

Patentschrift

(21)

(51)

(56)

(73)

(54)

(57)



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Starten einer Brennkraftmaschine eines Hybridfahrzeuges während zumindest einer rein elektrischen Antriebsbetriebsweise, wobei in zumindest einer Phase des Startens eine zwischen der Brennkraftmaschine und einer elektrischen Maschine angeordnete Kupplung zumindest teilweise geschlossen und die Brennkraftmaschine durch die elektrische Maschine mitgeschleppt wird.

[0002] Durch Nutzung der Hybridfunktionen (Stopp/Start, Rekuperieren, Lastpunktanhebung oder dergleichen) kann ein energieeffizientes Betreiben erreicht werden. Bei Hybridfahrzeugen, welche als Antriebsmaschinen eine Brennkraftmaschine und zumindest eine elektrische Maschine aufweisen, wird die Brennkraftmaschine häufig im Stillstand und während rein elektrischer Fahrt gestoppt.

[0003] Um während des Hybridstarts, also dem Starten der Brennkraftmaschine mittels der elektrischen Antriebsmaschine, eines eine Brennkraftmaschine und zumindest eine elektrische Maschine aufweisenden Parallel-Hybridantriebs ein konstantes Drehmoment am Rad zu gewährleisten, sind zwei Lösungen bekannt:

- [0004]** • Eine zweite im Antriebsstrang verbaute Kupplung in Schlupf bringen, wie zum Beispiel in der DE 10 2006 034 937 A1 beschrieben. Dabei wird vor dem Starten des Verbrennungsmotors das vom Elektromotor in den Antriebsstrang geleitete Drehmoment derart erhöht, dass in den Getriebeeingang nur das aktuelle Wunschmodent eingeleitet wird. Durch Ansteuern einer den Verbrennungsmotor mit dem Elektromotor verbindenden ersten Kupplung wird dem Antriebsstrang überschüssiges Drehmoment entzogen und in den Verbrennungsmotor zu dessen Beschleunigung eingeleitet. Bei Erreichen seiner Startdrehzahl wird der Verbrennungsmotor gezündet. Zur Reduzierung der Drehmomentenübertragung auf den Getriebeeingang wird eine den Elektromotor mit dem Getriebe verbindende zweite Kupplung derart angesteuert, dass in den Getriebeeingang nur das aktuelle Wunschmodent eingeleitet wird.
- [0005]** • Änderung des Übersetzungsverhältnisses, wie zum Beispiel in der DE 10 2011 002 742 A1 erläutert. Dabei wird zum Starten des Verbrennungsmotors die zwischen Verbrennungsmotor und elektrischer Maschine geschaltete Kupplung zumindest teilweise geschlossen und der Verbrennungsmotor über die elektrische Maschine angeschleppt. Parallel zum Starten des Verbrennungsmotors wird mit der Ausführung einer Rückschaltung im Schaltgetriebe dann begonnen, wenn eine Drehzahl des Verbrennungsmotors einen applizierbaren Grenzwert erreicht oder überschreitet.

[0006] Für beide diese Lösungen wird ein Automatikgetriebe, zum Beispiel CVT, Doppelkupplungsgetriebe, oder dergleichen, benötigt. Für ein manuell betriebenes Getriebe sind diese Lösungen nicht verwendbar, da die zweite Kupplung und das Übersetzungsverhältnis vom Fahrer manipuliert werden.

[0007] Aus der DE 10 2011 109 353 A1 ist ein Verfahren zum Betreiben eines schienenlosen Landfahrzeuges mit einer Verbrennungskraftmaschine sowie einem zur Anwahl unterschiedlicher Übersetzungen ausgelegten Getriebe bekannt, welches eingangsseitig mittels wenigstens einer Kupplung mit einer Ausgangswelle der Verbrennungskraftmaschine gekoppelt und ausgangsseitig mit den Antriebsrädern des Landfahrzeuges verbunden ist. In einem Segelbetrieb des Landfahrzeuges in welchem das Landfahrzeug mit ausgeschalteter Verbrennungskraftmaschine und geöffneter Kupplung antriebsfrei rollt, wird die Verbrennungskraftmaschine durch Schließen der Kupplung angeschleppt. Der Anschleppvorgang der Brennkraftmaschine beinhaltet folgende Schritte: In einem ersten Schritt wird die Kupplung aus ihrem geöffneten Zustand gesteuert mit einem ersten Momentgradienten wenigstens so weit geschlossen, bis ihr Kuppelungsmoment das Schleppmoment der Verbrennungskraftmaschine übersteigt. In einem zweiten Verfahrensschritt wird die Kupplung mit einem zweiten Momentgradienten wenigstens so weit geschlossen, bis die Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine eine Resonanzdrehzahl

eines zwischen der Kupplung und der Ausgangswelle der Verbrennungskraftmaschine angeordneten Zwei- Massen-Schwungrades übersteigt. In einem dritten Schritt wird die Kupplung in geregelter Weise vollständig so geschlossen, dass die Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine der eingangsseitigen Drehzahl des Getriebes sprungfrei angeglichen wird.

[0008] Die DE 198 14 402 A1 beschreibt ein Antriebssystem für ein Kraftfahrzeug mit einem Verbrennungsmotor und wenigstens einer elektrischen Maschine, wobei die Anfahrphase des Fahrzeuges so abläuft, dass das Fahrzeug anfangs allein durch die elektrische Maschine beschleunigt wird, der Verbrennungsmotor währenddessen gestartet wird und daraufhin den Antrieb des Fahrzeuges übernimmt. Ein ruckartiges Ankuppeln des Verbrennungsmotors soll dadurch vermieden werden, dass der Verbrennungsmotor, während die elektrische Maschine das Fahrzeug beschleunigt, mitgeschleppt wird, oder der Verbrennungsmotor in vom Antrieb entkoppelten Zustand zwecks Startens hochgedreht wird und bei Synchrondrehzahl mit dem Antrieb gekoppelt wird. Beim Mitschleppen des Verbrennungsmotors auftretende Drehmoment-schwankungen werden aktiv durch entgegengerichtete Drehmomente verringert, welche von einer elektrischen Maschine aufgebracht werden. Insbesondere werden die entgegengerichteten Drehmomente von der das Fahrzeug antreibenden elektrischen Maschine aufgebracht und dabei dem antreibenden Moment überlagert.

[0009] Weiters ist aus der DE 10 2006 047 655 A1 ein Verfahren zum Betreiben eines Parallel-Hybridantriebs eines Fahrzeugs mit einer elektrischen Maschine und einem Verbrennungsmotor bekannt, wobei im Fahrzustand des Fahrzeugs ein Start des Verbrennungsmotors mittels der elektrischen Maschine durch Schließen einer Trennkupplung durchgeführt wird. Dabei wird mindestens eine Betriebsgröße des Parallel-Hybridantriebs erfasst und mit einer entsprechenden Modellbetriebsgröße eines Modells des Parallel-Hybridantriebs verglichen, wobei das Modell den Verbrennungsmotor nicht umfasst. Die Differenz zwischen der gemessenen und der mit dem Modell berechneten Größe wird als Reglereinganggröße verwendet. Eine aus dem Vergleich resultierende Abweichung von der elektrischen Maschine wird somit zumindest teilweise ausgeglichen. Ein vorhersagender Ansatz ist hierbei nicht vorgesehen.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, die angesprochenen Nachteile zu vermeiden und bei einem Hybridfahrzeug auf einfache Weise einen ruckfreien Start der Brennkraftmaschine - insbesondere während der Fahrt - zu ermöglichen. Insbesondere soll dies auch bei Einsatz eines manuellen Schaltgetriebes möglich sein.

