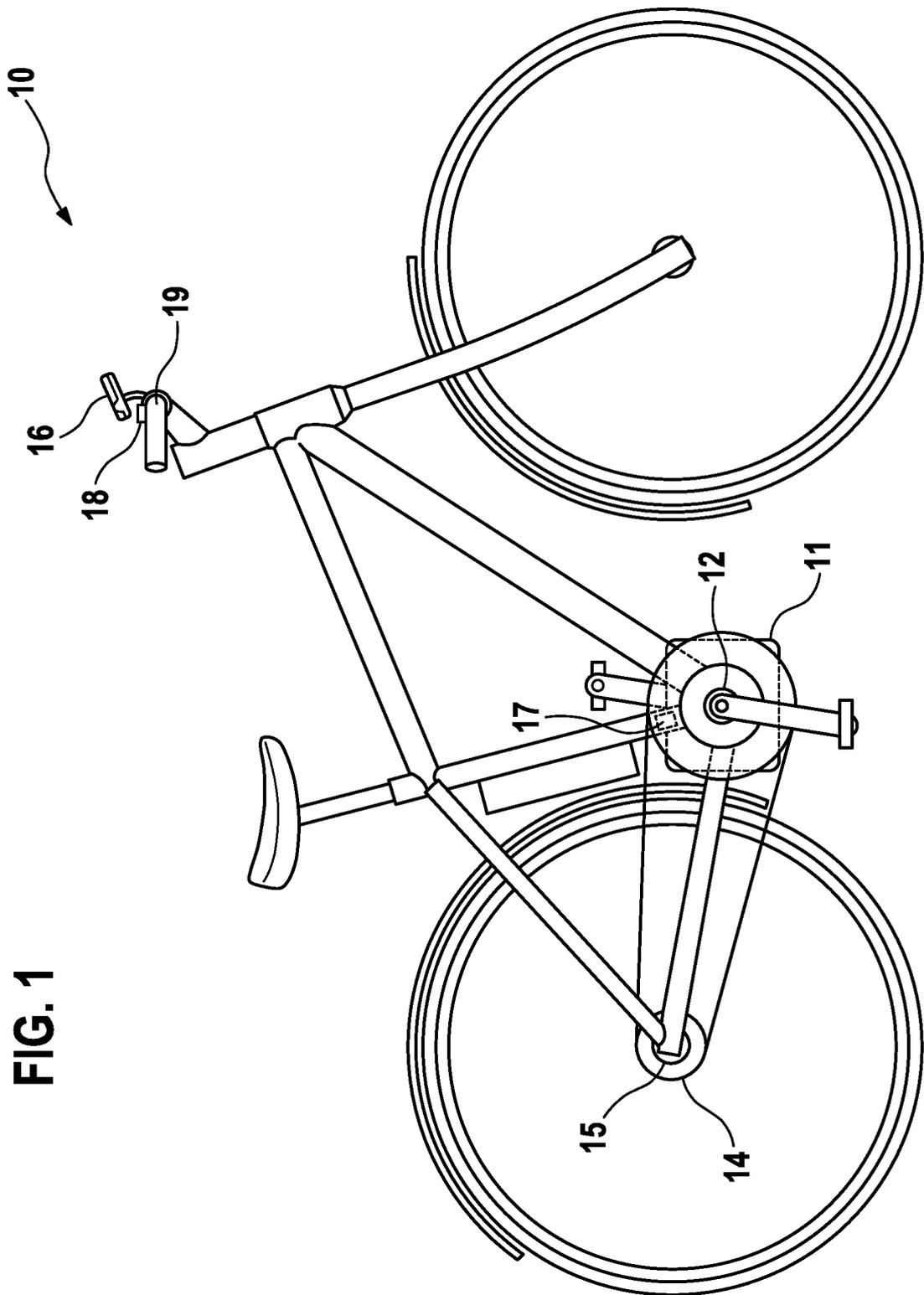


FIG. 1

FIG. 2b

