

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Juni 2014 (26.06.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/095565 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B60K 6/48 (2007.10)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/076381
- (22) Internationales Anmeldedatum:
12. Dezember 2013 (12.12.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
A50614/2012 21. Dezember 2012 (21.12.2012) AT
- (71) Anmelder: AVL LIST GMBH [AT/AT]; Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz (AT).
- (72) Erfinder: KOKAL, Helmut; Fichtestraße 77/19, A-8020 Graz (AT). DEL RE, Luigi; Wolfauerstraße 88, A-4040 Linz (AT).
- (74) Anwälte: WEISS, Christian et al.; Patentanwälte Pinter & Weiss OG, Prinz-Eugen-Straße 70, A-1040 Wien (AT).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD FOR REGULATING AN ELECTRIC MOTOR OF A DRIVE TRAIN OF A HYBRID VEHICLE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR REGELUNG EINES ELEKTROMOTORS EINES ANTRIEBSSTRANGES EINES HYBRIDFAHRZEUGES

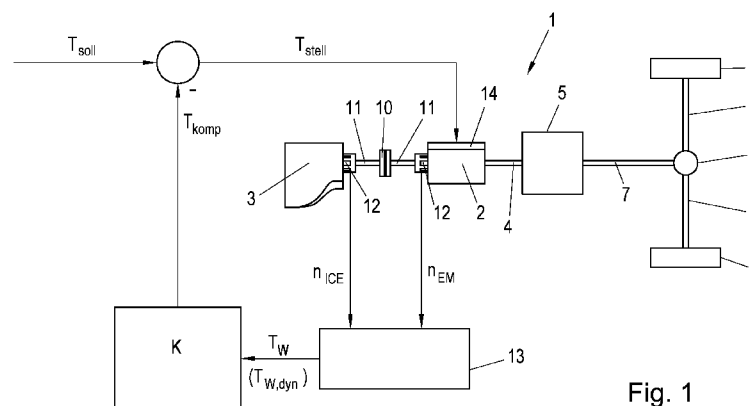


Fig. 1

(57) Abstract: For a regulation of an electric motor (2) of a drive train (1) for a hybrid vehicle that is simple to implement and carry out, the invention provides that the shaft torque (T_w) of the engine shaft (11) of the current work cycle (n) of the internal combustion engine (3) is detected and fed to a compensation regulator (K), the shaft torque ($T_w(n-1)$) of a previous work cycle (n-1) of the internal combustion engine (3) is stored in the compensation regulator (K) and a compensated shaft torque (T_{komp}) is calculated from the shaft torque ($T_w(n)$) of the current work cycle (n), the shaft torque ($T_w(n-1)$) of a previous work cycle (n-1) and the shaft torque of the previous work cycle (n-1) shifted by a system delay. Said compensated shaft torque is linked to the target torque (T_{soll}) predefined by a higher-level control unit (15) to determine the controlling torque (T_{stell}).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/095565 A2



Für eine einfach umzusetzende und auszuführende Regelung eines Elektromotors (2) eines Antriebsstranges (1) eines Hybridfahrzeuges wird vorgeschlagen, das Wellenmoment (T_w) der Motorwelle (11) des aktuellen Arbeitszyklus (n) des Verbrennungsmotors (3) zu erfassen und einem Kompensationsregler (K) zuzuführen, im Kompensationsregler (K) das Wellenmoment ($T_w(n-1)$) eines vorgehenden Arbeitszyklus (n-1) des Verbrennungsmotors (3) zu speichern und aus dem Wellenmoment ($T_w(n)$) des aktuellen Arbeitszyklus (n), dem Wellenmoment ($T_w(n-1)$) eines vorherigen Arbeitszyklus (n-1) und dem um eine Systemverzögerung verschobenen Wellenmoment des vorherigen Arbeitszyklus (n-1) ein kompensiertes Wellenmoment (T_{komp}) zu berechnen, das zur Ermittlung des Stelldrehmoments (T_{stell}) mit dem von einer übergeordneten Steuereinheit (15) vorgegebenen Solldrehmoment (T_{soll}) verknüpft wird.

Verfahren zur Regelung eines Elektromotors eines Antriebsstranges eines Hybridfahrzeuges

Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Elektromotors eines Antriebsstranges eines Hybridfahrzeuges, wobei der Elektromotor über eine Antriebswelle mit den Antriebsrädern und über eine Motorwelle mit einem Verbrennungsmotor, der Drehungleichförmigkeiten in den Antriebsstrang einbringt, verbunden ist und einem Antriebsregler des Elektromotors ein Stelldrehmoment vorgegeben wird.