[0011] Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass die beim Mitschleppen der Brennkraftmaschine an zumindest einem Antriebsrad auftretenden Drehmomentschwankungen mittels eines Antriebsstrangmodells - vorzugsweise kontinuierlich - berechnet und für den gesamten Mitschleppvorgang der Brennkraftmaschine vorhergesagt werden, und dass die auftretenden Drehmomentschwankungen auf der Basis der vorhergesagten Drehmomentschwankungen aktiv durch zumindest ein entgegengerichtetes Drehmoment zumindest verringert, vorzugsweise eliminiert werden.

[0012] Vorzugsweise wird das entgegengerichtete Drehmoment von zumindest einer elektrischen Maschine aufgebracht.

[0013] Das - vorzugsweise auf einem Zwei- oder Mehrmassenschwingermodell beruhende - Antriebsstrangmodell verwendet als Eingangsgrößen die Drehmomente der elektrischen Maschine, der Brennkraftmaschine und/oder das Kupplungsmoment und berechnet als Ausgangsgröße eine vorhergesagte Differenzdrehzahl zwischen der elektrischen Maschine und zumindest einem Antriebsrad des Fahrzeuges, wobei eventuelle Drehzahlübersetzungen zwischen elektrischer Maschine und dem Antriebsrad mitberücksichtigt werden. Die Differenzdrehzahl bildet eine Reglereinganggröße eines Anti-Ruck-Reglers, dessen Reglerausgangsgröße das entgegengerichtete Drehmoment liefert.

[0014] Das Kupplungsmoment wird entsprechend dem schlupfenden oder nicht schlupfenden Kupplungszustand modelliert.

[0015] Zur Verringerung von Ungenauigkeiten des Antriebsstrangmodells kann weiters die

Modellausgangsgröße um einen definierten Vorhersagehorizont verzögert und mit einer gemessenen Größe verglichen werden und auf der Basis der Abweichung eine Fehlerberichtigung des Antriebsstrangmodells vorgenommen werden.

[0016] Die Modellausgangsgröße wird aufgrund von Totzeiten die im System vorherrschen, beispielsweise durch Kommunikation verzögert. Diese Totzeiten müssen bekannt sein. Dann wird die Modellgröße mit der Totzeit verzögert, sodass die Modellgröße mit der wahren gemessenen Größe verglichen werden kann. Aufgrund dieser Differenz wird das Modell adaptiert.

[0017] Um eine Verringerung des Drehmomentes am Antriebsrad während des Startvorganges zu verhindern, ist es besonders vorteilhaft, wenn das Kupplungsmoment der Trennkupplung während des Startens der Brennkraftmaschine vorhergesagt wird, solange sich die Trennkupplung im Schlupf befindet, und dass auf der Basis des vorhergesagten Kupplungsmomentes das Drehmoment der elektrischen Maschine vorgesteuert wird. Insbesondere wird dabei das Drehmoment der elektrischen Maschine um das vorhergesagte maximale Kupplungsmoment der Trennkupplung erhöht.

[0018] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können sehr geringe Startzeiten der Brennkraftmaschine - gemessen zwischen Initiierung bis zum Zeitpunkt der Antriebsübernahme durch die Brennkraftmaschine erreicht werden. Durch die implizierte Fehlerberichtigung weist das Verfahren eine hohe Robustheit gegen Störgrößen auf.

[0019] Dabei können Torsionsschwingungen im Antriebsstrang weitgehend verringert oder sogar vermieden werden.

[0020] Um den Verbrennungsmotor während reinelektrischer Fahrt zu starten, wird die Trennkupplung, die sich zwischen der Brennkraftmaschine und der elektrischen Maschine befindet, in einer definierten Weise geschlossen. Der Schließvorgang der Trennkupplung kann sich dabei in folgende drei Phasen unterteilen:

[0021] Erste Phase (Kupplungsimpuls): In der ersten Phase wird die Kupplung impulsförmig geschlossen und teilweise wieder geöffnet. In dieser Zeit soll die Brennkraftmaschine auf eine zündfähige Drehzahl (ca. 300 U/min) beschleunigt werden. Damit dies geschehen kann, muss das übertragene Kupplungsmoment größer als das Schleppmoment des Verbrennungsmotors sein. Grundsätzlich gilt: Je höher das übertragene Kupplungsmoment, desto schneller erreicht die Brennkraftmaschine eine zündfähige Drehzahl.

[0022] Zweite Phase (schlupfende Kupplung/ Drehzahlsynchronisation): In der zweiten Phase wird die Trennkupplung im Schlupf betrieben, bis die Drehzahl der Brennkraftmaschine annähernd die Drehzahl der elektrischen Maschine erreicht hat. Die Kupplung bleibt dabei teilweise geschlossen, um den Synchronisationsvorgang zu beschleunigen.

[0023] Dritte Phase (vollständiges Schließen der Trennkupplung): Ist die Differenzdrehzahl zwischen der Brennkraftmaschine und der elektrischen Maschine kleiner oder gleich einem applizierbaren Parameter, wird die Trennkupplung vollständig geschlossen. Damit das Radrehmoment in diesem Zeitraum dem Fahrerwunsch entspricht und keine/kaum Torsionsschwingungen in den Triebstrang induziert werden, ist ein Steuerungs-/Regelungskonzept notwendig.

[0024] Die Erfindung weist also folgende Aspekte auf:

[0025] 1.) Vorsteuerung der elektrischen Maschine

[0026] Das Kupplungsmoment der Trennkupplung wird über die elektrische Maschine vorgesteuert, so lange die Kupplung schlupft. Hintergrund: Wenn die Kupplung geschlossen wird und schlupft, überträgt die Trennkupplung ihr maximales Drehmoment in Abhängigkeit von ihrer Schließkraft in Richtung negativer Drehzahlgradienten, also in Richtung der Brennkraftmaschine. Wird dem nicht entgegengewirkt, würde sich das Raddrehmoment verringern. Abhilfe: Vorsteuerung des Kupplungsmomentes über den Elektromotor.

[0027] Ansatz: Ist die Kupplungskennlinie und die Übertragungsfunktion der Trennkupplung

bekannt, kann das übertragene Kupplungsmoment vorhergesagt werden, so lange sich die Kupplung in Schlupf befindet. Kennt man das Kupplungsmoment, kann man dieses mit Hilfe der elektrischen Maschine vorsteuern. Dies gewährleistet, dass das Raddrehmoment dem Fahrerwunsch entspricht.

[0028] Ungenauigkeiten im Kupplungsmodell (Kupplungskennlinie + Übertragungsfunktion) und Verschleißerscheinungen der Kupplung können dazu führen, dass die elektrische Maschine ein falsches Drehmoment vorsteuert. Dies würde zu Triebstrangschwingungen führen. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, ist parallel zur Vorsteuerung des Kupplungsmomentes ein vorhersagender Anti-Ruck-Regler aktiv.

[0029] Dieser kann in den ersten und zweiten Phasen des Startvorganges eingesetzt werden.

[0030] 2.) Vorhersagende Anti-Ruck-Regelung

[0031] Die vorhersagende Anti-Ruck Regelung dient dazu um Längsschwingungen des Fahrzeuges zu vermeiden/verringern. Hintergrund: Ändern sich die Drehmomente im Antriebsstrang mit hohem Gradienten, werden Torsionsschwingungen in den Triebstrang induziert. Dabei schwingt der Antriebsmotor gegen die reduzierte Massenträgheit von Rad und Karosserie. Diese Torsionsschwingungen äußern sich für die Fahrzeuginsassen in Längsschwingungen des Fahrzeuges.

