

(19)



(11)

EP 3 408 519 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
27.05.2020 Patentblatt 2020/22

(51) Int Cl.:
F02N 11/04 ^(2006.01) **F02D 41/14** ^(2006.01)
F02D 41/00 ^(2006.01) **F02D 41/04** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16819546.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2016/082125

(22) Anmeldetag: **21.12.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2017/129330 (03.08.2017 Gazette 2017/31)

(54) **ERMITTELN VON BETRIEBSZUSTÄNDEN EINES VERBRENNUNGSMOTORS DURCH EINEN GENERATORREGLER EINER MIT DEM VERBRENNUNGSMOTOR GEKOPPELTEN ELEKTRISCHEN MASCHINE**

DETERMINING OPERATING STATES OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY MEANS OF A GENERATOR REGULATOR OF AN ELECTRIC MACHINE WHICH IS COUPLED TO THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

DÉTERMINATION D'ÉTATS DE FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE PAR UN RÉGULATEUR D'ALTERNATEUR D'UN MOTEUR ÉLECTRIQUE ACCOUPLED AU MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **27.01.2016 DE 102016201124**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
05.12.2018 Patentblatt 2018/49

(73) Patentinhaber: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder: **MEHRINGER, Paul**
70569 Stuttgart (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 780 689 EP-A1- 1 541 843
EP-A2- 0 408 877 DE-A1- 10 035 463
DE-A1- 10 062 985

EP 3 408 519 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Betriebszustands einer Brennkraftmaschine sowie eine Recheneinheit, vorzugsweise einen Regler für eine elektrische Maschine, und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung.

Stand der Technik

[0002] Zur Regelung der Bordnetzspannung in Fahrzeugen können elektrische Maschinen, insbesondere fremderregte elektrische Maschinen verwendet werden. Diese weisen einen Regler auf, der in Abhängigkeit von der Bordnetzspannung den Erregerstrom der elektrischen Maschine regelt. Eine derartige Maschine ist aus der DE102012204751 A1 oder der EP 078 089 A1 bekannt.

[0003] Zudem kann man auch sog. intelligente Regler verwenden, die im Betriebszustand Schubbetrieb einen höheren Erregerstrom an der elektrischen Maschine einstellen, um elektrische Energie rückzugewinnen und im Falle des Betriebszustands Beschleunigung durch die Brennkraftmaschine, die die Abgabeströme der elektrischen Maschine reduziert, um mehr Antriebsdrehmoment zur Beschleunigung des Fahrzeugs zur Verfügung zu stellen.

[0004] Ist nachfolgend allgemein von einer elektrischen Maschine die Rede, kann es sich hierbei auch um eine generatorisch und/oder motorisch betreibbare elektrische Maschine handeln, beispielsweise um einen sogenannten Startergenerator.

[0005] Die Erkennung dieser Betriebszustände der Brennkraftmaschine obliegt derzeit dem Motorsteuergerät, dass diese Betriebszustände auf Basis der eigenen Regelvorgaben erkennt und mittels geeigneter Schnittstelle entsprechende Vorgaben bzgl. des jeweiligen Betriebszustands der Brennkraftmaschine an den Regler der elektrischen Maschine macht. Infolgedessen steuert der Regler über eine Sollspannungsvorgabe der Bordnetzspannung die Stromabgabe des Generators.

[0006] Dieses Verfahren ist jedoch aufwendig, da die jeweiligen Betriebszustände der Brennkraftmaschine erst extern im Motorsteuergerät der Brennkraftmaschine ermittelt werden, die ermittelten Betriebszustände an den Regler der elektrischen Maschine übermittelt werden und anschließend, sofern erforderlich, der Regler die für den jeweiligen Betriebszustand der Brennkraftmaschine entsprechende Regelvorgabe an der elektrischen Maschine ausführt.

[0007] Zudem muss eine Kommunikationsverbindung zwischen Regler und Motorsteuergerät vorhanden und stets aufrechterhalten werden, um eine entsprechende Regelung der elektrischen Maschine zu ermöglichen.