Ein bekanntes Antriebsstrangkonzzept eines modernen Hybridfahrzeugs umfasst einen Elektromotor, der über eine Antriebswelle die Antriebsräder des Fahrzeugs, eventuell und ein Getriebe, ein Differentialgetriebe und Seitenwellen, antreibt. Der Elektromotor ist zusätzlich über eine Kupplung und Verbindungswellen mit einem Verbrennungsmotor verbunden, um die Reichweite des Hybridfahrzeugs zu erhöhen. Dazu werden kleinere Verbrennungsmotoren, z.B. 2- oder 3-Zylindermotoren, eingesetzt, da der Verbrennungsmotor nur als Unterstützung des Elektromotors verwendet wird. Ein Verbrennungsmotor weist jedoch aufgrund der Verbrennungsstöße ein zyklisch schwankendes Drehmoment auf, wodurch an der Abtriebswelle (bzw. am Schwungrad) des Verbrennungsmotors Drehungleichförmigkeiten entstehen, die sich über die elektrische Maschine in den Antriebsstrang fortpflanzen und dort als Schwingungen wahrgenommen werden, was den Fahrkomfort des Hybridfahrzeugs reduziert.

Es sind daher bereits Regelstrategien bekannt geworden, die versuchen, diese Drehungleichförmigkeiten im Antriebsstrang eines solchen Hybridfahrzeugs auszuregulieren. Z.B. wurde im Rahmen des Vortrags „Effizienter E-Fahrzeugantrieb mit dem kompakten CEA-Konzept – Combustion Engine Assist“, C.Beidl, et al., 7.MTZ Fachtagung Der Antrieb von morgen, 24. und 25. Jänner 2012, Wolfsburg, eine Regelung vorgestellt, die die Drehungleichförmigkeit mittels einer sogenannten Harmonic Oriented Control (HOC) kompensiert. Hierzu wird analog zur feldorientierten Regelung von Elektromotoren eine Park-Transformation der Drehzahlschwingungen in ein synchron mit der Frequenz der Schwingung drehendes Koordinatensystem durchgeführt. Dabei werden die an der Schwingung beteiligten Beschleunigungen im neuen Koordinatensystem mit zwei PI-Reglern ausgegeregelt, sodass sich nach Rücktransformation ein Kompensationsanteil des vorzugebenden Soll-Drehmoments ergibt, mit dem das Solldrehmoment des Drehzahlreglers des Elektromotors korrigiert wird. Ein ähnliches Konzept findet sich in der WO 2012/156258 A2, wobei hier die Kompensation vor der Rücktransformation der feldorientierten Regelung des Elektromotors erfolgt.

Beiden Verfahren ist der relativ hohe Rechenaufwand für die Durchführung der Transformationen gemein, was auch bei der Implementierung im Fahrzeug eine entsprechend leistungsfähige Recheneinheit bedingt.

5 Aus der DE 10 2009 047 116 A1 und der DE 199 39 250 A1 gehen Verfahren zur Kompensation einer Drehungleichförmigkeit in einem Antriebsstrang aus einem Verbrennungsmotor und einem Elektromotor hervor, bei denen die Drehungleichförmigkeit zuerst bestimmt wird und der Elektromotor gesteuert wird, um dieser Drehungleichförmigkeit entgegenzuwirken. Aufgrund der Systemverzögerungen und dem Nacheilen des Reglers ist das aber nur bis zu einer bestimmten Dynamik der Drehungleichförmigkeit möglich.

10 Es war daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, eine alternative Regelung eines Elektromotors eines solchen Antriebsstranges eines Hybridfahrzeugs anzugeben, die besonders einfach umzusetzen und auszuführen ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das Wellenmoment der Motorwelle des aktuellen Arbeitszyklus des Verbrennungsmotors erfasst und einem Kompensationsregler zugeführt wird, im Kompensationsregler das Wellenmoment eines vorgehenden Arbeitszyklus des Verbrennungsmotors gespeichert wird und aus dem Wellenmoment des aktuellen Arbeitszyklus, dem Wellenmoment eines vorherigen Arbeitszyklus und dem um eine Systemverzögerung verschobenen Wellenmoment eines vorherigen Arbeitszyklus ein kompensiertes Wellenmoment berechnet wird, das zur Ermittlung des Stelldrehmoments mit dem von einer übergeordneten Steuereinheit vorgegebenen Solldrehmoment verknüpft wird, um die Drehungleichförmigkeiten des Verbrennungsmotors durch den Elektromotor zu kompensieren.

