



(10) **DE 10 2014 217 455 A1** 2016.03.03

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 217 455.4**

(22) Anmeldetag: **02.09.2014**

(43) Offenlegungstag: **03.03.2016**

(51) Int Cl.: **F02N 11/04 (2006.01)**

F02N 15/02 (2006.01)

B60W 20/00 (2006.01)

B60W 10/08 (2006.01)

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Henger, Martin, 71732 Tamm, DE; Klein, Benjamin,
74321 Bietigheim-Bissingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2012 203 374 A1

DE 601 10 528 T2

EP 1 760 297 A2

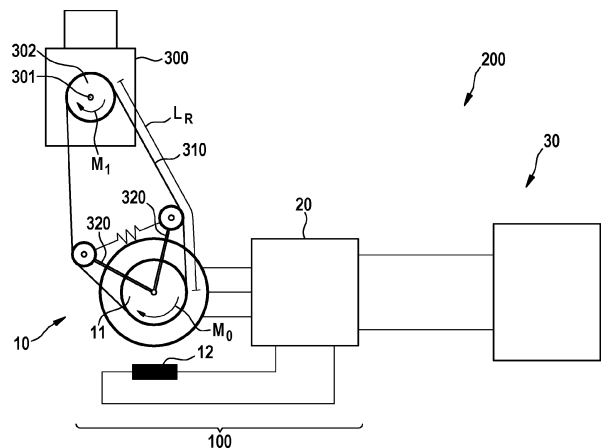
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Starten eines Verbrennungsmotors durch einen riemengetriebenen Startergenerator**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Starten eines Verbrennungsmotors (300) durch einen Startergenerator (100), die mittels eines Riementriebs aufweisend eine Riemenscheibe (11) des Startergenerators (100), eine Riemenscheibe (301) des Verbrennungsmotors (300) und einen die Riemenscheiben drehmomentübertragend verbindenden Riemen (301) verbunden sind, wobei der Startergenerator (100) so betrieben wird, dass sein an die Riemenscheibe (11) des Startergenerators abgegebenes Antriebsmoment einen bestimmten Antriebsmomentverlauf hat, so dass zeitweise ein Abtriebsmoment an der Riemenscheibe (301) des Verbrennungsmotors (300) erzeugt wird, das unter Berücksichtigung eines Übersetzungsverhältnisses des Riementriebs über dem Antriebsmoment des Startergenerators (100) liegt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Starten eines Verbrennungsmotors durch einen riemengetriebenen Startergenerator sowie eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung.

Stand der Technik

[0002] Elektrische Maschinen können in Kraftfahrzeugen als sog. Startergeneratoren eingesetzt werden, um einerseits den Verbrennungsmotor im Motorbetrieb der elektrischen Maschine zu starten und andererseits Strom für das Bordnetz und zum Laden der Kraftfahrzeugbatterie im Generatorbetrieb der elektrischen Maschine zu erzeugen. Startergeneratoren können über einen Riementrieb mit dem Verbrennungsmotor bzw. der Kurbelwelle verbunden sein.

[0003] Für den Einsatz als riemengetriebene Startergeneratoren (RSG) eignen sich besonders fremderregte Drehstrom-Synchronmaschinen, da deren motorisches Moment besonders gut regelbar ist. Ein erwünschtes Drehmoment kann durch entsprechende Ansteuerung der Läuferwicklung (Erregerspule) und/oder der Ständerwicklung (üblich sind z.B. drei oder fünf Ständerphasen) eingestellt werden. Es kann eine zeitliche Modulation des Drehmoments bevorzugt sein, um einen möglichst geräusch- und vibrationsarmen Startvorgang zu erzielen.

[0004] Zum Starten des Verbrennungsmotors wird das Antriebsmoment des Startergenerators über den Riemen an die Kurbelwelle des Verbrennungsmotors übertragen, um die Kurbelwelle auf eine Mindestdrehzahl zu beschleunigen. Ist die Mindestdrehzahl erreicht, wird ein zündfähiges Gemisch im Brennraum zu einem definierten Zeitpunkt gezündet.