[0032] Abhilfe: Vorhersagende Anti-Ruck-Regelung

[0033] Ansatz: Ein Indikator für den Ruck ist die Differenzdrehzahl zwischen Antriebsrad und Antriebsmotor (elektrische Maschine). Genauer, die Differenzdrehzahl ist proportional zum Ruck. Somit ist es sinnvoll die Differenzdrehzahl als Reglereinganggröße zu verwenden. Damit die Torsionsschwingungen möglichst schon im Ansatz eliminiert werden können, bietet sich eine vorhersagende Regelung an. Um dies zu realisieren, ist es notwendig ein Modell des Antriebsstranges im Steuergerät mitzurechnen. Dieses Modell ist ein Zwei- oder Mehrmassenschwinger. Dieses Modell verwendet je nach Komplexität als Eingangsgrößen: Das Drehmoment der elektrischen Maschine, der Brennkraftmaschine, und/oder das Kupplungsmoment und liefert als Ausgangsgröße die geschätzte Differenzdrehzahl zwischen Elektromotor und Rad. Sind alle Eingangsgrößen und Zustände des Modells zum Zeitpunkt $k=n$ bekannt, so kann die Bewegung (Differenzdrehzahl) des Antriebsstranges für den Zeitpunkt $k=n+j$ vorhergesagt werden (j : Vorhersagehorizont). Diese vorhergesagte Bewegung wird als Reglereinganggröße verwendet.

[0034] Somit kann mit Hilfe des Modells der Ruck stark verringert werden, da er vorhergesagt wird. Gestellt wird dieses entgegengerichtete Drehmoment über die elektrische Maschine, da sie ein sehr schnelles Ansprechverhalten hat. Es ist aber auch denkbar über die Brennkraftmaschine das gegengerichtete Drehmoment aufzubringen.

[0035] Je nach Modell (Zwei- oder Mehrmassenschwinger) wird das aktuell übertragene Trennkupplungsmoment als Eingangsgröße für das Modell benötigt. Wird diese Größe nicht von einem der Steuergeräte (z.B. dem Getriebesteuergerät) geliefert, kann diese Größe über eine der Zustands- bzw. Ausgangsgrößen des Massenschwingermodells berechnet werden. Hierzu wird eine der Winkelgeschwindigkeiten (Brennkraftmaschine, elektrische Maschine, Antriebsrad) herangezogen und differenziert. Über simple Bewegungsgleichungen kann dann das Trennkupplungsmoment geschätzt werden. Dieses geschätzte Trennkupplungsmoment wird dann als Eingangsgröße für das Bewegungsmodell des Antriebsstranges verwendet.

[0036] Das Modell des Antriebsstranges ist bevorzugt linear, um Komplexität und Rechenaufwand zu verringern. Der Antriebsstrang an sich ist jedoch nichtlinear. Außerdem wird das geschätzte Kupplungsmoment der Trennkupplung als Eingangsgröße für das Antriebsstrangmodell verwendet. Um die Modellungenauigkeiten zu verringern, wird eine Adaption des Antriebsstrangmodells vorgenommen. Hierzu wird die Modellausgangsgröße um den Vorhersagehorizont ($j \cdot \text{Abtastzeit}$) verzögert und dann mit der gemessenen Größe verglichen. Über diesen berechneten Modellfehler wird das Antriebsstrangmodell adaptiert.

[0037] Die prädiktive Anti-Ruck-Regelung mit Adaption des Antriebsstrangmodells kann in den

ersten, zweiten und/oder dritten Phasen des Startvorganges angewendet werden.

[0038] Die Erfindung wird an Hand der Figuren näher erläutert.

[0039] Es zeigen

- [0040]** Fig. 1 schematisch einen Antriebsstrang zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0041]** Fig. 2a den qualitativen Verlauf ohne Regelung des Drehmomentes der Brennkraftmaschine und der elektrischen Maschine während eines Impulsstartes,
- [0042]** Fig. 2b den Verlauf des maximal übertragbaren Kupplungsmomentes der Trennkupplung während eines Impulsstartes,
- [0043]** Fig. 2c den Verlauf der Winkelgeschwindigkeit der Brennkraftmaschine und der elektrischen Maschine während eines Impulsstartes,
- [0044]** Fig. 3a die simulierten Verläufe der Drehmomente der Brennkraftmaschine und der elektrischen Maschine, sowie das Kupplungsmoment der Trennkupplung während eines Impulsstartes, ohne Anti-Ruck-Regelung bzw. - Steuerung,
- [0045]** Fig. 3b den simulierten Verlauf der Fahrzeuglängsbeschleunigung während eines Impulsstartes, ohne Anti-Ruck-Regelung bzw. - Steuerung,
- [0046]** Fig. 3c die simulierten Verläufe der Drehzahlen der Brennkraftmaschine und der elektrischen Maschine während eines Impulsstartes, ohne Anti-Ruck-Regelung bzw. - Steuerung,
- [0047]** Fig. 4 ein Modell des Antriebsstranges,
- [0048]** Fig. 5 die Gesamtstruktur der Regelung des Hybridantriebsstranges und
- [0049]** Fig. 6a einen Vergleich der simulierten Verläufe der Drehmomente der elektrischen Maschine während eines Impulsstartes, mit und ohne Anti-Ruck-Regelung bzw. - Steuerung,
- [0050]** Fig. 6b einen Vergleich der simulierten Verläufe der Fahrzeuglängsbeschleunigungen während eines Impulsstartes, mit und ohne Anti-Ruck-Regelung bzw. - Steuerung,
- [0051]** Fig. 6c einen Vergleich der simulierten Verläufe der Drehzahlen der elektrischen Maschine während eines Impulsstartes, mit und ohne Anti-Ruck-Regelung bzw. - Steuerung.

[0052] Fig. 1 zeigt einen Parallelhybrid-Antriebsstrang 8 eines Fahrzeuges mit einer Brennkraftmaschine 1, einer Trennkupplung 2, einer elektrischen Maschine 3, einer Anfahrkupplung 4, einem Getriebe 5, und einem Differential 6, welches auf Antriebsräder 7 einwirkt. Bei rein elektrischem Antrieb des Fahrzeuges durch die elektrische Maschine 3 ist die Trennkupplung 2 geöffnet und die Brennkraftmaschine 1 deaktiviert.

[0053] Wird die Brennkraftmaschine 1 durch die elektrische Maschine 3 zum Beispiel während einer rein elektrisch angetriebenen Fahrt gestartet, so läuft der Startvorgang in folgenden drei Phasen I, II, III ab, wie in Fig. 2 gezeigt ist:

[0054] Erste Phase I: (Kupplungsimpuls): In der ersten Phase I wird die Trennkupplung 2 impulsartig geschlossen und danach teilweise wieder geöffnet. In dieser Zeit soll die Brennkraftmaschine 1 auf eine zündfähige Drehzahl (ca. 300 U/min) bzw. Winkelgeschwindigkeit ω_z beschleunigt werden. Damit dies geschehen kann, muss das übertragene Kupplungsmoment M_{TK} größer als das Schleppmoment M_{VK} der Brennkraftmaschine 1 sein. Grundsätzlich gilt: Je höher das übertragene Kupplungsmoment M_{TK} , desto schneller erreicht die Brennkraftmaschine 1 eine zündfähige Drehzahl.