[0008] Es wäre daher wünschenswert, dass die Betriebszustandserkennung der Brennkraftmaschine nicht auf Regelvorgaben des Motorsteuergeräts, sondern auf objektiven Zustandsgrößen bzw. daraus direkt basieren-

den Messgrößen beruhen, die den Betriebszustand der Brennkraftmaschine sicher wiedergeben.

Offenbarung der Erfindung

[0009] Es werden ein Verfahren zum Ermitteln eines Betriebszustands einer Brennkraftmaschine sowie einer Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

Vorteile der Erfindung

[0010] Das Verfahren dient zum Ermitteln eines Betriebszustands einer Brennkraftmaschine mittels einer Steuereinheit, wobei vorzugsweise die Steuereinheit als Regler einer mit der Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine ausgebildet ist.

[0011] Die elektrische Maschine kann durch die Brennkraftmaschine angetrieben werden, wobei die elektrische Maschine mit der Brennkraftmaschine fest verbunden und an deren Kurbelwelle beispielsweise mittels eines Riementriebs gekoppelt sein kann. Durch das Verfahren wird mittels einer Steuereinheit der zeitliche Verlauf zumindest eines Phasensignals der elektrischen Maschine ermittelt. Bei einem Phasensignal handelt es sich vorliegend um die Phasenspannung und/oder den Phasenstrom zumindest einer der ständerseitigen Phasenvicklungen der elektrischen Maschine, insbesondere gegen ein festes Bezugspotential wie z.B. Masse.

[0012] Im Anschluss wird aus dem zeitlichen Verlauf des Phasensignals der elektrischen Maschine ein zeitlicher Verlauf einer Drehzahl der elektrischen Maschine ermittelt. Im Anschluss hieran wird der zeitliche Verlauf der Drehzahl analysiert und zumindest ein durch die Brennkraftmaschine bewirktes Drehzahlmuster aus dem zeitlichen Verlauf der Drehzahl ermittelt. Hieran anschließend wird auf Basis des zumindest einen ermittelten Drehzahlmusters zumindest ein Betriebszustand der Brennkraftmaschine ermittelt, wobei es sich bei dem Betriebszustand vorzugsweise um einen Betriebszustand einer betriebenen Brennkraftmaschine handelt.

[0013] Auf diese Weise können auf sehr einfache Art verschiedene Betriebszustände der Brennkraftmaschine anhand zumindest eines Phasensignals der elektrischen Maschine ermittelt werden. Dies ist möglich, da sich die jeweiligen Betriebszustände der Brennkraftmaschine und die damit verbundenen charakteristischen Drehzahlmuster bzw. Drehzahlsignaturen aufgrund der Kopplung zwischen der elektrischen Maschine und der Brennkraftmaschine, insbesondere durch einen die elektrische Maschine antreibenden Riementrieb, aufeinander übertragen.

[0014] Es wurde erkannt, dass die für jeweilige Betriebszustände der Brennkraftmaschine charakteristischen Drehzahlmuster, insbesondere in Form von Os-

zillationen bzw. Schwingungen, sich nicht nur auf den Generator als solchen übertragen, sondern dass die für die jeweiligen Betriebszustände charakteristischen Drehzahlmuster direkt aus zumindest einem der Phasensignale der elektrischen Maschine extrahierbar sind und auf Basis der jeweiligen Drehzahlsignaturen auf einen jeweiligen Betriebszustand der Brennkraftmaschine rückgeschlossen werden kann.

[0015] Vorzugsweise wird zumindest einer der zuvor bezeichneten Verfahrensschritte mittels einer Steuereinheit, insbesondere mittels eines Reglers einer mit der Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine ausgeführt. Hierbei ist der Regler vorzugsweise baulich in die oder an der elektrischen Maschine angeordnet. Das Ausführen der jeweiligen Verfahrensschritte in der Steuereinheit, insbesondere im Regler der elektrischen Maschine, ist besonders von Vorteil, da es zur Durchführung einzelner Schritte bzw. des gesamten Verfahrensablaufs nicht zwingend einer Kommunikationsleitung z. B. einer LIN-Verbindung zwischen der elektrischen Maschine, insbesondere des Reglers der elektrischen Maschine, und einer externen Einheit, insbesondere eines Motorsteuergeräts, bedarf.

