



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 33 931 A1 2005.02.10

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 33 931.0
 (22) Anmeldetag: 25.07.2003
 (43) Offenlegungstag: 10.02.2005

(51) Int Cl.7: B60K 41/28

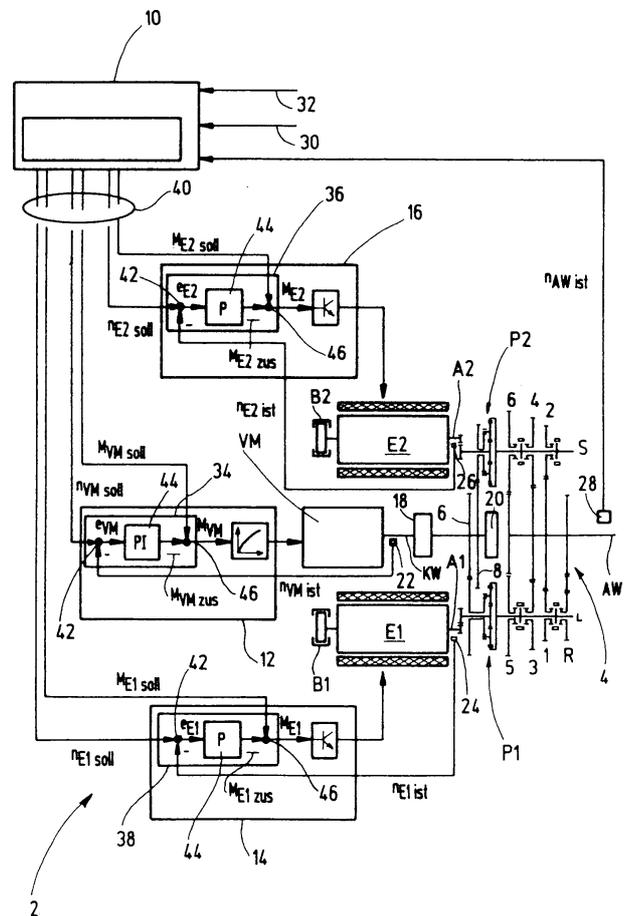
(71) Anmelder:
 Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
 Weber, Nicole, 73084 Salach, DE; Falkenstein,
 Jens-Werner, 73434 Aalen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Regelstrategie für elektromechanisch leistungsverzweigende Hybridantriebe

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantriebs (2) eines Kraftfahrzeugs mit einem Verbrennungsmotor (VM) und zwei Elektromaschinen (E1, E2), die durch ein Getriebe (P1, P2, 4) gekoppelt sind, sowie einen elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantrieb (2) für ein Kraftfahrzeug. Es wird vorgeschlagen, dass, basierend auf Koppelbedingungen des Getriebes (P1, P2, 4), für den Verbrennungsmotor (VM) und den beiden Elektromaschinen (E1, E2) jeweils Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}, n_{E1\text{ soll}}, n_{E2\text{ soll}}$) und Soll-Drehmomente ($M_{VM\text{ soll}}, M_{E1\text{ soll}}, M_{E2\text{ soll}}$) berechnet werden, dass die jeweiligen Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}, n_{E1\text{ soll}}, n_{E2\text{ soll}}$) mit entsprechenden Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}, n_{E1\text{ ist}}, n_{E2\text{ ist}}$) des Verbrennungsmotors (VM) und der Elektromaschinen (E1, E2) verglichen werden, und dass bei einer Regelabweichung (e_{VM}, e_{E1}, e_{E2}) zwischen einer der Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}, n_{E1\text{ ist}}, n_{E2\text{ ist}}$) und der entsprechenden Soll-Drehzahl ($n_{VM\text{ soll}}, n_{E1\text{ soll}}, n_{E2\text{ soll}}$) auf der Grundlage der Regelabweichung (e_{VM}, e_{E1}, e_{E2}) ein oder mehr zusätzliche Drehmomente ($M_{VM\text{ zus}}, M_{E1\text{ zus}}, M_{E2\text{ zus}}$) berechnet werden, die neben dem oder den von der Steuerung (10) berechneten Soll-Drehmomenten ($M_{VM\text{ soll}}, M_{E1\text{ soll}}, M_{E2\text{ soll}}$) bei der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors (VM) und der beiden Elektromaschinen (E1, E2) berücksichtigt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantriebs eines Kraftfahrzeugs mit einem Verbrennungsmotor und zwei Elektromaschinen, die durch ein nachgeschaltetes Getriebe gekoppelt sind, sowie einen elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantrieb für ein Kraftfahrzeug.