[0055] Zweite Phase II: (schlupfende Trennkupplung 2/ Drehzahlsynchronisation): In der zweiten Phase II wird die Trennkupplung 2 im Schlupf betrieben, bis die Drehzahl der Brennkraftmaschine 1 annähernd die Drehzahl der elektrischen Maschine 3 erreicht hat. Die Trennkupplung 2 bleibt dabei teilweise geschlossen, um den Synchronisationsvorgang zu beschleunigen.

[0056] Dritte Phase III (vollständiges Schließen der Trennkupplung 2): Ist die Differenzdrehzahl zwischen der Brennkraftmaschine 1 und der elektrischen Maschine 3 kleiner oder gleich einem applizierbaren Parameter, wird die Trennkupplung 2 vollständig geschlossen. Damit das Rad-drehmoment in diesem Zeitraum dem vom Fahrer vorgegebenen Wunschantriebsdrehmomentes M_F entspricht und keine/kaum Torsionsschwingungen in den Triebstrang induziert werden, ist ein Steuerungs-/Regelungskonzept notwendig.

[0057] In Fig. 3 wird ein Hybridstart ohne Anti-Ruck-Steuerung/Regelung simuliert, wobei in Fig. 3a das Drehmoment M_{VM} der Brennkraftmaschine 1, das Drehmoment M_{EM} der elektrischen Maschine 3 und das Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 über der Zeit t aufgetragen sind. In Fig. 3b ist der Verlauf der Fahrzeuglängsbeschleunigung a und in Fig. 3c die Verläufe der Drehzahl n_{VM} der Brennkraftmaschine 1, der Drehzahl n_{EM} der elektrischen Maschine 3, und der Übersetzungsverhältnisbereinigten Drehzahl n_{Rad} dargestellt.

[0058] Fig. 4 zeigt ein Ersatzmodell 9 (Antriebsstrangmodell) des Antriebsstranges 8, welches dem folgenden Zustandsraummodell aus Bewegungsgleichungen zu Grunde gelegt ist:

$$\dot{\underline{x}} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{i_g} & -1 \\ -\frac{c}{i_g \cdot J_{EM}} & \frac{d}{i_g^2 \cdot J_{EM}} & \frac{d}{i_g \cdot J_{EM}} \\ \frac{c}{J_2} & \frac{d}{i_g \cdot J_2} & \frac{d+d_2}{J_2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\varphi_{EM}}{i_g} - \varphi_{RAD} \\ \omega_{EM} \\ \omega_{Rad} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot (M_{EM} + M_{TK})$$

$$y = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{i_g} & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\varphi_{EM}}{i_g} - \varphi_{RAD} \\ \omega_{EM} \\ \omega_{Rad} \end{pmatrix}$$

$$\underline{x}(0) = \underline{x}_0$$

[0059] wobei mit

[0060] φ_{VM} ...der Drehwinkel der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine 1

[0061] ω_{VM} ...die Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine 1

[0062] J_{VM} ...das Massenträgheitsmoment der Brennkraftmaschine 1

[0063] φ_{EM} ...der Drehwinkel des Rotors der elektrischen Maschine 3

[0064] ω_{EM} ...die Winkelgeschwindigkeit des Rotors der elektrischen Maschine 3

[0065] J_{EM} ...das Massenträgheitsmoment der elektrischen Maschine 3

[0066] φ_{Rad} ...der Drehwinkel eines Antriebsrades 7 des Fahrzeuges

[0067] ω_{Rad} ...die Winkelgeschwindigkeit eines Antriebsrades 7 des Fahrzeuges

[0068] J_2 ...das Massenträgheitsmoment eines Antriebsrades 7 des Fahrzeuges

[0069] i_g ...das reduzierte Massenträgheitsmoment des Getriebes 5

[0070] c ...eine erste Federkonstante des Antriebsstranges 8

[0071] d...eine erste Dämpfungskonstante des Antriebsstranges 8

[0072] c_2 ...eine zweite Federkonstante des Antriebsstranges 8

[0073] d_2 ...eine zweite Dämpfungskonstante des Antriebsstranges 8

[0074] x_0 ...die Anregung in x-Richtung (Fahrzeuglängsrichtung)

[0075] y...die Anregung in einer y-Richtung (Querrichtung zur Fahrzeuglängsachse)

[0076] bezeichnet ist.

[0077] In Fig. 5 ist die Gesamtstruktur der Regelung schematisch dargestellt. Durch den Fahrer 10 wird ein Wunschantriebsdrehmoment M_F vorgegeben. Es kommt in 11 zu einer Aufteilung des Wunschantriebsdrehmomentes M_F in ein Antriebsdrehmoment M_{VM} der Brennkraftmaschine 1 und in ein Antriebsdrehmoment M_{EM} der elektrischen Maschine 3.

[0078] Das erfindungsgemäße Verfahren sieht zwei Mechanismen vor, um einen ruckfreien Start der Brennkraftmaschine zu ermöglichen: Vorsteuerung und Anti-Ruck- Regelung.

[0079] 1.) Vorsteuerung

[0080] Bei einem Impulsstart der Brennkraftmaschine wird das Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 über die elektrische Maschine 3 vorgesteuert, so lange die Trennkupplung 2 schlupft. Wenn die Trennkupplung 2 geschlossen wird und die Brennkraftmaschine 1 noch kein Drehmoment M_{VM} abgeben kann (da noch nicht gezündet), überträgt die Trennkupplung 2 ihr maximales Drehmoment M_{TK} (in Abhängigkeit der Schließkraft) in Richtung des Brennkraftmaschine 1. Wird dem nicht entgegengewirkt, würde sich das Drehmoment M_{Rad} des Antriebsrades 7 verringern. Um dies zu vermeiden, wird das Kupplungsmoment M_{TK} über die elektrische Maschine 3 vorgesteuert, indem über die Vorsteuerung 15 ein Vorsteuermoment M_{TKV} angefordert wird. Dies kann - wenn die Kupplungskennlinie und die Übertragungsfunktion der Trennkupplung 2 bekannt sind - dadurch geschehen, dass das übertragene Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 vorhergesagt wird, so lange sich die Trennkupplung 2 in Schlupf befindet. Kennt man das Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2, kann man dieses mit Hilfe der elektrischen Maschine 3 vorsteuern. Dies gewährleistet, dass das Raddrehmoment M_{Rad} ungefähr dem Fahrerwunschkmoment M_F entspricht.

[0081] Ungenauigkeiten im Kupplungsmodell 12 (Kupplungskennlinie + Übertragungsfunktion) und Verschleißerscheinungen der Trennkupplung 2 können allerdings dazu führen, dass die elektrische Maschine 3 ein falsches Drehmoment vorsteuert. Dies würde zu Triebstrangschwingungen führen. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, ist parallel zur Vorsteuerung des Kupplungsmomentes 2 ein vorhersagender Anti-Ruck-Regler 13 aktiv. Der Anti-Ruck-Regler 13 verwendet das erwähnte Antriebsstrangmodell 9, sowie ein mathematisches Kupplungsmodell 12 zur Berechnung des Kupplungsmomentes M_{TK} der Trennkupplung 2, beispielsweise ein Zwei- oder Mehrmassenschwingermodell.

[0082] Die Vorsteuerung des Kupplungsmomentes kann in den Kupplungsphasen 1 und 2 eingesetzt werden.