[0016] Es versteht sich jedoch, dass eine solche Verbindung zwischen dem Generatorregler und einer externen Einheit, insbesondere eines Motorsteuergeräts, durchaus vorgesehen sein kann, um entweder in der elektrischen Maschine ermittelte Daten zur Weiterverarbeitung an ein Motorsteuergerät zu transferieren oder dass sogar abhängig von der jeweiligen Regelungsarchitektur eines Fahrzeugs ein jeweiliges Motorsteuergerät auch Teile der einzelnen Verfahrensschritte ausführen kann, wodurch das Verfahren besonders einfach und gegen Störungen robust ausführbar ist. Auch eine redundante Ermittlung von Werten und ggf. den daraus abgeleiteten Betriebszuständen ist somit möglich.

[0017] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren bei einer elektrischen Maschine ohne einen Freilauf verwendet. Durch eine dauerhafte Zwangskopplung der elektrischen Maschine und der Brennkraftmaschine können die durch die Brennkraftmaschine bewirkten Drehzahlsignaturen noch besser erkannt werden.

[0018] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das zumindest eine durch die Brennkraftmaschine bewirkte Drehzahlmuster einen Gradienten des zeitlichen Verlaufs des Mittelwerts der Drehzahl und/oder einer dem zeitlichen Verlauf des Mittelwerts der Drehzahl überlagerte Oszillation, insbesondere eine Periode und/oder eine Amplitude einer Schwingung auf, wobei das jeweilige Drehzahlmuster mittels eines entsprechenden Filters, vorzugsweise eines adaptiven Frequenzbandpassfilters, abgeleitet wird.

[0019] Die Brennkraftmaschine gibt ihr jeweiliges Drehmoment impulsartig an die Kurbelwelle ab. Die Frequenz der Drehmomentabgabe wird im Wesentlichen durch die aktuelle Drehzahl und die Zylinderzahl einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Verbren-

nungsmotors, bestimmt. Durch die Kopplung der elektrischen Maschine, beispielsweise mittels eines Riemenantriebs an die Welle der Brennkraftmaschine, wird die Frequenz der impulsartigen Drehmomentabgabe in die elektrische Maschine derart eingekoppelt, dass sich diese als dem mittleren Drehzahlsignal überlagerte Oszillation ableiten lässt.

[0020] Die mittlere Drehzahl bzw. der Mittelwert des zeitlichen Verlaufs der Drehzahl wird über ein festlegbares Zeitintervall ermittelt. Dieses Zeitintervall umfasst typischerweise mehrere Perioden der Schwingungen bzw. der Oszillationen und ist insbesondere derart gewählt, dass der Gradient des Mittelwerts eine zeitliche Tendenz der Drehzahländerung z.B. fallend, steigend oder konstant, wiedergibt.

[0021] Somit kann aufgrund der Kopplung zwischen der elektrischen Maschine und der Brennkraftmaschine, durch eine charakteristische Ab- bzw. Zunahme der jeweiligen Drehzahl auf einen jeweils vorliegenden Betriebszustand der Brennkraftmaschine rückgeschlossen werden. Die Kombination beider Drehzahlmuster bzw. Drehzahlcharakteristika (Oszillation bzw. Gradient) kann wiederum dafür herangezogen werden, die aus dem jeweils anderen Drehzahlmuster ermittelten Betriebszustände zu plausibilisieren.

[0022] Zur Ermittlung der Oszillationen, die durch die Brennkraftmaschine bewirkt und in die elektrische Maschine eingekoppelt werden, bietet sich an, dass über eine definierte Zeit Messwerte der Drehzahl erfasst und abgespeichert werden, wobei von diesen Messwerten über eine zeitliche Extrapolation ein Gradient erfasst werden kann. Zudem ist durch Mittelwertbildung über die erfassten und gespeicherten Werte und aus einer Schwankung der jeweiligen Werte um den Mittelwert, durch erfassen der Maxima und Minima die Amplitude einer Schwingung ermittelbar. Durch eine zeitliche Extrapolation dieser Werte ist zudem das Frequenzverhalten der Schwingung bzw. der Oszillationen ermittelbar.