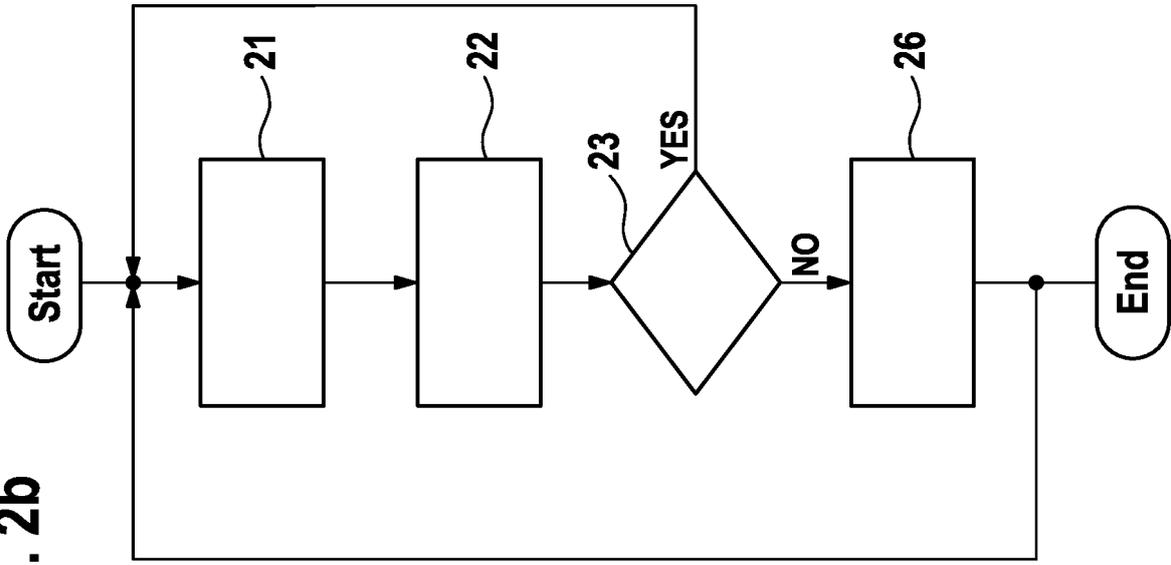
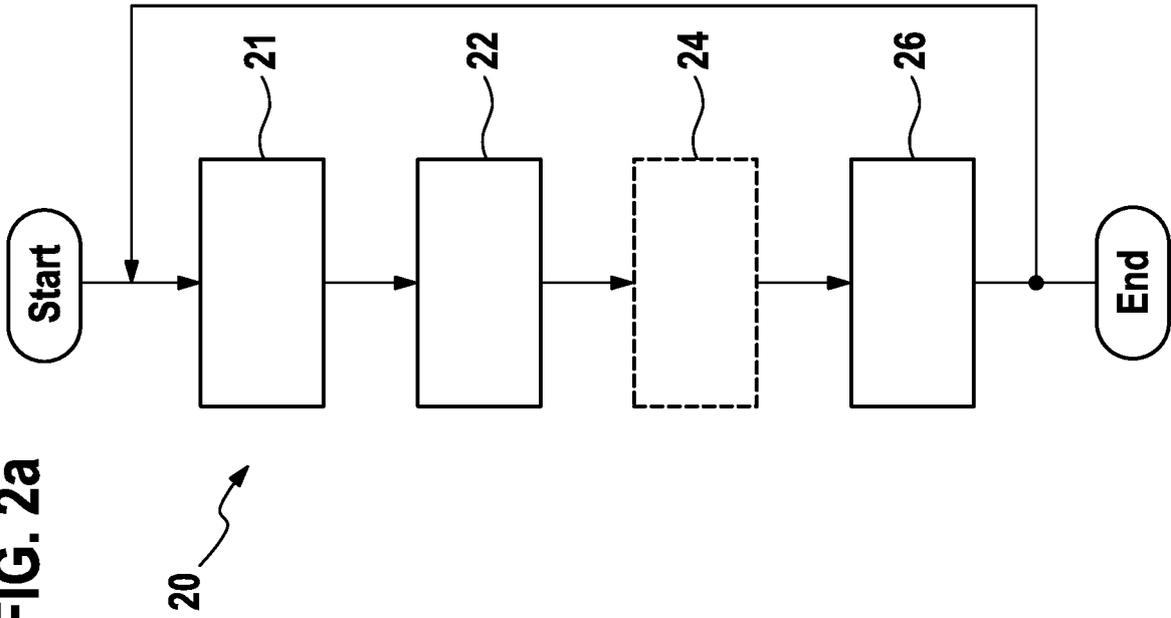