[0083] 2.) Vorhersagende Anti-Ruck-Regelung

[0084] Die vorhersagende Anti-Ruck Regelung wird durchgeführt, um Längsschwingungen des Fahrzeuges entlang der Längsachse x zu vermeiden bzw. zu verhindern. Ändern sich die Drehmomente im Antriebsstrang 8 mit hohem Gradienten, werden Torsionsschwingungen in den Antriebsstrang 8 induziert. Dabei schwingt der Antriebsmotor (elektrische Maschine 3) gegen die reduzierte Massenträgheit von Antriebsrad 7 und Karosserie. Diese Torsionsschwingungen äußern sich für die Fahrzeuginsassen in Längsschwingungen (Rucken) des Fahrzeuges.

[0085] Ein Indikator für den Ruck ist die Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ zwischen Antriebsrad und elektrischer Maschine 3, wobei die Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ proportional zum Ruck ist. Somit ist es sinnvoll die Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ als Reglereingangsgröße für den Anti-Ruck-

Regler 13 zu verwenden. Damit die Torsionsschwingungen möglichst schon im Ansatz eliminiert werden können, wird beim erfindungsgemäßen Verfahren eine vorhersagende Regelung durchgeführt. Um dies zu realisieren, ist es notwendig ein Antriebsstrangmodell 9 im Steuergerät 14 mitzurechnen. Dieses Antriebsstrangmodell 9 ist im Wesentlichen ein Zwei- oder Mehrmassenschwinger und verwendet - je nach Komplexität - als Eingangsgrößen das Drehmoment M_{EM} der elektrischen Maschine 3, das Drehmoment M_{VM} der Brennkraftmaschine 1, und/oder das Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung TK und liefert als Ausgangsgröße die - gesamtübersetzungsverhältnisbereinigte - geschätzte vorhergesagte Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ bzw. vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit $\Delta \omega_{EM \rightarrow Rad}$ zwischen elektrischer Maschine 3 und Antriebsrad 7. Sind alle Eingangsgrößen und Zustände des Antriebsmodells 9 zum Zeitpunkt $k=n$ bekannt, so kann die Bewegung (vorhergesagte Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ bzw. vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit $\Delta \omega_{EM \rightarrow Rad}$) des Antriebsstranges 8 für den Zeitpunkt $k=n+j$ vorhergesagt werden (j : Vorhersagehorizont). Diese vorhergesagte Bewegung (vorhergesagte Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ bzw. vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit $\Delta \omega_{EM \rightarrow Rad}$) wird als Reglereingangsgröße für den Anti-Ruck-Regler 13 verwendet.

[0086] Somit kann mit Hilfe des Antriebsstrangmodells 9 der Ruck stark verringert werden, da er vorhergesagt wird. Gestellt wird dieses entgegengerichtete Korrekturdrehmoment M_{Korr} über die elektrische Maschine 3, da sie ein sehr schnelles Ansprechverhalten hat. Es ist aber auch denkbar über die Brennkraftmaschine 1 das gegengerichtete Korrekturdrehmoment M_{Korr} aufzubringen.

[0087] Je nach Antriebsstrangmodell 9 (Zwei- oder Mehrmassenschwinger) wird das aktuell übertragene Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 als Eingangsgröße für das Antriebsstrangmodell 9 benötigt. Wird diese Größe nicht von einem der Steuergeräte (z.B. dem Getriebesteuergerät) geliefert, kann diese Größe über eine der Zustands- bzw. Ausgangsgrößen des durch ein Massenschwingermodell gebildeten Kupplungsmodells 12 berechnet werden. Hierzu wird eine der Winkelgeschwindigkeiten ω_{VM} , ω_{EM} , ω_{Rad} der Brennkraftmaschine 1, der elektrischen Maschine 3 oder des Antriebsrads 7 herangezogen und differenziert. Über Bewegungsgleichungen kann dann das Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 geschätzt werden. Dieses geschätzte Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 wird dann als Eingangsgröße für das Antriebsstrangmodell 9 verwendet.

[0088] Das Antriebsstrangmodell 9 ist linear. Der Antriebsstrang 8 an sich ist jedoch nichtlinear. Außerdem wird das geschätzte Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 als Eingangsgröße für das Antriebsmodell 9 verwendet. Um die Modellungenauigkeiten zu verringern, wird eine Adaption des Antriebsstrangmodells 9 vorgenommen (Referenz: Luenberger Beobachter 16). Hierzu wird die Modellausgangsgröße (vorhergesagte Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ bzw. vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit $\Delta \omega_{EM \rightarrow Rad}$) im Totzeitglied 17 um den Vorhersagehorizont ($j \cdot \text{Abtastzeit}$) verzögert und dann mit der gemessenen Größe (aktuelle Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad,akt}$ bzw. Differenzwinkelgeschwindigkeit $\Delta \omega_{EM \rightarrow Rad,akt}$) verglichen. Über diesen berechneten Modellfehler e wird das Antriebsstrangmodell 9 adaptiert.

[0089] Die auftretenden Drehmomentschwankungen auf der Basis der vorhergesagten Drehmomentschwankungen können somit aktiv durch zumindest ein entgegengerichtetes Drehmoment zumindest verringert, vorzugsweise eliminiert werden.

[0090] Die vorhergesagte Anti-Ruck-Regelung mit Adaption des Antriebsstrangmodells 9 kann in den Phasen I, II, und/oder III angewendet werden.

[0091] Im Falle eines Impulsstarts der Brennkraftmaschine 1 durch die elektrische Maschine 3 werden die beim Mitschleppen der Brennkraftmaschine 1 auftretenden Drehmomentschwankungen mittels des Antriebsstrangmodells 9 berechnet und für den gesamten Mitschleppvorgang der Brennkraftmaschine 1 vorhergesagt. Das Antriebsstrangmodell 9 verwendet als Eingangsgrößen das Drehmoment M_{EM} der elektrischen Maschine 3 und das Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2, wobei das Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 mittels eines Kupplungsmodells 12 auf der Basis des Drehmoments M_{EM} der elektrischen Maschine 3 und der durch das Antriebsstrangmodell 9 ermittelten Längsanregung x_{k+j} zum Zeitpunkt $k+j$ be-

rechnet wird. Als Ausgangsgröße sagt das Antriebsstrangmodell 9 eine - hinsichtlich des Gesamtübersetzungsverhältnis zwischen elektrischer Maschine 3 und Antriebsrad 7 bereinigte - vorhergesagte Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ bzw. eine vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit $\Delta \omega_{EM \rightarrow Rad}$ zwischen der elektrischen Maschine 3 und zumindest einem Antriebsrad 7. Die vorhergesagte Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ bzw. die vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit $\Delta \omega_{EM \rightarrow Rad}$ wird dem Regler 13 zugeführt, welcher daraus ein Korrekturdrehmoment M_{Korr} berechnet, welches den beim Mitschleppen der Brennkraftmaschine 1 auftretenden Drehmomentschwankungen entgegengerichtet ist.

[0092] Zur Verringerung von Ungenauigkeiten des Antriebsstrangmodells 9 wird die Modellausgangsgröße vorhergesagte Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ bzw. eine vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit $\Delta \omega_{EM \rightarrow Rad}$ um einen definierten Vorhersagehorizont j verzögert und mit einer gemessenen Größe vorhergesagte Differenzdrehzahl $\Delta n_{EM \rightarrow Rad}$ bzw. eine vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit $\Delta \omega_{EM \rightarrow Rad, akt}$ verglichen und auf der Basis der Abweichung eine Fehlerberichtigung des Antriebsstrangmodells 9 vorgenommen.