[0023] Zudem können die jeweiligen Drehzahlmuster alternativ mittels eines Filters, insbesondere eines Frequenzfilters aus dem Drehzahlsignal, das aus den jeweiligen Phasensignalen der elektrischen Maschine ermittelt wurde, extrahiert werden, wobei das jeweilige Frequenzband dieses Frequenzbandpassfilters entsprechend der vorliegenden Motorcharakteristik, insbesondere der vorliegenden Drehzahl bzw. der Zylinderzahl und das Taktverhältnis des jeweiligen Motors entsprechend angepasst werden kann, um die jeweiligen Oszillationen sicher aus dem Drehzahlsignal ableiten zu können.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zumindest der Betriebszustand der Brennkraftmaschine, Abgabe von Drehmoment, insbesondere Beschleunigung oder keine Abgabe von Drehmoment, insbesondere Schub, oder Leerlauf ermittelt.

[0025] Es ist besonders vorteilhaft, die vorgenannten Betriebszustände zu erkennen, da entsprechend der vor-

genannten Betriebszustände die elektrische Maschine geregelt werden kann. Hierbei lassen sich insbesondere aus der Oszillation, die dem mittleren Drehzahlsignal überlagert ist, die jeweiligen Betriebszustände der Brennkraftmaschine ermitteln.

[0026] Die Frequenz der Oszillation korreliert mit der jeweiligen Drehzahl der Brennkraftmaschine, wobei die Amplitude der Oszillation, insbesondere deren Betrag, mit der Zündung eines Kraftstoff-Luftgemischs in der Brennkraftmaschine, insbesondere der Abgabe von Drehmoment durch die Brennkraftmaschine, korreliert. Die Frequenz der Oszillation ist dabei in erster Näherung direkt von der aktuellen mittleren Drehzahl abhängig, sofern sich nicht die Zahl der aktiven Zylinder, beispielsweise durch Zylinderabschaltung o.ä. ändert. Wird somit eine Erhöhung bzw. Erniedrigung der Frequenz der Oszillation detektiert, lässt diese Signatur eine Feststellung darüber zu, ob und wie stark sich die Drehzahl der Brennkraftmaschine erhöht bzw. erniedrigt.

[0027] Aus der Amplitudenhöhe der Oszillation lässt sich entsprechend bestimmen, ob die Brennkraftmaschine Drehmoment abgibt, was auf eine Beschleunigung bzw. einen Leerlauf der Brennkraftmaschine schließen lässt. Im Fall einer sehr geringen bis vernachlässigbaren Amplitude der Oszillationen, lässt dies auf keine Abgabe von Drehmoment durch die Brennkraftmaschine bzw. keine Zündung eines Kraftstoff-Luftgemischs in der Brennkraftmaschine, insbesondere einen Schubbetrieb, schließen.

[0028] Der Leerlaufbetrieb zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass zwar eine Abgabe von Drehmoment, d. h. eine deutlich erkennbare Amplitudenhöhe beobachtbar ist, jedoch keine wesentliche Drehzahlzunahme bzw. -abnahme zu beobachten ist.

[0029] Es kann zudem im Betriebszustand, in dem durch die Brennkraftmaschine kein Drehmoment abgegeben wird, der Gradient des Drehzahlverlaufs für die Auswertung und Ermittlung des jeweiligen Betriebszustands herangezogen werden, da in diesem Betriebszustand die Oszillationen sehr gering sind. Durch das beschriebene Verfahren lassen sich zudem die zeitlichen Übergangsbereiche zwischen den einzelnen Betriebszuständen klar erfassen, was insbesondere für eine Regelung der elektrischen Maschine in vorteilhafter Weise nutzbar ist.

[0030] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens zum Ermitteln eines Betriebszustands einer Brennkraftmaschine weist dieses Verfahren einen weiteren Verfahrensschritt auf, in dem ein Bewegungsmuster der Brennkraftmaschine durch einen Bewegungssensor ermittelt wird und auf Basis des zumindest einen ermittelten Bewegungsmusters ein Betriebszustand der Brennkraftmaschine ermittelt wird.