Stand der Technik

[0002] Während bekannte Handschalt- und Automatikgetriebe für Kraftfahrzeuge gestufte Übersetzungen aufweisen und es daher nicht erlauben, den Verbrennungsmotor in allen Fahrzuständen im Bereich hoher Wirkungsgrade zu betreiben, kann dieses Problem durch einen elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantrieb beseitigt werden. Derartige Hybridantriebe sind zum Beispiel in der DE 198 42 452 A1 (TOYOTA-Hybridsystem), der DE 199 03 936 A1 (Dual-E-Getriebe) oder der DE 199 09 424 A1 (SEL 120/3-Getriebe) offenbart. Alle diese Antriebe besitzen neben dem Verbrennungsmotor zwei Elektromaschinen, die ein elektrisches Stellgetriebe bilden. Der Verbrennungsmotor und die Elektromaschinen sind durch ein nachgeschaltetes mechanisches Getriebe mit Planetenstufen gekoppelt, in dem die Antriebsleistung des Verbrennungsmotors in zwei Teilleistungen aufgeteilt wird. Während die eine Teilleistung mechanisch und damit mit hohem Wirkungsgrad zur Getriebeabtriebswelle und damit zu den Rädern des Kraftfahrzeugs übertragen wird, wird die andere Teilleistung von der einen Elektromaschine im Generatorbetrieb in elektrische Leistung umgewandelt und von der anderen Elektromaschine im Motorbetrieb wieder in das Getriebe eingespeist.

[0003] Bei derartigen Antrieben kann auf einen zusätzlichen Starter bzw. Generator verzichtet werden. Die Elektromaschinen starten den Verbrennungsmotor und erzeugen die erforderliche elektrische Leistung für ein Bordnetz des Kraftfahrzeugs, das einen Energiespeicher für die erzeugte elektrische Leistung umfasst. Neben einem hybridischen Betrieb, in dem sowohl der Verbrennungsmotor und die Elektromaschinen arbeiten, ist auch ein Boostbetrieb und ein rein elektrischer Fahrbetrieb möglich, bei welchem letzteren elektrische Leistung aus dem Energiespeicher entnommen wird.

Aufgabenstellung

[0004] Im hybridischen Betrieb entsteht durch die Entkopplung der Drehzahlen der beiden Elektromaschinen ein Drehzahl-Freiheitsgrad, was bedeutet, dass bei vorgegebener Fahrzeuggeschwindigkeit und damit vorgegebener Drehzahl an der Getriebeabtriebswelle (und bei vorgegebener Fahrstufe beim SEL- bzw. Dual-E-Getriebe) die Drehzahl von einer

der beiden Elektromaschinen innerhalb der physikalischen Grenzen frei gewählt werden kann. Die Drehzahl der zweiten Elektromaschine und die Drehzahl des Verbrennungsmotors ergeben sich dann durch die Koppelbedingungen des nachgeschalteten Getriebes. Dieser Drehzahl-Freiheitsgrad wird dazu benutzt, den Antriebsstrang im Bereich hoher Gesamtwirkungsgrade zu betreiben. Eine Steuerung des Kraftfahrzeugs berücksichtigt im Wesentlichen dessen Geschwindigkeit bzw. die Ist-Drehzahl der Getriebeabtriebswelle sowie die vom Fahrer angeforderte mechanische Leistung (Fahrpedalstellung) und die zur Versorgung des Bordnetzes erforderliche elektrische Leistung und legt auf der Grundlage dieser Parameter den vorhandenen Drehzahl-Freiheitsgrad sowie die Drehmomente der drei Antriebsaggregate fest.