[0093] Weiters kann eine Verringerung des Drehmomentes M_{Rad} am Antriebsrad 7 während des Startvorganges verhindert werden, wenn das Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 während des Startens der Brennkraftmaschine 1 vorhergesagt wird, solange sich die Trennkupplung 2 im Schlupf befindet, und dass auf der Basis des vorhergesagten Kupplungsmomentes M_{TK} das Drehmoment der elektrischen Maschine 3 vorgesteuert wird, wobei beispielsweise das Drehmoment M_{EM} der elektrischen Maschine 3 um das vorhergesagte maximale Kupplungsmoment M_{TK} der Trennkupplung 2 erhöht wird. Dadurch kann eine Verringerung des Drehmomentes am Antriebsrad 7 durch Momentabfluss zur Brennkraftmaschine 1 kompensiert werden.

[0094] In Fig. 6 ist ein Impulsstart mit Anti-Ruck-Regelung bzw. - Steuerung 13 einem Impulsstart ohne Anti-Ruck-Regelung bzw. - Steuerung 14 gegenübergestellt, wobei jeweils in Fig. 6a das Drehmoment M_{EM} der elektrischen Maschine 3, in Fig. 6b die Fahrzeuglängsbeschleunigung a und in Fig. 6c die Drehzahl n_{EM} der elektrischen Maschine 3 über der Zeit t aufgetragen ist. Die strichlierte Linie zeigt jeweils den Verlauf ohne Anti-Ruck-Regelung, die durchgezogene Linie mit vorhersagender Anti-Ruck-Regelung. Deutlich ist in Fig. 6b zu sehen, dass die Fahrzeuglängsbeschleunigung a mit der erfindungsgemäßen vorhersagenden Anti-Ruck-Regelung - bzw. Steuerung 13 wesentlich reduziert werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Starten einer Brennkraftmaschine (1) eines Hybridfahrzeuges während zumindest einer rein elektrischen Antriebsbetriebsweise, wobei in zumindest einer Phase des Startens eine zwischen der Brennkraftmaschine (1) und einer elektrischen Maschine (3) angeordnete Trennkupplung (2) zumindest teilweise geschlossen und die Brennkraftmaschine (1) durch die elektrische Maschine (3) mitgeschleppt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beim Mitschleppen der Brennkraftmaschine (1) an zumindest einem Antriebsrad (7) auftretenden Drehmomentschwankungen mittels eines Antriebsstrangmodells (9) - vorzugsweise kontinuierlich - berechnet und für den gesamten Mitschleppvorgang der Brennkraftmaschine (1) vorhergesagt werden, und dass die auftretenden Drehmomentschwankungen auf der Basis der vorhergesagten Drehmomentschwankungen aktiv durch zumindest ein entgegengerichtetes Korrekturdrehmoment (M_{Korr}) zumindest verringert, vorzugsweise eliminiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das entgegengerichtete Drehmoment von zumindest einer elektrischen Maschine (3) aufgebracht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das - vorzugsweise auf einem Zwei- oder Mehrmassenschwingermodell beruhende - Antriebsstrangmodell (9) als Eingangsgröße zumindest eine Größe aus der Gruppe Drehmoment (M_{EM} , M_{VM}) der elektrischen Maschine (3), Drehmoment (M_{VM}) der Brennkraftmaschine (1) und Kupplungsmoment (M_{TK}) der Trennkupplung (2) verwendet und als Ausgangsgröße eine vorhergesagte Differenzdrehzahl ($\Delta n_{\text{EM} \rightarrow \text{Rad}}$) bzw. eine vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit ($\Delta \omega_{\text{EM} \rightarrow \text{Rad}}$) zwischen der elektrischen Maschine (3) und zumindest einem Antriebsrad (7) des Fahrzeuges berechnet.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vorhergesagte Differenzdrehzahl ($\Delta n_{\text{EM} \rightarrow \text{Rad}}$) bzw. die vorhergesagte Differenzwinkelgeschwindigkeit ($\Delta \omega_{\text{EM} \rightarrow \text{Rad}}$) eine Reglereingangsgröße eines Anti-Ruck-Reglers (13) bildet, dessen Reglerausgangsgröße das entgegengerichtete Korrekturdrehmoment (M_{Korr}) liefert.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kupplungsmoment (M_{TK}) der Trennkupplung (2) mittels eines mathematischen Kupplungsmodells (12), vorzugsweise einem Zwei- oder Mehrmassenschwingermodells, berechnet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Verringerung von Ungenauigkeiten des Antriebsstrangmodells (9) die Modellausgangsgröße um einen definierten Vorhersagehorizont (j) verzögert und mit einer gemessenen Größe verglichen und auf der Basis der Abweichung eine Fehlerberichtigung des Antriebsstrangmodells (9) vorgenommen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kupplungsmoment (M_{TK}) der Trennkupplung (2) während des Startens der Brennkraftmaschine (1) vorhergesagt wird, solange sich die Trennkupplung (2) im Schlupf befindet, und dass auf der Basis des vorhergesagten Kupplungsmomentes (M_{TK}) das Drehmoment (M_{EM}) der elektrischen Maschine (2) vorgesteuert wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer ersten Phase (I) die zwischen Brennkraftmaschine (1) und zumindest einer elektrischen Maschine (3) angeordnete Trennkupplung (2) impulsförmig geschlossen und teilweise wieder geöffnet wird, in einer zweiten Phase (II) die Trennkupplung (2) im Schlupf betrieben wird, bis die Drehzahl (n_{VM}) der Brennkraftmaschine (1) zumindest annähernd die Drehzahl (n_{EM}) der elektrischen Maschine (3) erreicht hat, und in einer dritten Phase (III) die Trennkupplung (2) vollständig geschlossen wird.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