[0031] Der jeweilige Betriebszustand der Brennkraftmaschine kann neben der Ermittlung aus dem Drehzahlmuster, das aus einem Phasensignal der elektrischen Maschine ermittelt wird, auch aus einem Bewegungsmuster eines Bewegungssensors ermittelt werden, der

mit der Brennkraftmaschine in Wirkverbindung steht, vorzugsweise auf der elektrischen Maschine angeordnet ist.

[0032] Hierdurch ergibt sich eine redundante Informationsquelle aus der die jeweiligen Betriebszustände der Brennkraftmaschine ableitbar sind. Als Bewegungssensoren hierfür eignen sich insbesondere Optische Bewegungssensoren oder Beschleunigungssensoren in Form von Mikro-Elektro-Mechanischen Systemen (MEMS) oder sonstige Beschleunigungssensoren, beispielsweise auf piezokeramischer Basis.

[0033] Hierbei ist es weiter bevorzugt, dass der aus dem Drehzahlmuster ermittelte Betriebszustand der Brennkraftmaschine mit dem aus dem Bewegungsmuster ermittelten Betriebszustand der Brennkraftmaschine verglichen wird.

[0034] Durch eine Kombination der aus dem jeweiligen Sensor - elektrische Maschine bzw. Recheneinheit oder Bewegungssensor - ermittelten Betriebszustände, können die jeweiligen sensorischen Vorteile der Sensoren optimal genutzt werden, um nahezu jeden möglichen Betriebszustand der Brennkraftmaschine sicher ermitteln zu können. Insbesondere das Starten bzw. das Stoppen der Brennkraftmaschine ist typischerweise mit starken Rüttelbewegungen verbunden, die sicher über den Bewegungssensor ermittelbar sind. Durch den Vergleich der ermittelten Betriebszustände auf Basis des Drehzahlmusters und/oder des Bewegungsmusters, können die Betriebszustände, sofern nötig, auch noch miteinander abgeglichen und plausibilisiert werden. Im Falle eines Widerspruchs der aus den beiden Sensoren ermittelten Betriebszustände kann zudem eine Fehlermeldung oder eine für einen solchen Zustand weiter vorgesehene Regelstrategie der elektrischen Maschine initiiert werden.

[0035] In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform weist das Verfahren einen weiteren Verfahrensschritt zur Regelung der elektrischen Maschine auf, in dem der Erregerstrom der elektrischen Maschine in einem jeweiligen Betriebszustand der Brennkraftmaschine derart geregelt wird, dass das Bremsmoment der elektrischen Maschine vergrößert oder verkleinert wird.

[0036] Eine entsprechende Regelung der elektrischen Maschine auf Basis des jeweils ermittelten Betriebszustands der Brennkraftmaschine ist vorteilhaft, da hierdurch im Fall eines Beschleunigungsvorgangs, in dem möglichst das gesamte von der Brennkraftmaschine geforderte und abgegebene Drehmoment in Vortrieb umgesetzt werden sollte, das Bremsmoment der elektrischen Maschine verkleinert, sogar bis auf 0 abgesenkt werden kann, um den Beschleunigungsvorgang nicht zu beeinträchtigen. Entsprechend kann während eines Schubbetriebs der Brennkraftmaschine durch Anpassung des Erregerstroms der elektrischen Maschine Mittels des Reglers das Bremsmoment der elektrischen Maschine erhöht werden, wodurch zum einen die Geschwindigkeitszunahme eines Fahrzeugs, in das die Brennkraftmaschine aufgenommen ist, reguliert werden kann und die durch den Schubbetrieb bedingte Aufnahme von Energie mittels Rekuperation der elektrischen Maschine ins

Kraftfahrzeugbordnetz eingespeist werden kann.

[0037] Hierbei ist es besonders bevorzugt, dass der Erregerstrom unter Vorgabe einer Sollspannung und/oder eines Sollstroms des Kraftfahrzeugbordnetzes oder unter Vorgabe einer Maximalstromabgabe, wobei die Maximalstromabgabe und / oder der maximale Erregerstrom vorzugsweise nach Betriebszuständen der Brennkraftmaschine parametrisiert wird, geregelt wird.