[0005] Bei den bekannten Verfahren zur Regelung eines solchen Antriebs mit einem Drehzahl-Freiheitsgrad wird eine der Elektromaschinen drehzahlregelt betrieben, während der Verbrennungsmotor und die andere Elektromaschine drehmomentgesteuert bzw. die letztere im Falle einer Elektromaschine mit Stromregler oder feldorientierter Regelung drehmomentgeregelt wird. Das heißt, eine Steuerung des Kraftfahrzeugantriebs gibt die Soll-Drehzahl der drehzahlgeregelten Elektromaschine, das Soll-Drehmoment der drehmomentgesteuerten Elektromaschine und das Soll-Drehmoment des drehmomentgesteuerten Verbrennungsmotors vor. Die beiden drehmomentgesteuerten Antriebsaggregate beeinflussen nicht nur das Drehmoment an der Getriebeabtriebswelle sondern auch das Drehmoment, das am drehzahlgeregelten Antriebsaggregat entsteht bzw. dort von einem Drehzahlregler dieses Aggregats eingestellt und als Sollwert für dessen unterlagerte Stromregelung vorgegeben wird. Im Idealfall entspricht dieses Drehmoment einem in der Steuerung vorausberechneten Soll-Drehmoment für die drehzahlgeregelte Elektromaschine.

[0006] Allerdings wirken sich bei dem bekannten Verfahren insbesondere beim Verbrennungsmotor vorhandene Ungenauigkeiten in den Drehmomentsteuerungen sowie Ungenauigkeiten in den Reibverhältnissen des Getriebes auf die drehzahlgeregelte Elektromaschine aus, wodurch das vom Drehzahlregler an dieser Elektromaschine eingestellte Drehmoment erheblich von dem in der Steuerung vorausberechneten Soll-Drehmoment abweichen kann.

[0007] Daraus ergeben sich einige negative Auswirkungen. Zum einen weicht in diesem Fall auch die elektrische Leistung der drehzahlgeregelten Elektromaschine vom Sollwert ab. Die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung entspricht dann nicht der Vorgabe der Steuerung, was sich negativ auf das elektrische Bordnetz auswirkt. Daneben können auch die Leistungsgrenzen des elektrischen Energie-

speichers verletzt werden, z.B. bei der Energierückgewinnung während eines Bremsvorgangs oder beim Boostbetrieb. Zum anderen kann die drehzahlgeregelte Elektromaschine durch Ungenauigkeiten an ihre maximale Drehmomentgrenze gelangen, was gleichbedeutend mit einer Stellgrößenbegrenzung für den Drehzahlregelkreis ist. Die mit der Drehzahlregelung eingebrachte Bindung wird dabei unwirksam. Ohne weitere Eingriffe an der drehmomentgesteuerten zweiten Elektromaschine bzw. an dem drehmomentgesteuerten Verbrennungsmotor geht die Kontrolle über das System verloren.

[0008] Im dynamischen Betrieb können die drehmomentgesteuerten Antriebsaggregate basierend auf der Kenntnis der zu kompensierenden Trägheiten vorgesteuert werden. Allerdings ist dabei mit zusätzlichen Ungenauigkeiten zu rechnen, die sich wiederum auf das Drehmoment der drehzahlgeregelten Elektromaschine auswirken.

Vorteile der Erfindung

[0009] Der erfindungsgemäße elektromechanisch leistungsverzweigende Hybridantrieb und das Verfahren zu seiner Regelung mit den Merkmalen der Ansprüche 1 bzw. 8 weist demgegenüber den Vorteil auf, dass die Aufgabe der Drehzahlregelung auf alle Aggregate, d.h. auf den Verbrennungsmotor, die erste Elektromaschine und die zweite Elektromaschine verteilt wird, um die oben beschriebenen Nachteile zu vermeiden. Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen werden Ungenauigkeiten in den Reibverhältnissen des Getriebes und Ungenauigkeiten in der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors berücksichtigt und deren Auswirkungen auf die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung minimiert.