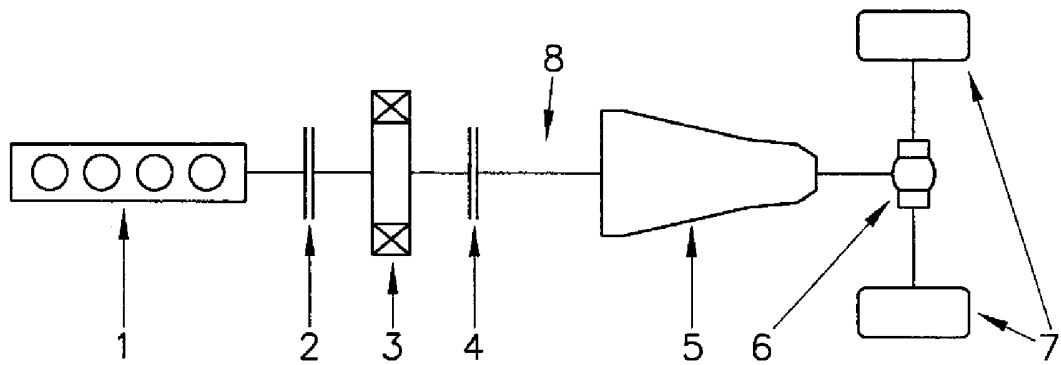


Fig.1

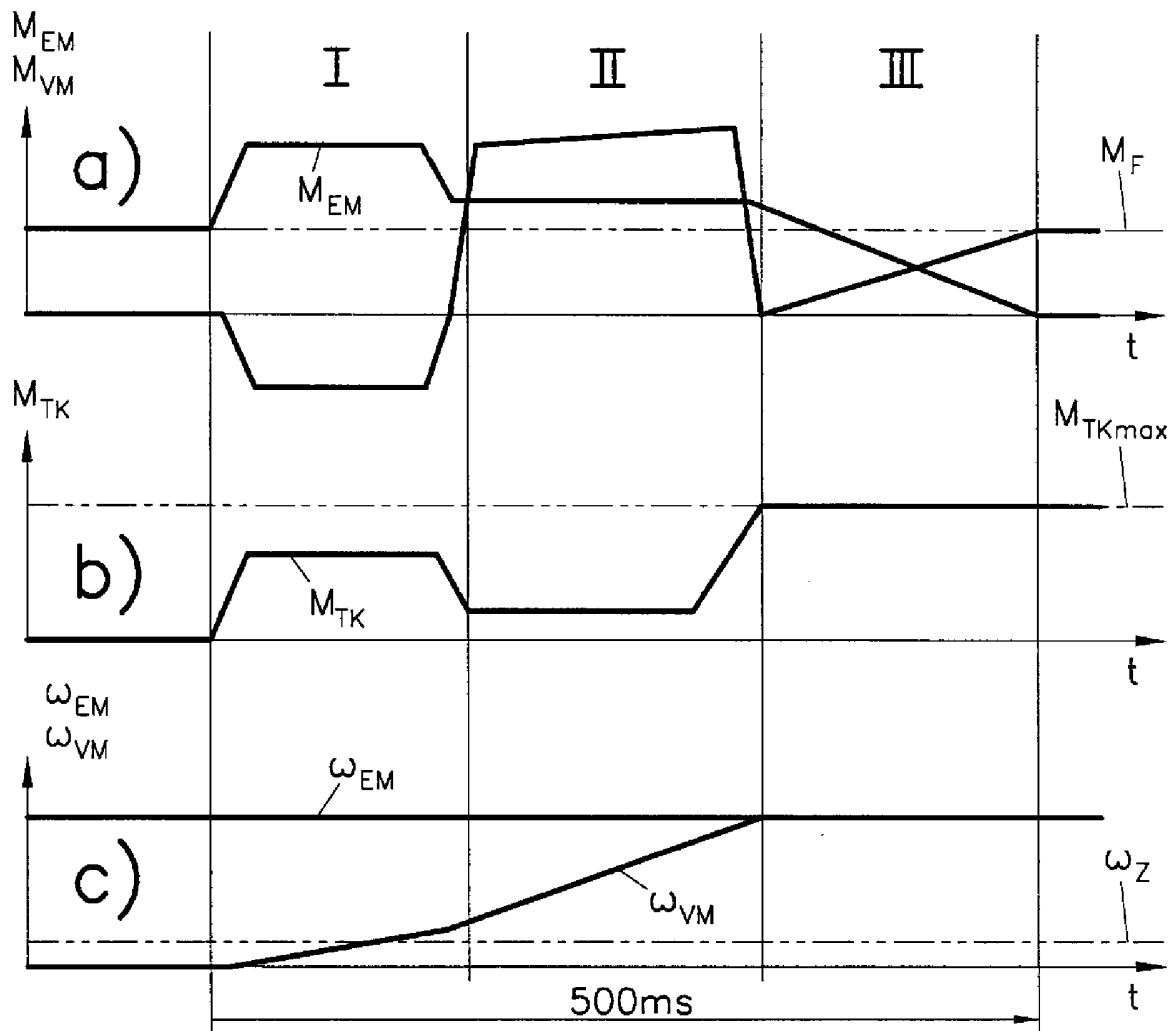


Fig.2

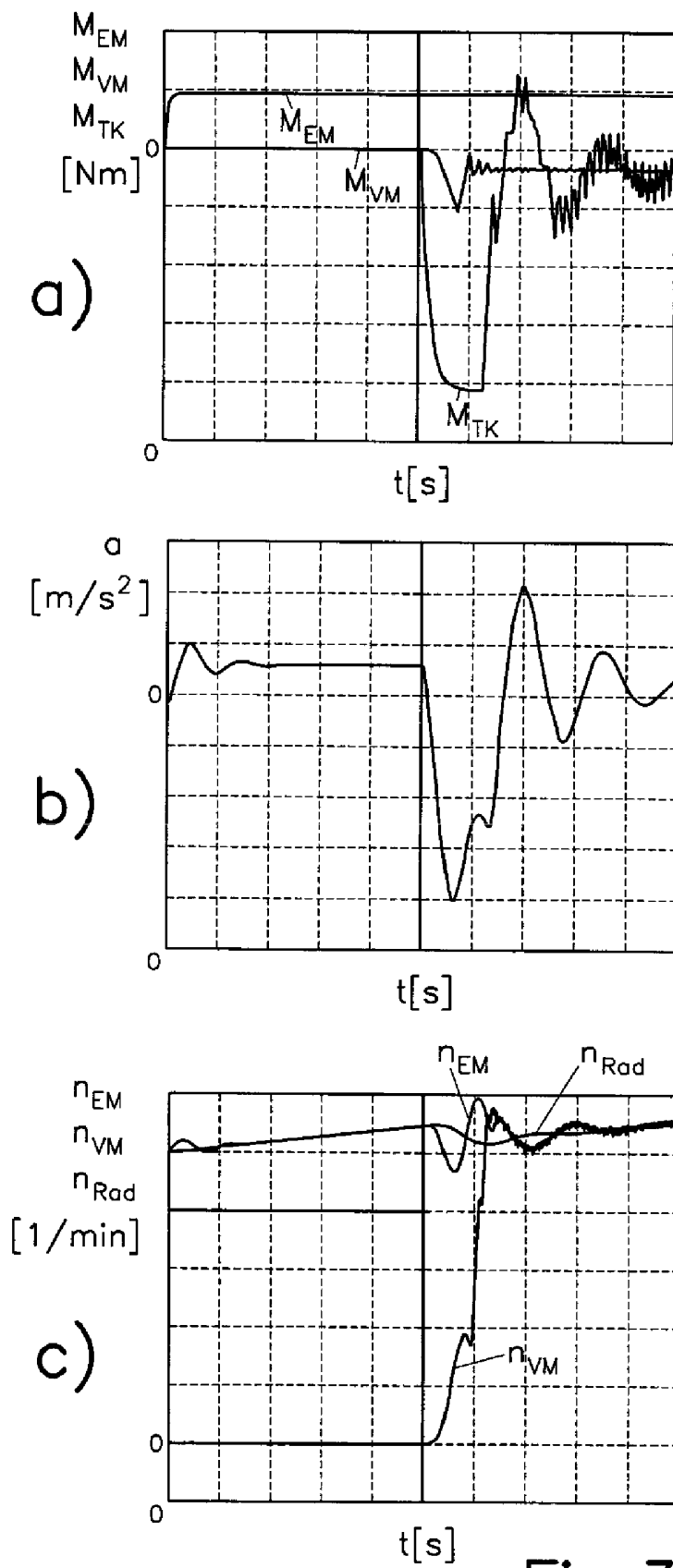


Fig.3