Auf diese Weise kann erreicht werden, dass das Stelldrehmoment eine um die Systemverzögerung bereinigte (und damit in der Zukunft liegende) Komponente enthält, was es dem Antriebsregler des Elektromotors ermöglicht, durch diese Antizipation rechtzeitig und schnell genug auf Drehungleichförmigkeiten der Motorwelle zu reagieren und diese, vor allem auch ohne zusätzlichen Eingriff in die Antriebsregelung, auszuregulieren. Damit werden Drehungleichförmigkeiten durch den Elektromotor des Antriebsstranges kompensiert, wodurch verhindert wird, dass sich diese in den Antriebsstrang fortpflanzen.

30 Aus der WO 2010/023228 A2 ist zwar das Grundkonzept der erfindungsgemäßen Regelung bekannt, allerdings in einem gänzlich anderen Zusammenhang und mit einer gänzlich anderen Zielsetzung. Hier wird die Regelung verwendet, um in einer Prüfstandsanordnung aus Verbrennungsmotor und elektrischer Belastungsmaschine auftretende Resonanzen an der Verbindungswelle zu dämpfen, wenn die Resonanzfrequenz im Bereich der Betriebsfrequenz

des Verbrennungsmotors fällt, um eine hohe Dynamik im Prüfstand realisieren zu können. Dazu wird die Regelung verwendet, um den Drehungleichförmigkeiten des Verbrennungsmotors mit der Belastungsmaschine möglichst genau nachzufahren, um ein Aufschwingen zu vermeiden. Die Belastungsmaschine wird also so geregelt, dass sie der Drehzahl des Verbrennungsmotors möglichst gut folgt, die Belastungsmaschine also mit derselben Drehungleichförmigkeit dreht wie der Verbrennungsmotor.

Im Hybridfahrzeug muss aber vermieden werden, dass sich der Elektromotor mit derselben Drehungleichförmigkeit dreht, da diese ansonsten direkt in den Antriebsstrang weitergegeben werden würde. Darüber hinaus ist der Antriebsstrang eines Hybridfahrzeugs mechanisch in der Regel so ausgelegt, dass keine Resonanzen auftreten können, da das im realen Betrieb des Hybridfahrzeugs nur Probleme machen würde. Somit wird das an sich gleiche Regelungskonzept völlig unterschiedlich verwendet.

Das Wellenmoment an der Motorwelle kann einfach ermittelt werden, wenn die Drehzahl des Verbrennungsmotors und die Drehzahl des Elektromotors erfasst und einem Drehmomentenschätzer zugeführt werden, der daraus ein aktuelles Wellenmoment der Motorwelle schätzt. Solche Drehmomentenschätzer sind an sich hinlänglich bekannt und können die im Antriebsstrang ohnehin vorhandenen Messwerte der Drehzahlen auf einfache Weise verarbeiten. Damit kann die aufwendigere, direkte Messung des Wellenmoments vermieden werden.

Vorteilhafterweise wird ein um den Gleichanteil bereinigtes Wellenmoment ermittelt. Der Grund dafür ist, dass nur der Wechselanteil des übertragenen Momentes vom Verbrennungsmotor zum Elektromotor für die Drehungleichförmigkeiten verantwortlich ist. Somit ist es zielführend, nur den Wechselanteil des Wellenmomentes zu ermitteln.

Ganz besonders vorteilhaft wird aus dem Wellenmoment des aktuellen Arbeitszyklus und dem Wellenmoment eines vorherigen Arbeitszyklus ein transientes Wellenmoment berechnet, indem das aktuelle Wellenmoment von dem gespeicherten vorangegangenen Wellenmoment abgezogen wird, ein prädiktives Wellenmoment ermittelt, indem die Systemverzögerung im gespeicherten vorangegangenen Wellenmoment kompensiert wird und das kompensierte Wellenmoment als Summe aus dem prädiktiven Wellenmoment und dem transienten Wellenmoment ermittelt wird. Das lässt sich mit wenigen Operationen bewerkstelligen, was den Rechenaufwand zur Ermittlung des kompensierten Wellenmoments deutlich reduziert.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 2 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1 ein Blockschaltbild der Regelung des Antriebsstranges eines Hybridfahrzeugs und

Fig.2 ein Blockschaltbild des Kompensationsreglers.