[0010] Daneben besteht eine weitaus geringere Gefahr, infolge von Stellgrößenbegrenzungen die Kontrolle über das System zu verlieren. Weitere Vorteile bestehen in einer aktiven Dämpfung von unerwünschten Drehschwingungen eines Antriebsstrangs des Antriebs. Zudem lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft mit einer üblichen Steuergerätestruktur ausführen, bei der jedem der drei Antriebsaggregate ein Steuergerät zugeordnet ist, z.B. ein Motorsteuergerät für den Verbrennungsmotor und jeweils ein Wechselrichter mit Controller für die beiden Elektromaschinen, und bei der die Steuergeräte über eine Busverbindung miteinander kommunizieren.

[0011] Da bei modernen Elektromaschinen das vorgegebene Soll-Drehmoment ausreichend genau umgesetzt wird, während beim Verbrennungsmotor zwischen dem Soll-Drehmoment und dem an der Kurbelwelle erzeugten Ist-Drehmoment zumeist größere Abweichungen auftreten, ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass als Dreh-

zahlregler für den Verbrennungsmotor ein I-, PI- oder PID-Regler verwendet wird, während als Drehzahlregler für die Elektromaschinen P- oder PD-Regler verwendet werden.

[0012] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bilden die Drehzahlregler jeweils einen Teil eines dezentralen Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors bzw. der Elektromaschinen, die in den Steuergeräten der einzelnen Aggregate realisiert sind und nicht über ein Bussystem geschlossen sind, so dass längere Signallaufzeiten vermieden und dadurch hohe Bandbreiten erzielt werden können. Für die Vorgabe der Soll-Drehmomente und der Soll-Drehzahlen von der Steuerung an die Steuergeräte wird hingegen vorteilhaft ein Bussystem genutzt, das in modernen Kraftfahrzeugen üblicherweise vorhanden ist.

[0013] Die Reglerparameter der Drehzahlregelkreise bzw. die Initialisierung eines Integral-Anteils des Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors werden vorzugsweise ebenfalls von der Steuerung vorgegeben, wodurch sich das Regelverhalten und die aktive Drehschwingungsdämpfung an den jeweiligen Betriebszustand des Antriebsstrangs anpassen lassen. Damit lassen sich zum Beispiel Start- und Stopp-Vorgänge des Verbrennungsmotors, bei denen eine von seinem Zweimassenschwungrad geprägte Resonanzfrequenz durchlaufen wird, ohne die Notwendigkeit einer Veränderung der Reglerstruktur getrennt betrachten und optimieren.

[0014] In den meisten Betriebszuständen des Hybridantriebs arbeitet eine der beiden Elektromaschinen als Motor, während die andere als Generator arbeitet. Durch geeignete, an den Betriebszustand angepasste Vorgaben der Reglerparameter lassen sich die Auswirkungen von Reglereingriffen auf die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung minimieren.

[0015] Bei vorgegebener Fahrzeuggeschwindigkeit und damit festliegender Ist-Drehzahl an der Getriebeabtriebswelle ist ein Drehzahlfreiheitsgrad im Getriebe vorhanden. Wenn eine Gefahr besteht, das System mit drei Drehzahlregelkreisen z.B. infolge von Ungenauigkeiten oder Zeitverzögerungen in den Drehzahlerfassungen zu verspannen, können an einem bzw. an zwei Drehzahlregelkreisen Bandpassfilter (nicht dargestellt) vor oder hinter dem Drehzahlregler vorgesehen werden, die den Reglereingriff auf den Frequenzbereich der unerwünschten Antriebsstrangdrehschwingungen begrenzen. Bei drohenden Stellgrößenbegrenzungen oder größeren Regelabweichungen sollte die Steuerung die Wirkung der Bandpassfilter zurücknehmen, um alle Aggregate für die Erhaltung der Drehzahlbindung zu nutzen.