[0005] Zum Starten des Verbrennungsmotors müssen leistungsfähige Startergeneratoren eingesetzt werden, die groß, schwer und teuer sind. Es ist daher wünschenswert, Platz, Gewicht und Kosten einzusparen.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Ausgehend von diesem Stand der Technik wird nun ein Verfahren zum Starten eines Verbrennungsmotors durch einen riemengetriebenen Startergenerator mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 vorgestellt, bei dem durch Vorgabe eines bestimmten Antriebsmomentverlaufs (d.h. Abhängigkeit des Antriebsmoments von der Zeit) für das vom Startergenerator abgegebene Antriebsmoment ein wirksames Abtriebsmoment an der Kurbelwelle erzeugt werden kann, das zeitweise über dem übersetzten (d.h. unter Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnisses des Riementriebs) Antriebsmoment des Startergene-

rators liegt. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

Vorteile der Erfindung

[0007] Die Erfindung erlaubt, an der Kurbelwelle ein Abtriebsmoment zu erzeugen, das zeitweise größer als das übersetzte Antriebsmoment des Startergenerators ist, vorzugsweise mindestens um 10%, 20%, 30%, 40% 50% oder 60% größer. Entspricht das Antriebsmoment dem Spitzenmoment (d.h. maximales Kurzzeit-Drehmoment), kann dementsprechend an der Kurbelwelle ein Abtriebsmoment erzeugt werden, welches zeitweise größer als das übersetzte Spitzenmoment des Startergenerators ist, und insbesondere dazu verwendet werden kann, ein Losbrechmoment des Verbrennungsmotors zu überwinden. Das erforderliche Drehmoment zum Starten des Verbrennungsmotors ist einerseits vom sog. Losbrechmoment und andererseits vom zur Überwindung der Kompressionen des Verbrennungsmotors erforderlichen Kompressionsmoment abhängig. Das Losbrechmoment entsteht an der Kurbelwelle, da bei der Überführung des ruhenden in ein rotierendes System die Haftreibung überwunden werden muss. Es ist bekannt, dass die Haftreibung i.d.R. größer als die Gleitreibung ist. Ist die Haftreibung überwunden, so "bricht" die Kurbelwelle los (daher Losbrechmoment) und es sinkt im Anschluss daran das benötigte Moment zur weiteren Beschleunigung der Kurbelwelle.

[0008] Mittels der Erfindung ist es möglich, durch Ausnutzung der dynamischen Eigenschaften des Riementriebs das Abtriebsmoment an der Kurbelwelle über das übersetzte Spitzenmoment des Startergenerators hinaus zu erhöhen. Hierdurch kann das Losbrechmoment der Kurbelwelle auch dann überwunden werden, wenn das übersetzte Spitzenmoment des Startergenerators allein nicht ausreichen würde. Durch den Einsatz von Startergeneratoren mit kleinerem Spitzenmoment können Platz, Gewicht und Kosten eingespart werden.

[0009] Ein über das übersetzte Antriebsmoment hinaus vergrößertes Abtriebsmoment wird erreicht, indem der Startergenerator beim Starten mit einem bestimmten Antriebsmomentverlauf beschleunigt wird. Vorzugsweise wird der Antriebsmomentverlauf in Abhängigkeit von der ersten Eigenfrequenz bzw. der ersten Eigenperiodendauer des Riementriebs vorgegeben, insbesondere so, dass die Beschleunigungsdauer, in der das Antriebsmoment an der Riemenscheibe des Startergenerators von Null auf den erwünschten Antriebsmomentwert erhöht wird, höchstens der doppelten, einfachen oder halben ersten Eigenperiodendauer entspricht.

[0010] Die DE 10 2012 203 374 A1 beschreibt ein Verfahren zum Vorspannen des Riemens vor dem Starten, wobei der Startergenerator allmählich und nicht wie sonst ruckartig Drehmoment aufbaut. Der Drehmomentverlauf wird dort jedoch im Gegensatz zur Erfindung nicht so vorgegeben, dass das Abtriebsmoment größer als das übersetzte Antriebsmoment ist. Vielmehr wird so beschleunigt, dass sich der Riemen allmählich spannt.

[0011] Vorzugsweise ist der Drehmomentverlauf zumindest abschnittsweise im Wesentlichen (d.h. im Rahmen üblicher Toleranzen) linear, d.h. hat einen bestimmten Drehmomentgradienten (d.h. Veränderung des Drehmoments pro Zeiteinheit) bzw. folgt einer Drehmomentrampe. Insbesondere bevorzugt ist der Drehmomentverlauf insgesamt, d.h. zwischen Null und dem erwünschten Antriebsmomentwert, im Wesentlichen linear.