Fig.1 zeigt einen Antriebsstrang 1 eines Hybridfahrzeugs bestehend aus einem Elektromotor 2, der über einer Getriebewelle 4 mit einem Getriebe 5 verbunden ist. Das Getriebe 5 treibt über eine Antriebswelle 7, z.B. in Form einer Kardanwelle, ein Differentialgetriebe 6 an. Vom Differentialgetriebe 6 werden wiederum über zwei Seitenwellen 8 zwei Fahrzeugräder 9 angetrieben. Der Elektromotor 2 ist weiters über Motorwellen 11 und eine Kupplung 10 mit einem Verbrennungsmotor 3 verbunden. Über die Kupplung 10 kann der Verbrennungsmotor 3 bedarfsweise zugeschaltet werden. Selbstverständlich sind auch andere Konfigurationen eines Antriebsstranges 1 denkbar, z.B. ohne Getriebe 5 oder direkt angetriebene Fahrzeugräder 9. Andere benötigte und an sich hinlänglich bekannte elektrische Komponenten, wie z.B. eine Batterie, ein Batteriemanagementsystem, Umrichter, etc., sind in Fig.1 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Ist der Verbrennungsmotor 3 in den Antriebsstrang 1 eingekuppelt entstehen zwischen Verbrennungsmotor 3 und Elektromotor 2 an der Motorwelle 11 Drehungleichförmigkeiten, die im Antriebsstrang 11 zu kompensieren (im Sinne von reduzieren) sind. Dazu ist ein Kompensationsregler K vorgesehen, der ein Kompensationsdrehmoment T_{komp} ermittelt, mit dem das Solldrehmoment T_{soll} zur Ermittlung des Stelldrehmoments T_{stell} für den Antriebsregler 14 (im Wesentlichen Motorsteuerung und Umrichter) des Elektromotors 2 korrigiert wird. Das Solldrehmoment T_{soll} wird z.B. von einer übergeordneten Steuereinheit 15, z.B. einer Hybridsteuereinheit, vorgegeben. Als Eingang für den Kompensationsregler K dient hier das Wellendrehmoment T_w der Motorwelle 11 (bei geschlossener Kupplung 10 kann eine Welle angenommen werden). Das Wellendrehmoment T_w kann direkt gemessen werden, oder kann, wie hier, mittels eines regelungstechnischen Drehmomentenschätzers 13 aus der Drehzahl n_{ICE} des Verbrennungsmotors 3 und der Drehzahl n_{EM} des Elektromotors 2 geschätzt werden. Solche Drehmomentenschätzer 13, z.B. in Form eines erweiterten Kalman Filters, sind hinlänglich bekannt, weshalb hier nicht näher eingegangen wird. Die Drehzahlen n_{ICE} , n_{EM} können durch geeignete Drehzahlsensoren 12 (die in der Regel im Antriebsstrang 1 ohnehin verbaut sind), erfasst werden.

Durch den Drehmomentenschätzer 13 kann der Gleichanteil des Wellenmoments T_w auch herausgefiltert werden, sodass im Kompensationsregler K nur mehr der dynamische Anteil

des Wellenmoments $T_{W,dyn}$, der die Drehungleichförmigkeiten enthält, verarbeitet wird. Der Gleichanteil kann aber auch in der Kompensationsregler K entfernt werden, z.B. durch einen Filter am Eingang des Kompensationsreglers K. Die nachfolgende Erläuterung gilt für T_W und $T_{W,dyn}$ gleichermaßen.

- 5 Durch die Drehzahlmessung und die Verarbeitung der gemessenen Drehzahlen n_{ICE} , n_{EM} im Drehmomentenschätzer 13, steht das Wellenmoment T_W bzw. $T_{W,dyn}$ aber immer nur zeitverzögert zur Verfügung. Außerdem wird durch die Regelung und dem Reaktionsvermögen der Stellglieder selbst eine Zeitverzögerung eingeführt. Die verarbeitungs-, regelungs- und anlagen-spezifischen Verzögerungen bzw. Totzeiten werden in weiterer Folge allgemein als Systemverzögerung bezeichnet. Die Systemverzögerung kann aber vorab, z.B. auf einem Antriebsstrangprüfstand, ermittelt werden und ist als bekannt anzusehen. Gegebenenfalls kann die Systemverzögerung auch geschätzt werden. Durch die Systemverzögerung kann durch den Antriebsregler 14 des Elektromotors 2 immer nur zeitverzögert und zu langsam auf Drehungleichförmigkeiten der Motorwelle 11 reagiert werden. Um dieses Drehungleichförmigkeiten trotzdem kompensieren zu können, werden nun zur Kompensation unter Ausnutzung des zyklischen Arbeitsspiels des Verbrennungsmotors 3 zukünftige (prädiktive) systemverzögerungsfreie Istwerte des Wellenmoments $T_{W,dyn}$ ermittelt und für die Regelung verwendet, wie nachfolgend anhand der Fig.2 beschrieben.