Ausführungsbeispiel

Zeichnung

[0016] Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnung näher erläutert. Die einzige Figur zeigt eine schematische Darstellung eines Hybridantriebs für ein Kraftfahrzeug mit zugehöriger Regelstrategie.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0017] Der in der Zeichnung dargestellte, als sogenanntes Dual-E-Getriebe ausgebildete elektromechanisch leistungsverzweigende Hybridantrieb **2** eines Kraftfahrzeugs besteht im Wesentlichen aus drei Antriebsaggregaten in Form eines Verbrennungsmotors VM und zweier Elektromaschinen E1 und E2, zwei den Elektromaschinen E1 und E2 nachgeschalteten Planetenstufen P1 und P2, die über ein mehrstufiges mechanisches Dreiwellen-Schaltgetriebe **4** mit einer zu den Rädern des Kraftfahrzeugs führenden Getriebeabtriebswelle AW und über zwei Zahnräder **6** und **8** mit einer Kurbelwelle KW des Verbrennungsmotors VM gekoppelt sind, einer gemeinsamen Steuerung **10** für alle drei Antriebsaggregate VM, E1, E2, sowie getrennten Steuergeräten für den Verbrennungsmotor VM und die beiden Elektromaschinen E1, E2 in Form einer Motorsteuerung **12** bzw. zweier Wechselrichter **14** und **16**.

[0018] Die Kurbelwelle KW des Verbrennungsmotors VM ist über ein Zweimassenschwungrad **18** mit den beiden Zahnrädern **6** und **8** verbunden. Ein Freilauf **20** stützt die Drehmomente der Elektromaschinen E1 und E2 beim elektrischen Fahren, d.h. bei abgeschaltetem Verbrennungsmotor VM ab und verhindert eine Rückwärtsdrehung des Verbrennungsmotors VM. In der Nähe der Kurbelwelle KW ist ein Drehzahlsensor **22** angeordnet, der die Ist-Drehzahl $n_{VM\text{ ist}}$ der Kurbelwelle KW misst und als Eingangsgröße in das Motorsteuergerät **12** zuführt.

[0019] Die Antriebswellen A1 und A2 der beiden Elektromaschinen E1 und E2 sind jeweils mit einer Bremse B1 bzw. B2 zur mechanischen Abbremsung der Antriebswelle A1 bzw. A2 versehen. In der Nähe der Antriebswellen A1 und A2 ist jeweils ein Drehzahlsensor **24** bzw. **26** angeordnet, der die Ist-Drehzahl $n_{E1\text{ ist}}$ und $n_{E2\text{ ist}}$ der Antriebswellen A1 bzw. A2 misst und als Eingangsgröße zum entsprechenden Wechselrichter **14** bzw. **16** zuführt.

[0020] Ein weiterer, in der Nähe der Getriebeabtriebswelle AW angeordneter Drehzahlsensor **28** ermittelt deren Ist-Drehzahl $n_{AW\text{ ist}}$ und leitet sie an die nicht näher beschriebene Steuerung **10** weiter, die als weitere Eingangsgrößen neben der Ist-Drehzahl $n_{AW\text{ ist}}$ der Getriebeabtriebswelle AW oder alternativ der Drehzahl der Räder bei **30** die Stellung des Fahr-

pedals als Anzeige für die angeforderte Antriebsleistung und bei **32** die von einem Bordnetz des Kraftfahrzeugs angeforderte elektrische Leistung erhält.

[0021] Aus diesen Eingangsgrößen berechnet die Steuerung **10** basierend auf den Koppelbedingungen des Getriebes **4** die Soll-Drehzahlen $n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$ und die Soll-Drehmomente $M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$ des Verbrennungsmotors VM sowie der Elektromaschinen E1 und E2. Die Soll-Drehmomente $M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$ können Anteile zur Kompensation der Trägheiten bei dynamischem Betrieb enthalten. Wie nachfolgend beschrieben, werden die Soll-Drehmomente $M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$ von drei unterlagerten dezentralen Drehzahlregelkreisen im Motorsteuergerät **12** und in den beiden Wechselrichtern **14**, **16** als Vorsteuerung benutzt und liegen im Sinne einer kaskadierten Stellgrößenbeschränkung innerhalb der Grenzen des maximalen Drehmoments des jeweiligen Aggregates VM, E1, E2, um für Drehzahlregler **34**, **36**, **38** der Drehzahlregelkreise Stellreserven bereitzustellen.