FIG. 2a



20 ↗

FIG. 2c

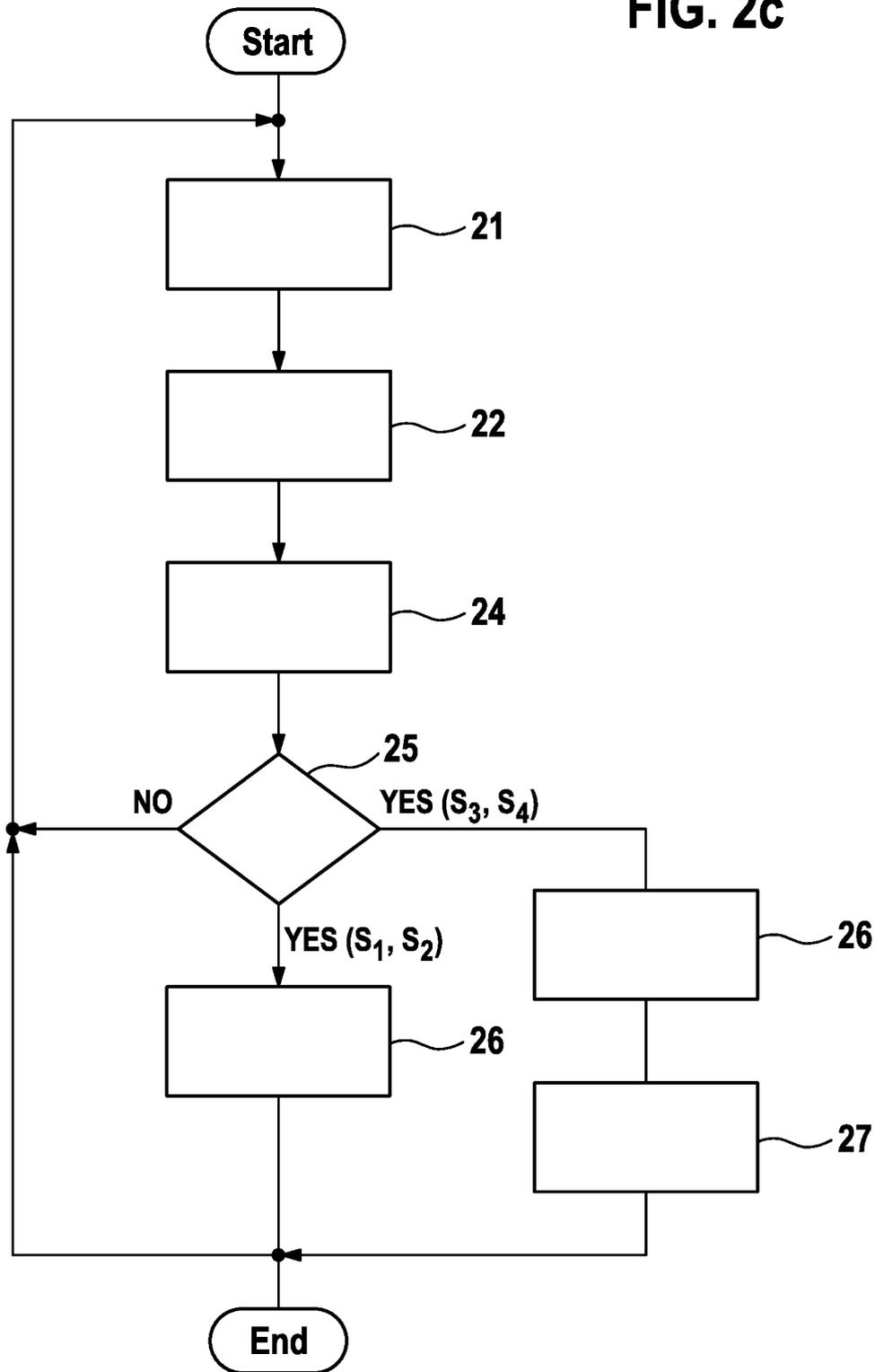


FIG. 3