[0012] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines Kraftfahrzeugs, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0013] Auch die Implementierung des Verfahrens in Form von Software ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere Disketten, Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, CD-ROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

[0014] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0015] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0016] Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0017] Fig. 1 zeigt schematisch eine Anordnung aus einem Verbrennungsmotor, einem riemengetriebenen Startergenerator und einem Bordnetz, wie sie der Erfindung zugrunde liegen kann.

[0018] Fig. 2 zeigt einen beispielhaften vom Startergenerator an der Riemenscheibe des Startergenerators erzeugten Antriebsmomentverlauf.

[0019] Fig. 3 zeigt einen beispielhaften Abtriebsmomentverlauf an der Kurbelwelle bzw. Riemenscheibe des Verbrennungsmotors von Beginn des Startens über das Losbrechen der Kurbelwelle bis zum anschließenden Beschleunigungsvorgang.

[0020] Fig. 4 zeigt unterschiedliche Abtriebsmomentverläufe an der Kurbelwelle bzw. Riemenscheibe des Verbrennungsmotors, die sich für unterschiedliche Antriebsmomentverläufe ergeben.

Ausführungsform(en) der Erfindung

[0021] In Fig. 1 ist schematisch eine Anordnung **200** aus einem Verbrennungsmotor **300**, einem riemengetriebenen Startergenerator **100** als elektrische Maschine und einem Bordnetz **30** dargestellt, anhand derer eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert wird.

[0022] Der Startergenerator weist eine Generatorkomponente **10** und eine Stromrichterkomponente **20** auf. Die Stromrichterkomponente wird im generatorischen Betrieb der Maschine üblicherweise als Gleichrichter, im motorischen Betrieb als Wechselrichter betrieben.

[0023] Der Verbrennungsmotor **300** ist an seiner Kurbelwelle **301** mit einer Riemenscheibe **302** ausgestattet und über einen Riemen **310** mit einer Riemenscheibe **11** des Startergenerators **100** verbunden, wobei hier ein als Pendelriemenspannsystem **320** ausgebildeter (optionaler) Riemenspanner vorgesehen ist, der den Riemen **310** im Betrieb unabhängig von der Momentenrichtung spannen kann. Der Riemetrieb aufweisend die Riemenscheibe **301**, die Riemenscheibe **11** und den üblicherweise als Keilriemen oder Keilrippenriemen ausgebildeten Riemen **11** stellt in Abhängigkeit vom Umfang der Riemenscheiben ein entsprechendes Übersetzungsverhältnis i bereit. Dementsprechend wird auch ein vom Startergenerator an die Riemenscheibe **11** abgegebenes Antriebsmoment M_0 in ein von der Riemenscheibe **302** an die Kurbelwelle **31** abgegebenes Abtriebsmoment $M_1 = M_0 \cdot i$ übersetzt und umgekehrt.

[0024] Zum Starten des Verbrennungsmotors **300** wird der Startergenerator **100** motorisch betrieben. Das elektrische Antriebsmoment M_0 des Startergenerators (siehe Fig. 2) teilt sich dabei in das Beschleunigungsmoment zur Überwindung der Trägheit der rotierenden Elemente (Rotor des Generators und daran angeschlossene Riemenscheibe **11** des Riemetriebs) sowie das über die Riemenscheibe **11** in den Riemen **310** eingebrachte Moment. Bis zum Losbrechen der Kurbelwelle **301** wird der Riemen **310** durch

seine Elastizität gespannt und die Kurbelwelle **301** bleibt in Ruhe. Nimmt der Rotor mit Riemenscheibe **11** keine Beschleunigungsarbeit mehr auf, ergibt sich ein Überschwingen des Abtriebsmoments M_1 , wie in **Fig. 3** gezeigt, da die Trägheit der rotierenden Elemente nun ihrerseits ein Moment in das System einbringt.

[0025] In **Fig. 2** ist in einem Diagramm ein beispielhafter linearer Verlauf des Antriebsmoments M_0 des Startergenerators **100** abgebildet. Zu einem Zeitpunkt t_0 wird das Antriebsmoments M_0 linear bis zu einem Zeitpunkt t_1 auf den erwünschten maximalen Antriebsmomentwert $M_{\max}$ erhöht. Der erwünschte Antriebsmomentwert $M_{\max}$ ist hier das Spitzenmoment, kann aber auch das maximale Dauermoment sein. Die Steigung, d.h. der Drehmomentgradient, bestimmt die Höhe des Überschwingens des Abtriebsmoments M_1 , wie in **Fig. 3** gezeigt.