[0022] Für die Vorgabe der Soll-Drehmomente und der Soll-Drehzahlen von der Steuerung **10** an das Motorsteuergerät **12** und die beiden Wechselrichter **14**, **16** wird ein im Kraftfahrzeug vorhandenes Bussystem **40** genutzt. Demgegenüber sind die Drehzahlregler **34**, **36**, **38** selbst nicht über ein Bussystem geschlossen, so dass längere Signallaufzeiten vermieden und hohe Bandbreiten erzielt werden können.

[0023] Die Drehzahlregler **34**, **36** bzw. **38** im Motorsteuergerät **12** und in den beiden Wechselrichtern **14**, **16** umfassen jeweils ein Vergleichsglied **42**, das als Eingangsgröße vom zugehörigen Drehzahlsensor **22**, **24** bzw. **26** die jeweilige Ist-Drehzahl $n_{VM\text{ ist}}$, $n_{E1\text{ ist}}$, $n_{E2\text{ ist}}$ der Kurbelwelle KW bzw. von einer der Antriebswellen A1, A2 und von der Steuerung **10** die jeweilige Soll-Drehzahl $n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$ bzw. $n_{E2\text{ soll}}$ erhält, das Soll- und Ist-Wertepaar vergleicht und eine eventuelle Regelabweichung e_{E1} , e_{E2} bzw. e_{VM} ermittelt.

[0024] Neben dem Vergleichsglied **42** umfassen die Drehzahlregler **34**, **36**, **38** ein Übertragungsglied **44**, das die gegebenenfalls auftretenden Regelabweichungen e_{VM} , e_{E1} bzw. e_{E2} vom Vergleichsglied **42** erhält, auf der Basis dieser Regelabweichungen ein zusätzliches Drehmoment $M_{VM\text{ zus}}$, $M_{E1\text{ zus}}$ bzw. $M_{E2\text{ zus}}$ berechnet und als Ausgangssignal einem von der Steuerung **10** mit dem entsprechenden Soll-Drehmoment $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$ bzw. $M_{VM\text{ soll}}$ beaufschlagten Stellglied **46** zuführt. Nach einer Addition der beiden Signale im Stellglied **46** wird von diesem das Summendrehmoment M_{E1} , M_{E2} , M_{VM} an der jeweiligen Elektromaschine E1, E2 bzw. am Verbrennungsmotor VM eingestellt. Während beim Auftreten einer Regelabweichung e_{VM} , e_{E1} bzw. e_{E2} an einem der Aggregate VM, E1 bzw. E2 ein auf der Basis dieser Regelabwei-

chung e_{VM} , e_{E1} bzw. e_{E2} berechnetes zusätzliches Drehmoment $M_{VM\ zus}$, $M_{E1\ zus}$ bzw. $M_{E2\ zus}$ in der Regel bei der Drehmomentsteuerung desjenigen Aggregats VM, E1 bzw. E2 berücksichtigt werden wird, an dem zuvor die Regelabweichung e_{VM} , e_{E1} bzw. e_{E2} aufgetreten war, ist es jedoch auch möglich, in einer Art "Zustandsregelung" auf der Basis der Regelabweichung e_{VM} , e_{E1} bzw. e_{E2} eines Aggregats VM, E1 bzw. E2 auch für die jeweils anderen Aggregate E1, E2 bzw. VM zusätzliche Drehmomente $M_{E1\ zus}$, $M_{E2\ zus}$ bzw. $M_{VM\ zus}$ zu berechnen, die dann neben den von der Steuerung **10** berechneten Soll-Drehmomenten $M_{E1\ soll}$, $M_{E2\ soll}$ bzw. $M_{VM\ soll}$ bei der Drehmomentsteuerung dieser Aggregate E1, E2 bzw. VM berücksichtigt werden.