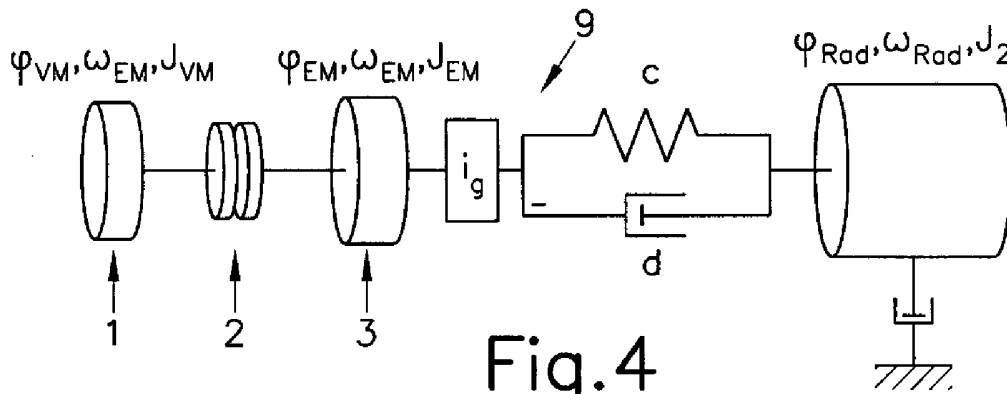


Fig. 4

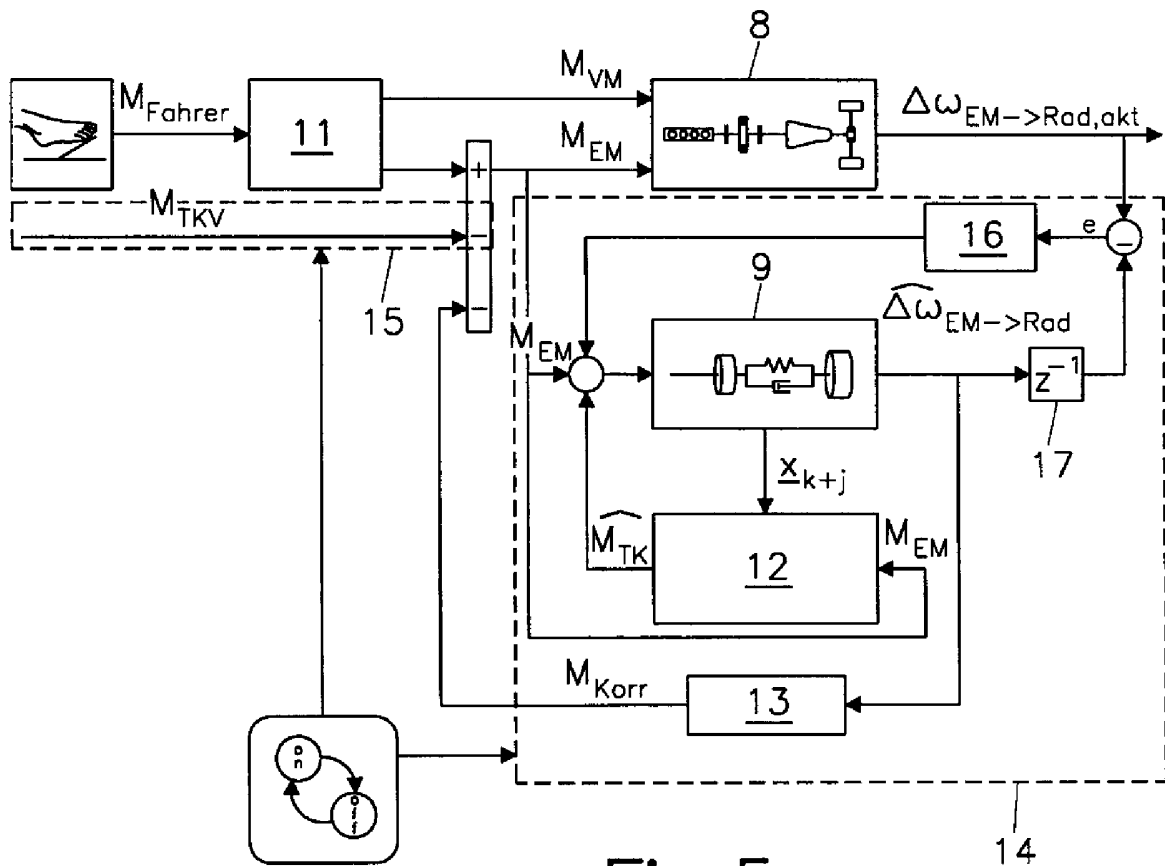


Fig. 5

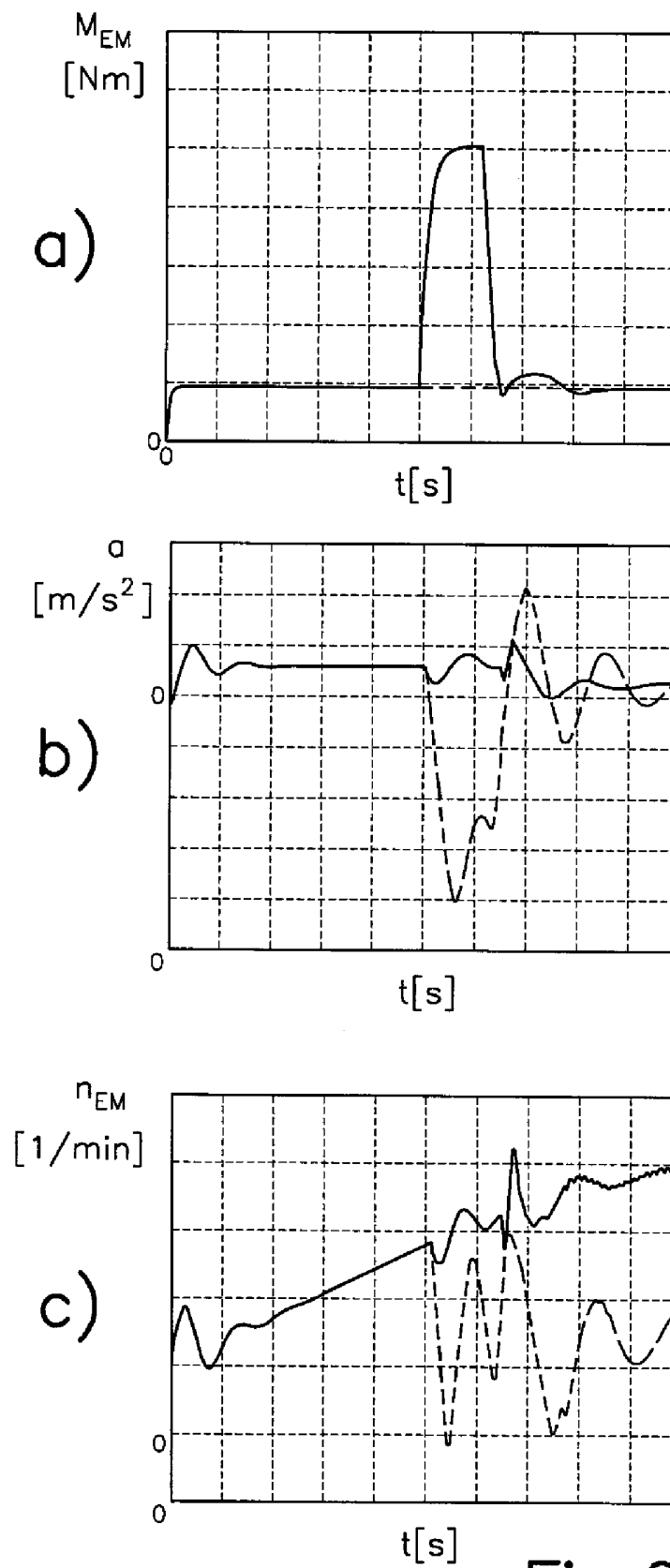


Fig.6