[0026] In **Fig. 3** ist in einem Diagramm ein beispielhafter Verlauf des auf das übersetzte maximale Antriebsmoment $i \cdot M_{\max}$ normierten Abtriebsmoments M_1 an der Kurbelwelle **301** des Verbrennungsmotors **300** abgebildet. Beginnend mit dem Zeitpunkt 0 (entspricht t_0 in **Fig. 2**) steigt das Abtriebsmoment M_1 an. Das maximale Antriebsmoment $M_{\max}$ wird hier in etwa bei $t = 0,01$ erreicht. Bedingt durch die Dynamik des Riementriebs steigt jedoch das Abtriebsmoment weiter an und schwingt bis zum ca. 1,6-fachen des übersetzten Antriebsmoments ($i \cdot M_{\max}$) über. Dies reicht aus, dass die Kurbelwelle losbricht und beschleunigt. Das Abtriebsmoment nimmt entsprechend wieder ab und schwingt in Abhängigkeit von der Dämpfung des Systems (Riementrieb zusammen mit Verbrennungsmotor) aus.

[0027] In **Fig. 4** sind drei Verläufe **401**, **402** und **403** des auf das übersetzte maximale Antriebsmoment $i \cdot M_{\max}$ normierten Abtriebsmoments M_1 gegen die auf die 1. Eigenperiodendauer T_0 des Riementriebs normierte Zeit t aufgetragen. Dabei entspricht der Verlauf **401** einem Drehmomentgradienten von $M_{\max}/(0,2 T_0)$, der Verlauf **402** einem Drehmomentgradienten von $M_{\max}/(0,5 T_0)$ und der Verlauf **403** einem Drehmomentgradienten von $M_{\max}/(1,5 T_0)$. Es wird deutlich, dass die Höhe der Überschwinger mit dem Drehmomentgradienten abnimmt, d.h. je stärker beschleunigt wird, desto höher ist das erzielbare Spitzenabtriebsmoment. Insbesondere sollte bei einem linearen Antriebsmomentverlauf der Drehmomentgradient daher zumindest $M_{\max}/(0,5 T_0)$ betragen. Ein bevorzugter maximaler Drehmomentgradient kann z.B. mit $M_{\max}/(0,5 \mu s)$ angegeben werden, da bei noch stärkerer Beschleunigung keine signifikante Zunahme des Spitzenabtriebsmoments zu erwarten ist, und noch stärker beschleunigbare Motoren relativ robust sein müssen, was wiederum zu erhöhtem Platzbedarf und Kosten führt. Weiterhin kann eine derart schlagartige Beschleunigung ein Nachspannen eines vorzugswei-

se eingesetzten Riemenspanners verhindern und somit zum "Durchrutschen" des Keilrippenriemens und damit zum vorzeitigen Verschleiß des Keilrippenriemens führen.

[0028] Die Überhöhung ist abhängig von verschiedenen Größen des Riementriebs, die bei der Vorgabe des Antriebsmomentverlaufs, d.h. bei der Ansteuerung des Startergenerators, sinnvollerweise berücksichtigt werden.

[0029] Die Haupteinflussgrößen auf die Überhöhung sind:

- Länge L_R des Riementrums zwischen Startergenerator **100** und Kurbelwelle **301**
- Dehnsteifigkeit $E \cdot A$ des eingesetzten Riemens, wobei E dem E-Modul des Riemens und A dessen Querschnittsfläche entspricht.
- Trägheitsmoment J_{RSG} des Rotors des Startergenerators mit Riemenscheibe **11** und
- Gradient $M_{\max}/(t_1 - t_0)$ des Antriebsmoments

[0030] In einer Ausgestaltung dieser Erfindung gilt, dass die Beschleunigungsdauer $(t_1 - t_0)$ kleiner oder gleich dem Doppelten der Periodendauer T_0 der 1. Eigenfrequenz des Riementriebs sein soll. Eine untere Grenze für die Beschleunigungsdauer $(t_1 - t_0)$ kann beispielsweise, wie oben bereits erwähnt, $5 \mu s$ sein.