[0025] Die Drehzahlregler **36**, **38** der Elektromaschinen E1 und E2 sind als P-Regler oder PD-Regler ausgeführt, während der Drehzahlregler **34** des Verbrennungsmotors VM als I-, PI- oder PID-Regler ausgeführt ist. Durch diese letztere Maßnahme wird der Drehzahlregelkreis des Verbrennungsmotors VM mit einem Integral-Anteil versehen, der Ungenauigkeiten in der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors VM ausgleicht, so dass sich im stationären Betrieb die Ist-Drehzahl $n_{VM\ ist}$ des Verbrennungsmotors VM asymptotisch an die Soll-Drehzahl $n_{VM\ soll}$ annähern wird. Damit gehen auch die Regelabweichungen e_{E1} und e_{E2} an den Elektromaschinen E1 und E2 gegen Null. Die Elektromaschinen E1 und E2 stellen dann näherungsweise die Soll-Drehmomente ein ($M_{E1} = M_{E1\ soll}$, $M_{E2} = M_{E2\ soll}$). Mit den von der Steuerung **10** vorgegebenen Soll-Drehmomenten $M_{E1\ soll}$ und $M_{E2\ soll}$ wird dann selbst im Fall von Ungenauigkeiten in den Reibverhältnissen des Getriebes **4** auch die Vorgabe für die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung eingehalten.

[0026] Da alle drei Aggregate VM, E1 und E2 drehzahl geregelt betrieben werden, können zwei davon in die Stellgrößenbegrenzung geraten, ohne dass die Kontrolle über das System verloren geht. Sollten zum Beispiel beide Elektromaschinen E1 und E2 infolge einer Über- oder Unterspannungsabregelung in die Stellgrößenbegrenzung geraten, so hält der Verbrennungsmotor VM weiterhin die Drehzahlbindung aufrecht.

[0027] Die P-Anteile der Drehzahlregler **34**, **36**, **38** entsprechen in ihrer Wirkung drehzahlproportionalen mechanischen Dämpfern und wirken damit Drehschwingungen der Aggregate VM, E1 und E2 entgegen, die zum Beispiel infolge von Torsionsschwingungen des Zweimassenschwungrades **18** entstehen können. Mit den drei unterlagerten Drehzahlregelkreisen tragen alle drei Aggregate VM, E1 und E2 zur aktiven Drehschwingungsdämpfung bei. Während in das Drehmoment M_{VM} des Verbrennungsmotors VM nur zu den diskreten Zündzeitpunkten eingegriffen werden kann, was die Drehschwingungs-

dämpfung mittels des Verbrennungsmotors VM auf niedrige Frequenzen beschränkt, lassen sich bei Elektromaschinen in Form von Drehstrommaschinen mit feldorientierter Regelung Drehmomentregelzeiten < 1 ms erzielen, so dass in Verbindung mit geeigneten Drehzahlsensoren die Dämpfung höherer Frequenzen möglich ist.

Patentansprüche

1. Elektromechanisch leistungsverzweigender Hybridantrieb für ein Kraftfahrzeug, mit einem Verbrennungsmotor und zwei Elektromaschinen, die durch ein Getriebe gekoppelt sind, gekennzeichnet durch eine Steuerung (**10**), die basierend auf Koppelbedingungen des Getriebes (P1, P2, 4) für den Verbrennungsmotor (VM) und beide Elektromaschinen (E1, E2) jeweils Soll-Drehzahlen ($n_{VM\ soll}$, $n_{E1\ soll}$, $n_{E2\ soll}$) und Soll-Drehmomente ($M_{VM\ soll}$, $M_{E1\ soll}$, $M_{E2\ soll}$) berechnet, sowie durch einen Drehzahlregler (**34**, **36**, **38**) für den Verbrennungsmotor (VM) und die beiden Elektromaschinen (E1, E2), welche die berechneten Soll-Drehzahlen ($n_{VM\ soll}$, $n_{E1\ soll}$, $n_{E2\ soll}$) mit den zugehörigen Ist-Drehzahlen ($n_{VM\ ist}$, $n_{E1\ ist}$, $n_{E2\ ist}$) vergleichen und bei einer Regelabweichung (e_{VM} , e_{E1} , e_{E2}) zwischen einer der Ist-Drehzahlen ($n_{VM\ ist}$, $n_{E1\ ist}$, $n_{E2\ ist}$) und der zugehörigen Soll-Drehzahl ($n_{VM\ soll}$, $n_{E1\ soll}$, $n_{E2\ soll}$) auf der Grundlage der Regelabweichung (e_{VM} , e_{E1} , e_{E2}) ein oder mehr zusätzliche Drehmomente ($M_{VM\ zus}$, $M_{E1\ zus}$, $M_{E2\ zus}$) berechnen, die neben dem oder den von der Steuerung (**10**) berechneten Soll-Drehmomenten ($M_{VM\ soll}$, $M_{E1\ soll}$, $M_{E2\ soll}$) bei der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors (VM) und der beiden Elektromaschinen (E1, E2) berücksichtigt werden.

2. Hybridantrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehzahlregler (**34**) des Verbrennungsmotors (VM) ein I-, PI- oder PID-Regler ist, und dass die Drehzahlregler (**36**, **38**) der Elektromaschinen (E1, E2) P- oder PD-Regler sind.

3. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahlregler (**34**, **36**, **38**) jeweils Teil eines dezentralen Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors (VM) bzw. der Elektromaschinen (E1, E2) sind.

4. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahlregler (**34**, **36**, **38**) untereinander nicht kommunizieren.

5. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahlregler (**34**, **36**, **38**) über ein Bussystem (**40**) mit der Steuerung (**10**) kommunizieren.

6. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steu-

erung **(10)** Reglerparameter der Drehzahlregelkreise und/oder eine Initialisierung eines Integral-Anteils des Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors (VM) vorgibt.

7. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Bandpassfilter, der vor oder hinter mindestens einem der Drehzahlregler (**34**, **36**, **38**) angeordnet ist.

8. Verfahren zur Regelung eines elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantriebs eines Kraftfahrzeugs mit einem Verbrennungsmotor und zwei Elektromaschinen, die durch ein Getriebe gekoppelt sind, dadurch gekennzeichnet, dass basierend auf Koppelbedingungen des Getriebes (P1, P2, **4**) für den Verbrennungsmotor (VM) und die beiden Elektromaschinen (E1, E2) jeweils Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}, n_{E1\text{ soll}}, n_{E2\text{ soll}}$) und Soll-Drehmomente ($M_{VM\text{ soll}}, M_{E1\text{ soll}}, M_{E2\text{ soll}}$) berechnet werden, dass die jeweiligen Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}, n_{E1\text{ soll}}, n_{E2\text{ soll}}$) mit entsprechenden Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}, n_{E1\text{ ist}}, n_{E2\text{ ist}}$) des Verbrennungsmotors (VM) und der Elektromaschinen (E1, E2) verglichen werden, und dass bei einer Regelabweichung (e_{VM}, e_{E1}, e_{E2}) zwischen einer der Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}, n_{E1\text{ ist}}, n_{E2\text{ ist}}$) und der entsprechenden Soll-Drehzahl ($n_{VM\text{ soll}}, n_{E1\text{ soll}}, n_{E2\text{ soll}}$) auf der Grundlage der Regelabweichung (e_{VM}, e_{E1}, e_{E2}) ein oder mehr zusätzliche Drehmomente ($M_{VM\text{ zus}}, M_{E1\text{ zus}}, M_{E2\text{ zus}}$) berechnet werden, die neben dem oder den von der Steuerung **(10)** berechneten Soll-Drehmomenten ($M_{VM\text{ soll}}, M_{E1\text{ soll}}, M_{E2\text{ soll}}$) bei der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors (VM) und der beiden Elektromaschinen (E1, E2) berücksichtigt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}, n_{E1\text{ soll}}, n_{E2\text{ soll}}$) auf der Grundlage einer Fahrpedalstellung, einer für ein Bordnetz des Kraftfahrzeugs erforderlichen elektrischen Leistung und Ist-Drehzahlen von Rädern des Kraftfahrzeugs oder einer Ist-Drehzahl ($n_{AW\text{ ist}}$) einer Abtriebswelle (AW) des Getriebes (P1, P2, **4**) berechnet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Drehmomente ($M_{VM\text{ soll}}, M_{E1\text{ soll}}, M_{E2\text{ soll}}$) Anteile zur Kompensation von Trägheiten bei dynamischem Betrieb enthalten.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