Ein Arbeitszyklus, z.B. ein kompletter Verbrennungszyklus aller Zylinder bei einem Verbrennungsmotor (z.B. 720° Kurbelwinkel bei einem Ottomotor), tritt wiederkehrend auf. Dieser Umstand wird ausgenutzt. Dazu ist im Kompensationsregler K eine Speichereinheit M vorgesehen, in der die Wellenmomente $T_{W,dyn}(n-1)$ zumindest eines dem aktuellen Arbeitszyklus (n) vorangegangenen Arbeitszyklus (n-1) des Verbrennungsmotors 3 gespeichert sind. In der Speichereinheit M sind somit immer die Werte eines vergangenen, bevorzugt des unmittelbar vorangegangenen, Arbeitszyklus gespeichert. Die Speicherung erfolgt dabei bevorzugt 25 winkel- bzw. zeitaufgelöst in diskreten Schritten, z.B. ein Wert des Wellenmoments $T_{W,dyn}$ pro Grad Kurbelwinkel oder pro Millisekunde. Bevorzugt ist der Speicher M als zyklischer Speicher ausgeführt (wie in Fig.2 angedeutet), d.h. dass die gespeicherten Werte getriggert durch die gewählte Winkel- oder Zeitauflösung auflösungstriggert durchgeschoben werden, bis diese wieder aus dem Speicher M herausfallen. Wird z.B. eine Auflösung von einem Wert pro Grad Kurbelwinkel gewählt, so hat der Speicher M 720 Speicherplätze für einen zu speichernden Arbeitszyklus.

Die Wellenmomente des vorangegangenen Arbeitszyklus $T_{W,dyn}(n-1)$ werden nun aus dem Speicher M zeitsynchron (oder winkelsynchron) einer Berechnungseinheit S zugeführt, d.h. 35 das zur aktuellen Zeit (oder Winkel) - bezogen auf den Arbeitszyklus - der jeweils zur selben Zeit (oder Winkel) gespeicherte Wert des vergangenen Arbeitszyklus (n-1) in die Berech-

nungseinheit S zugeführt wird. Ebenso werden die aktuellen Wellenmomente $T_{W,dyn}(n)$ der Berechnungseinheit S zugeführt.

Die aktuellen Wellenmomente $T_{W,dyn}(n)$ ändern sich von einem Arbeitszyklus ($n-1$) zum nächsten Arbeitszyklus (n) um einen eventuell vorhandenen transienten Anteil. Ändert sich
5 das Wellenmoment $T_{W,dyn}$ über einen Arbeitszyklus nicht, dann ist der Antriebsstrang in einem quasistationären Betrieb, der sich pro Arbeitszyklus wiederholt, wobei dieser Anteil als iterativer Anteil bezeichnet wird. In diesem Fall wäre der transiente Anteil Null. Die Dynamik des transienten Anteils ist dabei geringer als die Dynamik des iterativen Anteils.

In einer bevorzugten Methode werden nun die gespeicherten Werte des Wellenmoments
10 $T_{W,dyn}(n-1)$ des vorangegangenen Arbeitszyklus ($n-1$) herangezogen, um prädiktive (in der Zukunft liegende) Wellenmomente zu ermitteln und um damit die Systemverzögerung zu kompensieren. Es wird dazu in der Berechnungseinheit S zuerst ein transienter Anteil in Form der transienten Wellenmomente T_{W,dyn_trans} berechnet, indem die aktuellen Wellenmomente $T_{W,dyn}(n)$ zeitsynchron (oder winkelsynchron) von den gespeicherten vorangegangenen
15 Wellenmomente $T_{W,dyn}(n-1)$ abgezogen werden. In diesem transienten Anteil T_{W,dyn_trans} ist aber immer noch die Systemverzögerung enthalten.