[0031] Die 1. Eigenfrequenz des Riementriebs hängt von den o.g. Parametern des Riementriebs ab.

[0032] Die Trägheitsmomente der Kurbelwelle bzw. des Verbrennungsmotors brauchen nicht berücksichtigt zu werden, da nur die Zeit bis zum Losbrechen der Kurbelwelle betrachtet wird.

[0033] Zur Ermittlung der Eigenfrequenz wird die Differentialgleichung des Riementriebs unter Vernachlässigung von Dämpfungseffekten aufgestellt:

$$J_{RSG} \cdot \ddot{\alpha}_{RSG} + \frac{E \cdot A}{2L_R} \cdot r_{RSG}^2 \cdot \alpha_{RSG} = 0$$

mit

r_{RSG} : Radius der Riemenscheibe **11**
 α_{RSG} : Winkelbeschleunigung

[0034] Die Eigenfrequenz f_0 ergibt sich hieraus zu:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{E \cdot A}{2L_R} \cdot \frac{r_{RSG}^2}{J_{RSG}}}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{T_0}$$

[0035] Sind gemäß alternativer Ausführungsformen im Riementrieb weitere Komponenten, wie z.B. Wasserpumpe oder Klimakompressor, angeordnet, kann dies durch Anpassung des Terms $2L_R$ berücksichtigt werden. Er kann beispielsweise auf die Summe der Trumlängen von Leer- und Lasttrum angepasst werden. Das entspricht in vielen Anwendungen näherungsweise der Gesamtlänge des Riemens.

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 102012203374 A1 [0010]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Starten eines Verbrennungsmotors (300) durch einen Startergenerator (100), die mittels eines Riemetriebes aufweisend eine Riemenscheibe (11) des Startergenerators (100), eine Riemenscheibe (301) des Verbrennungsmotors (300) und einen die Riemenscheiben drehmomentübertragend verbindenden Riemen (310) verbunden sind, wobei der Startergenerator (100) so betrieben wird, dass sein an die Riemenscheibe (11) des Startergenerators abgegebenes Antriebsmoment einen bestimmten Antriebsmomentverlauf hat, so dass zeitweise ein Abtriebsmoment an der Riemenscheibe (301) des Verbrennungsmotors (300) erzeugt wird, das unter Berücksichtigung eines Übersetzungsverhältnisses des Riemetriebes über dem Antriebsmoment des Startergenerators (100) liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Startergenerator (100) so betrieben wird, dass das Abtriebsmoment an der Riemenscheibe (301) des Verbrennungsmotors (300) zeitweise das Antriebsmoment des Startergenerators (100) unter Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnisses um mehr als 10%, 20%, 30%, 40% oder 50% übersteigt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Startergenerator (100) so betrieben wird, dass sein an die Riemenscheibe (11) des Startergenerators abgegebenes Antriebsmoment in einer bestimmten Beschleunigungsdauer von einem Nullmoment auf einen erwünschten Antriebsmomentwert ansteigt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Beschleunigungsdauer in Abhängigkeit von der ersten Eigenperiodendauer des Riemetriebes vorgegeben wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Beschleunigungsdauer höchstens der doppelten, einfachen oder halben ersten Eigenperiodendauer des Riemetriebes entspricht.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei die Beschleunigungsdauer mindestens 0,5 μ s beträgt.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Antriebsmomentverlauf zumindest abschnittsweise oder insgesamt linear ist.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der bestimmte Antriebsmomentverlauf in Abhängigkeit von wenigstens einer Größe vorgegeben wird, die ausgewählt ist aus der Gruppe, die eine Länge (L_R) eines Riementrums zwischen Riemenscheibe (11) des Startergenerators (100) und Riemenscheibe (301) des Verbrennungsmotors (300); eine Dehnsteifigkeit des Riemens (310); ein Trägheitsmoment der rotierenden Elementen-

te des Startergenerators (100) und der Riemenscheibe (11) des Startergenerators (100) und einen Radius der Riemenscheibe (11) des Startergenerators (100) umfasst.

9. Recheneinheit, die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.

10. Computerprogramm, das eine Recheneinheit dazu veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit ausgeführt wird.

11. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 10.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

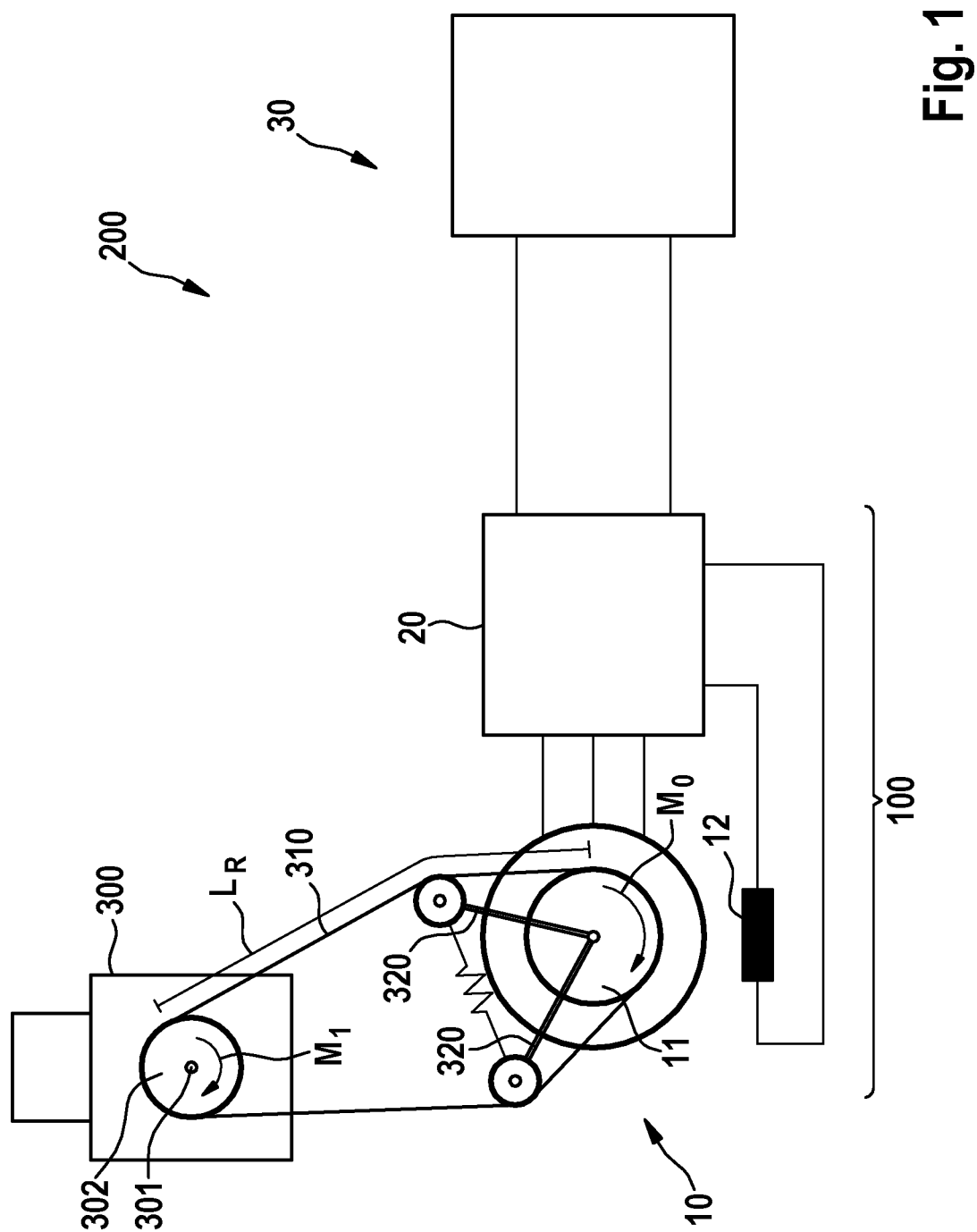


Fig. 1

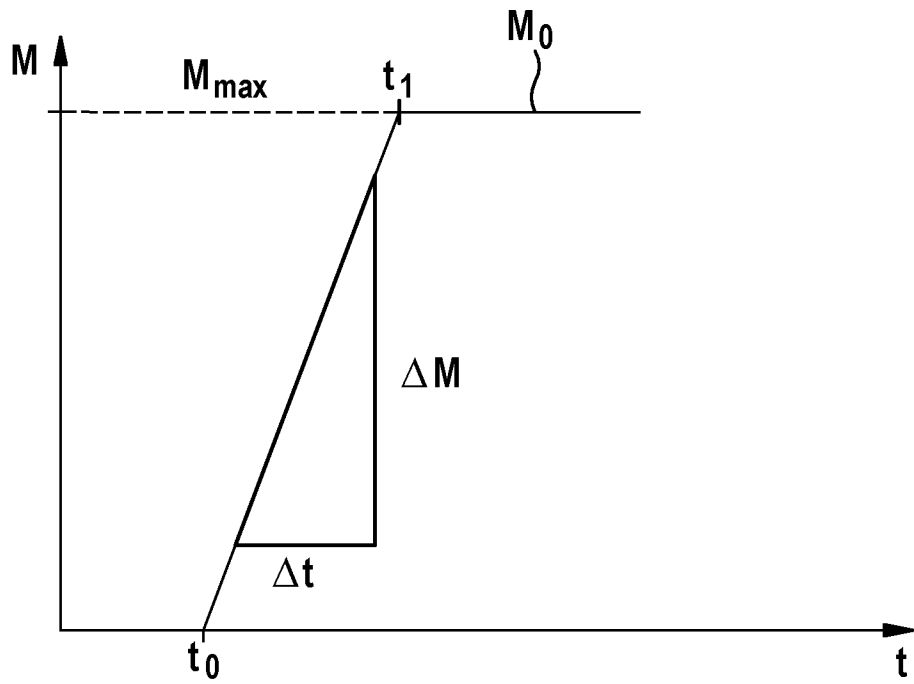