[0038] Durch eine derartige Erregerstromregelung, die auf einer Vorgabe der Sollspannung bzw. des Sollstroms des Kraftfahrzeugbordnetzes beruht, kann eine entsprechende Rekuperation im Schubbetrieb bzw. ein nahezu bremsmomentfreies Mitlaufen der elektrischen Maschine im Beschleunigungsbetrieb der Brennkraftmaschine entsprechend umgesetzt werden. Alternativ kann eine derartige Regelung auch über eine Regelung eines in das Kraftfahrzeugbordnetz abzugebenden Maximalstroms geregelt werden, wobei dieser Maximalstrom wiederum abhängig von den jeweiligen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine parametrisiert werden kann. Eine derartige Parametrisierung kann entweder numerisch erfolgen oder durch Abfrage der in einem hinterlegten Kennfeld gespeicherten Parameter umgesetzt werden.

[0039] Eine Recheneinheit, insbesondere ein Regler für eine elektrische Maschine der vorzugsweise in der elektrischen Maschine angeordnet ist, aber auch extern zur elektrischen Maschine anordenbar ist, ist besonders vorteilhaft, da hierdurch auf besonders einfache Art und Weise das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist. Das Ausführen des Verfahrens in einem Regler der elektrischen Maschine ist überdies besonders vorteilhaft, da sowohl die Auswertung der Signale, das Ermitteln der jeweiligen Betriebszustände und das Einregeln der elektrischen Maschine auf Basis der ermittelten Betriebszustände ohne zusätzliche externe Kommunikationsverbindung erfolgen kann.

[0040] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

[0041] Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer betriebszustandsbasierten Regelung einer elektrischen Maschine durch die Motorsteuerung mittels einer Kommunikationsverbindung gemäß dem Stand der Technik;

Figur 2 a) zeigt eine Brennkraftmaschine sowie eine an die Brennkraftmaschine gekoppelte erfindungsgemäße elektrische Maschine in einer schematischen Darstellung;

Figur 2 b) zeigt eine Brennkraftmaschine sowie eine an die Brennkraftmaschine gekoppelte elektrische Maschine gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, in schematischer Darstellung;

Figur 2 c) zeigt eine weitere elektrische Maschine

gemäß einem noch weiteren Ausführungsbeispiel, in schematischer Darstellung;

Figur 3 zeigt einen zeitlichen Verlauf einer Phasenspannung der elektrischen Maschine sowie die hieraus abgeleitete Drehzahl;

Figur 4 zeigt einen Drehzahlverlauf der Brennkraftmaschine, in dem mehrere Betriebszustände einer Brennkraftmaschine durchlaufen werden;

Figur 5 a)- e) zeigt fünf exemplarisch ausgewählte Betriebszustände der Brennkraftmaschine, die aus einem Drehzahlmuster ermittelt werden; und

Figur 6 a) - g) zeigt sieben exemplarisch ausgewählte Betriebszustände der Brennkraftmaschine, die aus einem Bewegungsmuster eines Bewegungssensors ermittelt werden.

[0042] In Figur 1 ist eine aus dem Stand der Technik bekannte Steuerung zur Regelung der Spannung in einem Kraftfahrzeugbordnetz 10 gezeigt. Das Kraftfahrzeugbordnetz 10 wird mittels einer an eine Brennkraftmaschine 12 gekoppelten elektrischen Maschine 14 gespeist, wobei die elektrische Maschine 14 mittels eines Kopplungselements 16, typischerweise ein Riementrieb, durch die Brennkraftmaschine 12 angetrieben wird. Zur Regelung der Bordnetzspannung 10 ist eine Recheneinheit 18 in Form eines Reglers 20 vorgesehen, der in Abhängigkeit von der Bordnetzspannung 10 den Erregerstrom der elektrischen Maschine entsprechend einregelt.