In einer Korrekturereinheit V werden nun weiters prädiktive Wellenmomente T_{W,dyn_komp} ermittelt, indem die Systemverzögerung in den gespeicherten vorangegangenen Wellenmomente
20 $T_{W,dyn}(n-1)$ kompensiert wird. Das erfolgt z.B. indem zum aktuellen Kurbelwinkel (oder Zeit) nicht der zugehörige gespeicherte Wert des Wellenmoments $T_{W,dyn}(n-1)$, sondern der um die bekannte Systemverzögerung zeitlich weiter vorne liegende, also ein zukünftiger, Wert weitergegeben wird. Dazu kann die Korrekturereinheit V z.B. selbst eine Speichereinheit für vergangene Wellenmomente $T_{W,dyn}(n-1)$ enthalten, um die richtigen Werte ermitteln und weitergeben zu können. Die derart kompensierten (prädiktiven) Wellenmomente T_{W,dyn_komp} (ohne
25 Systemverzögerung) und die transienten Wellenmomente T_{W,dyn_trans} (mit Systemverzögerung) werden nun addiert, wodurch sich ein kompensiertes Wellenmoment T_{komp} ergibt, das letztendlich der Regelung rückgeführt wird. Das kompensierte Wellenmoment T_{komp} ist damit eine Mischung aus einem prädiktiven Anteil ohne Systemverzögerung und einem transienten Anteil mit Systemverzögerung. Im prädiktiven, nun systemverzögerungsfreien Anteil steckt
30 die Information mit der hohen Dynamik, welche für eine phasenrichtige Regelung notwendig ist. Die Dynamik des transienten Anteils ist wesentlich geringer als die des prädiktiven Anteils, weshalb hier die Systemverzögerung problemlos ist.

Auf die Korrekturereinheit V kann in der Berechnungseinheit S auch verzichtet werden, wenn
35 z.B. die Speichereinheit M zwei Ausgänge aufweist, wobei an einem Ausgang die zum aktuellen Winkel (oder Zeit) zugehörigen Wellenmomente $T_{W,dyn}(n-1)$ ausgegeben werden und

am anderen Ausgang, die um die Systemverzögerung zeitlich verschobenen Wellenmomente T_{W,dyn_komp} Werte ausgegeben werden, wenn also die Korrekturereinheit V im Speicher integriert ist. Alternativ können im Kompensationsregler K auch zwei zyklische Speichereinheiten vorgesehen sein, wobei in einer Speichereinheit jeweils der gesamte Arbeitszyklus zeit- oder winkelaufgelöst, z.B. 720° Kurbelwinkel bei einem Otto-Verbrennungsmotor, gespeichert wird und in der anderen, der um die Systemverzögerung verkürzte Arbeitszyklus, z.B. 690° Kurbelwinkel bei einem Otto-Verbrennungsmotor und einer Systemverzögerung von 30°. Am zweiten Ausgang liegt damit immer ein um die Systemverzögerung „zukünftiger“ Wert an.

Der Antriebsregler 14 erhält somit als Stellmoment T_{stell} eine Größe, die eine prädiktive Komponente enthält, die um die Systemverzögerung in der Zukunft liegt. Auf diese Weise kann der Antriebsregler 14 die Drehungleichförmigkeiten der Motorwelle 11 mit dem Elektromotor 2 kompensieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Elektromotors (2) eines Antriebsstranges (1) eines Hybridfahrzeuges, wobei der Elektromotor (2) über eine Antriebswelle (7) mit den Antriebsrädern (9) und über eine Motorwelle (11) mit einem Verbrennungsmotor (3), der Drehungleichförmigkeiten in den Antriebsstrang (1) einbringt, verbunden ist, und einem Antriebsregler (14) des Elektromotors (2) ein Stelldrehmoment (T_{stell}) vorgegeben wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Wellenmoment (T_W) der Motorwelle (11) des aktuellen Arbeitszyklus (n) des Verbrennungsmotors (3) erfasst und einem Kompensationsregler (K) zugeführt wird, **dass** im Kompensationsregler (K) das Wellenmoment ($T_{W(n-1)}$) eines vorgehenden Arbeitszyklus (n-1) des Verbrennungsmotors (3) gespeichert wird **und dass** aus dem Wellenmoment ($T_{W(n)}$) des aktuellen Arbeitszyklus (n), dem Wellenmoments ($T_{W(n-1)}$) eines vorherigen Arbeitszyklus (n-1) und dem um eine Systemverzögerung verschobenen Wellenmoments des vorherigen Arbeitszyklus (n-1) ein kompensiertes Wellenmoment (T_{komp}) berechnet wird, das zur Ermittlung des Stelldrehmoments (T_{stell}) mit dem von einer übergeordneten Steuereinheit (15) vorgegebenen Solldrehmoment (T_{soll}) verknüpft wird, um die Drehungleichförmigkeiten des Verbrennungsmotors (3) durch den Elektromotor (2) zu kompensieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drehzahl (n_{ICE}) des Verbrennungsmotors (3) und die Drehzahl (n_{EM}) des Elektromotors (2) erfasst und einem Drehmomentenschätzer (13) zugeführt wird, der ein aktuelles Wellenmoment (T_W) der Motorwelle (11) schätzt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein um den Gleichanteil bereinigtes Wellenmoment ($T_{W,\text{dyn}}$) ermittelt und dem Kompensationsregler (K) zugeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem Wellenmoment ($T_W(n)$, $T_{W,\text{dyn}}(n)$) des aktuellen Arbeitszyklus (n) und dem Wellenmoments ($T_W(n-1)$, $T_{W,\text{dyn}}(n-1)$) eines vorherigen Arbeitszyklus (n-1) ein transientes Wellenmoment ($T_{W,\text{dyn},\text{trans}}$) berechnet wird, indem das aktuelle Wellenmoment ($T_W(n)$, $T_{W,\text{dyn}}(n)$) von dem gespeicherten vorangegangenen Wellenmoment ($T_W(n-1)$, $T_{W,\text{dyn}}(n-1)$) abgezogen wird, **dass** ein prädiktives Wellenmomente ($T_{W,\text{komp}}$, $T_{W,\text{dyn},\text{komp}}$) ermittelt wird, indem die Systemverzögerung im gespeicherten vorangegangenen Wellenmoment ($T_W(n-1)$, $T_{W,\text{dyn}}(n-1)$) kompensiert wird **und dass** das kompensierte Wellenmoment (T_{komp}) als Summe aus dem prädiktiven Wellenmomente ($T_{W,\text{komp}}$, $T_{W,\text{dyn},\text{komp}}$) und dem transienten Wellenmoment ($T_{W,\text{trans}}$, $T_{W,\text{dyn},\text{trans}}$) ermittelt wird.