Fig. 2

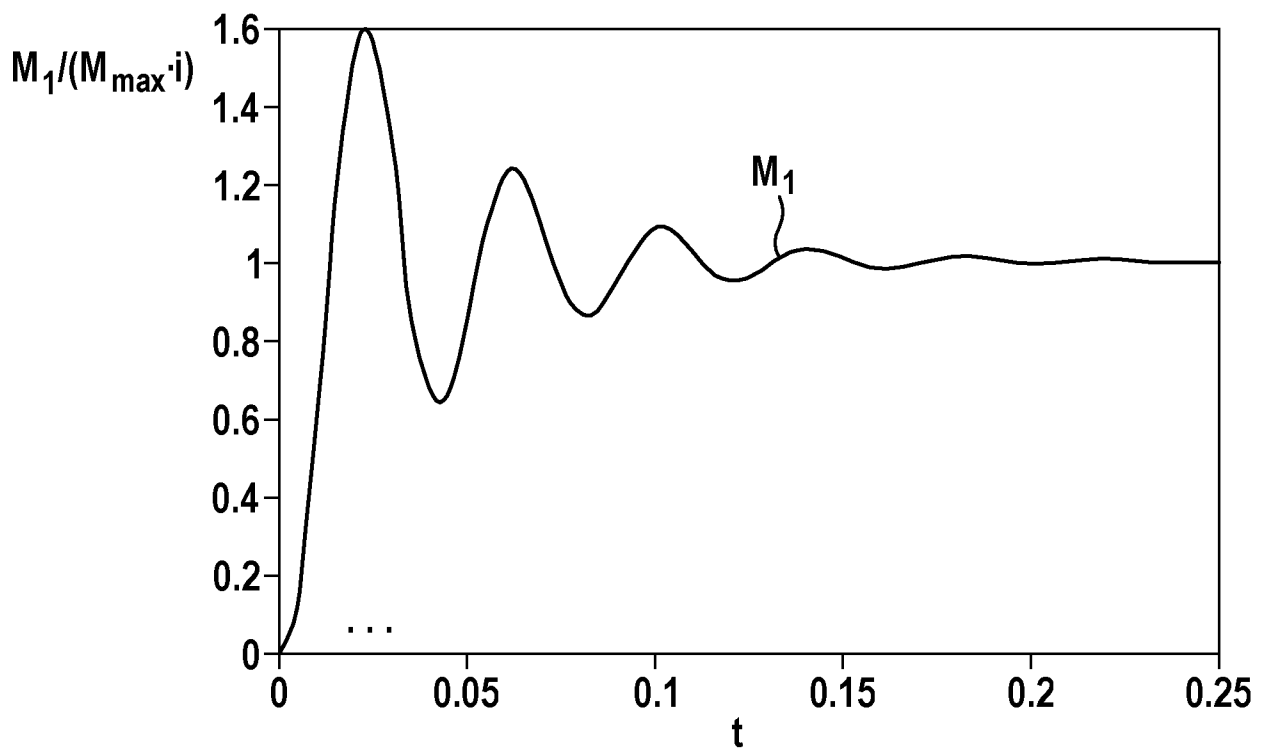


Fig. 3

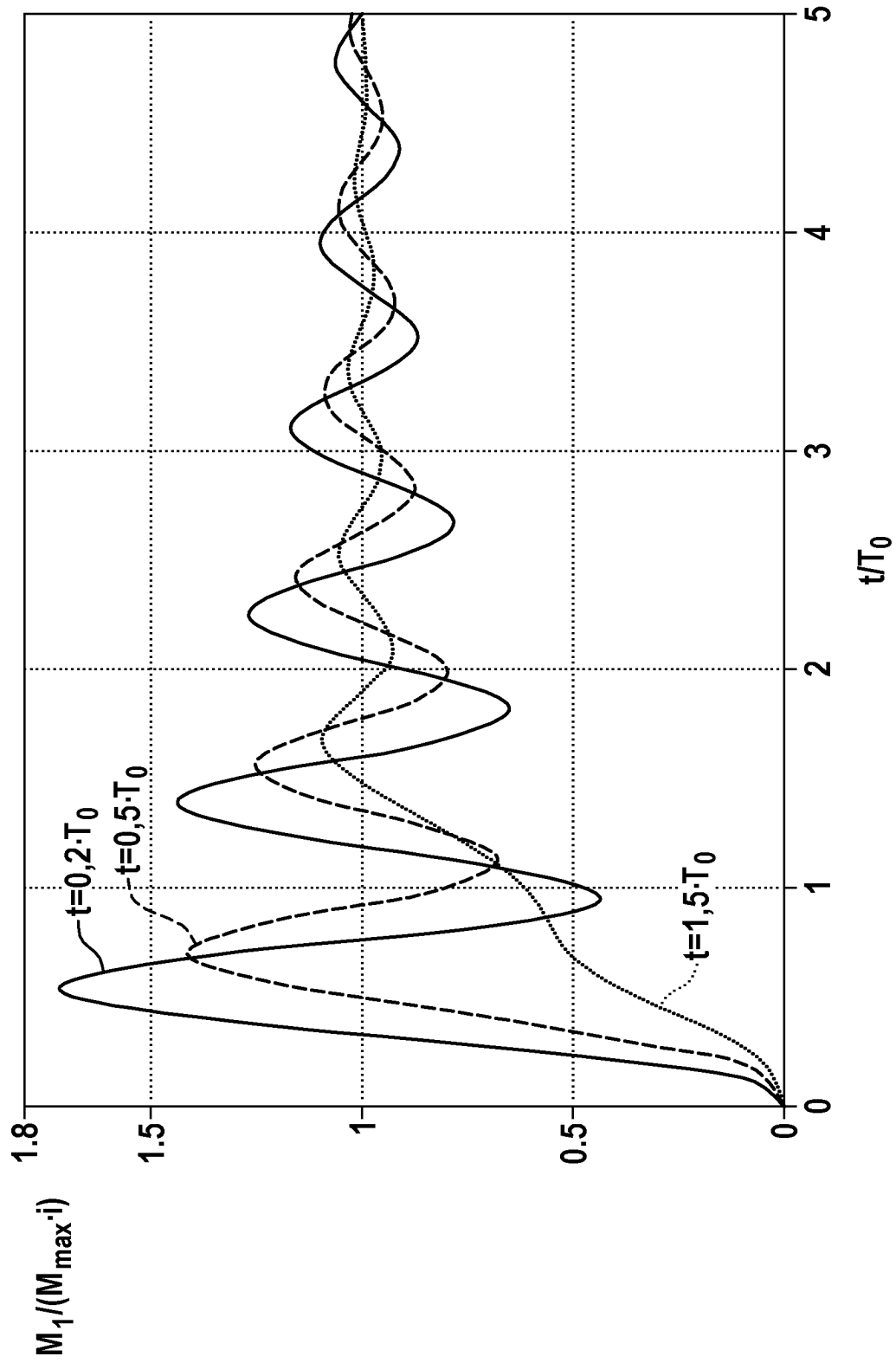


Fig. 4