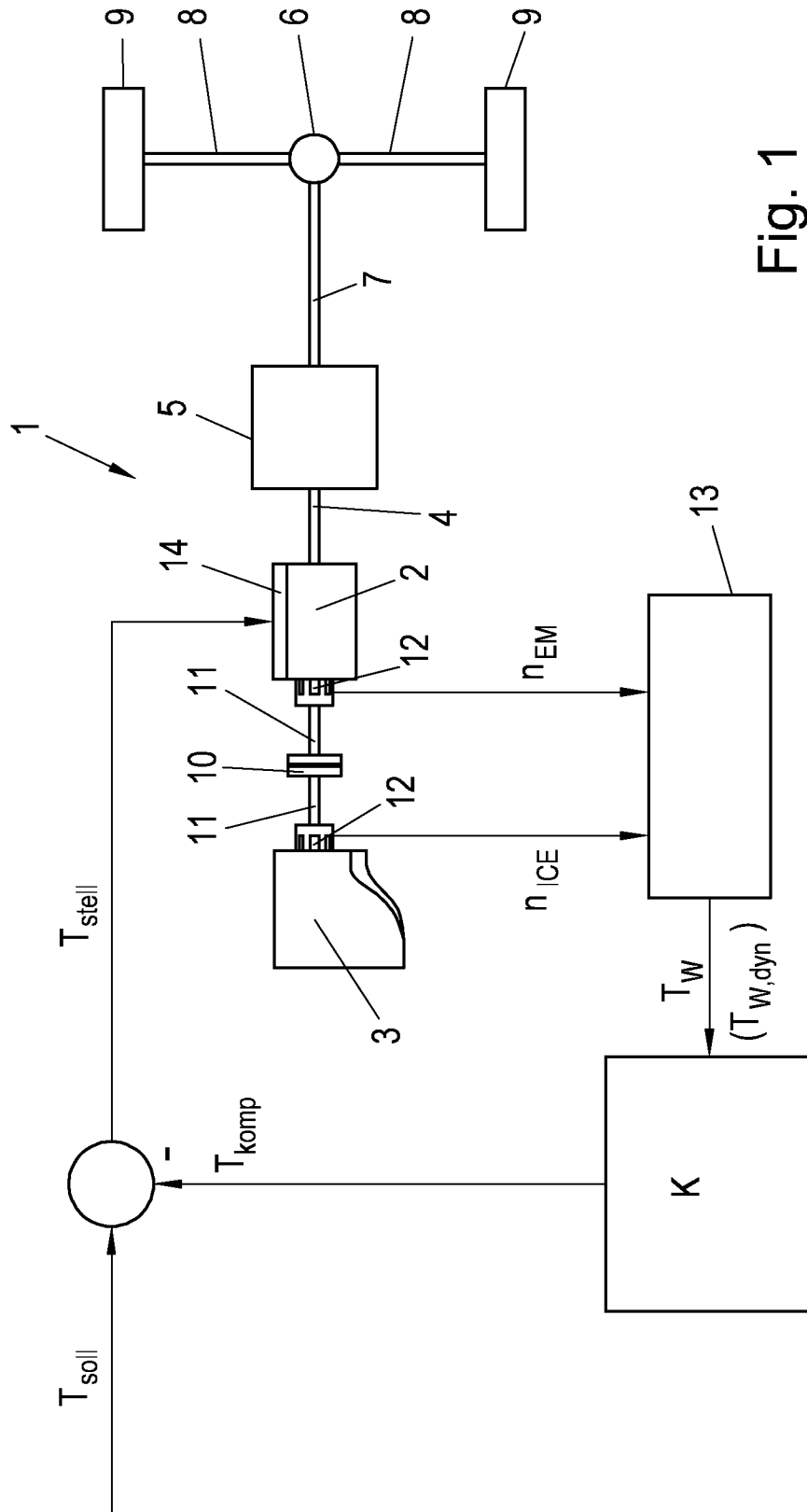


Fig. 1

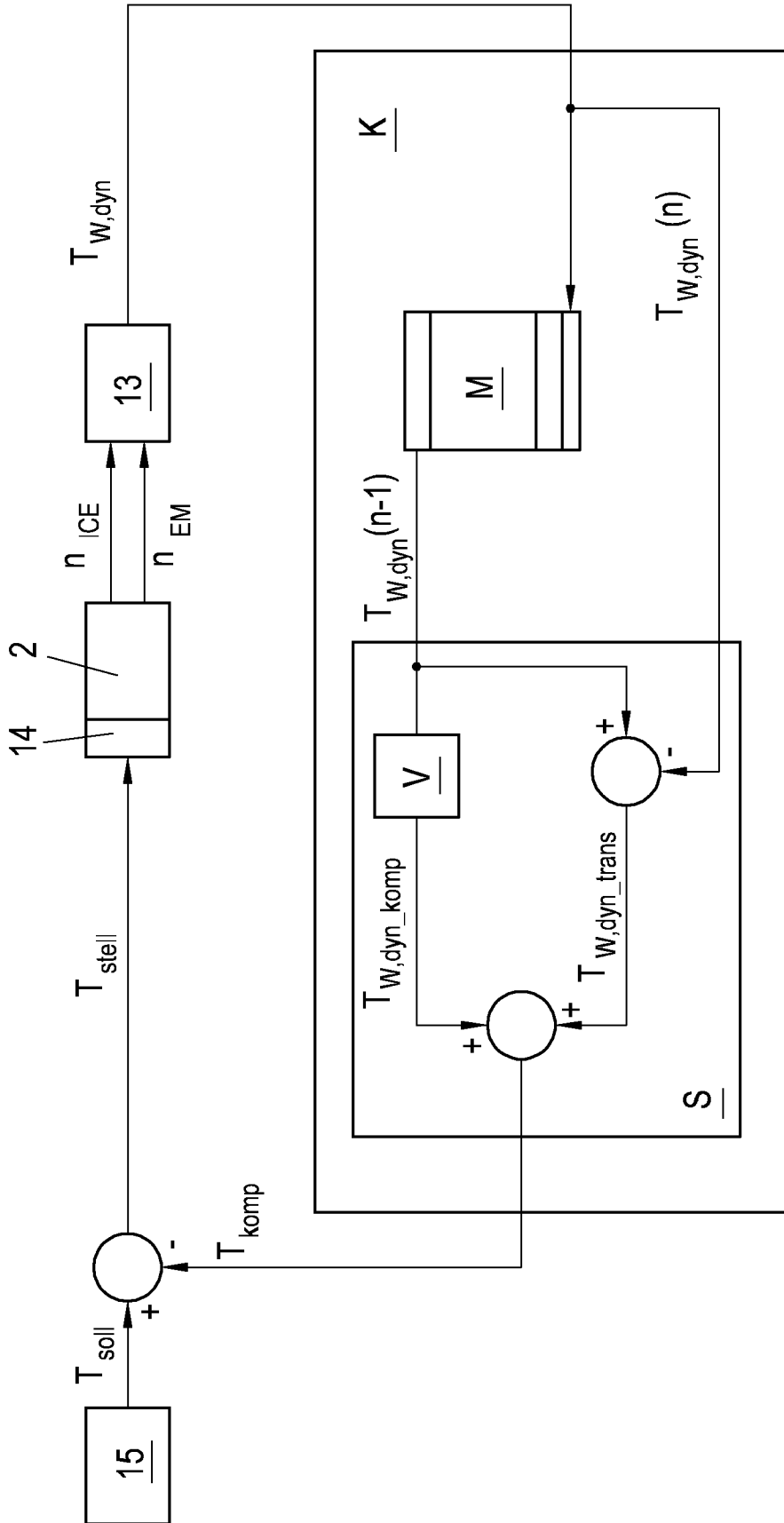


Fig. 2