[0043] Um die Regelung bzw. das Einspeisen elektrischer Energie in das Fahrzeugbordnetz 10 abhängig von den jeweiligen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine 12 regeln zu können, werden typischerweise die entsprechenden Betriebszustände der Brennkraftmaschine 12 durch ein der Brennkraftmaschine 12 zugeordnetes Steuergerät 22 ermittelt, woraufhin das Steuergerät 22 über eine Kommunikationsverbindung 24 Steuersignale an den Regler 20 übermittelt, um einen Erregerstrom der elektrischen Maschine 14 entsprechend des jeweiligen Betriebszustands der Brennkraftmaschine 12 einzustellen. Hierbei ist der Regler 20 der elektrischen Maschine 14 bzw. eine entsprechende extern zur elektrischen Maschine 14 angeordnete Recheneinheit (nicht abgebildet) hinsichtlich einer Ermittlung der jeweiligen Betriebszustände der Brennkraftmaschine 12 stets passiv und lediglich dafür eingerichtet, auf Basis einer Ansteuerung durch das Steuergerät 22 den Erregerstrom der elektrischen Maschine 14 entsprechend des jeweiligen Betriebszustandes zu erhöhen bzw. zu verringern.

[0044] In Figur 2 a) ist eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Aufbaus einer Brennkraftmaschine 112 und einer mit der Brennkraftmaschine 112 verbundenen elektrischen Maschine 114 gezeigt, wobei die elektrische Maschine 114 mittels eines Riemens 116

von der Brennkraftmaschine 112 angetrieben wird. Der Riemen 116 ist motorseitig mit der Kurbelwelle 117 der Brennkraftmaschine 112 wirkverbunden. Die Brennkraftmaschine 112 gibt bedingt durch die Arbeitstakte der jeweiligen Zylinder der Brennkraftmaschine 112 das Drehmoment impulsartig an die Kurbelwelle 117 ab. Die Frequenz der Drehmomentabgabe wird durch die aktuelle Drehzahl der Brennkraftmaschine 112 und die Zylinderzahl der Brennkraftmaschine 112 bestimmt. Bei einem Viertaktmotor bestimmt sich die Frequenz der Drehmomentabgabe nach der Formel:

$$f_{\text{moment}} = n_{\text{KW}}/60 * \text{Zylinderzahl}/2,$$

wobei n_{KW} die Drehzahl der Brennkraftmaschine 112, bzw. der Kurbelwelle in Umdrehungen pro Minute ist.

[0045] Diese ungleichförmige Drehmomentabgabe erzeugt entweder eine Schwebung auf der Drehzahl der Welle bei geöffneter Kupplung bzw. ein entsprechendes Schwingverhalten des Motorblocks bei geschlossener Kupplung, da bei geschlossener Kupplung die Drehzahl aufgrund der angekoppelten Fahrzeugmasse als in erster Näherung konstant betrachtet werden kann. Durch die feste Kopplung der elektrischen Maschine 114 mit der Brennkraftmaschine 112 durch das Kopplungselement 116 in Form eines Riemens bzw. der festen Verbindung der elektrischen Maschine 114 auf dem bzw. an der Brennkraftmaschine 112, wird die entsprechende Schwebung oder allgemein Oszillation, die durch die impulsartige Drehmomentabgabe der Brennkraftmaschine 112 verursacht wird, auf die elektrische Maschine 114 übertragen.

[0046] Diese Oszillationen sind in Folge der festen Kopplung zwischen der elektrischen Maschine 114 und der Brennkraftmaschine 112 aus dem Phasensignal 120a (vergleiche Figur 3) der elektrischen Maschine 114 entnehmbar. Das erfindungsgemäße Verfahren wird anhand einer Recheneinheit 118 beschrieben, auf der das Verfahren ausgeführt wird. Zur Steuerung und Auswertung weist die elektrische Maschine 114 die erfindungsgemäße Recheneinheit 118 in Form eines Reglers 120 auf, die dazu eingerichtet ist, aus dem Phasensignal 121 einen zeitlichen Verlauf einer Drehzahl 122 zu ermitteln, wobei der zeitliche Verlauf der Drehzahl 122 analysiert und aus dem zeitlichen Verlauf der Drehzahl 122 wird ein Drehzahlmuster 128-136 (vgl. Figuren 4 und 5) abgeleitet, das von den charakteristischen impulsartigen Schwingungen der Brennkraftmaschine 112 herrührt.

[0047] Die Recheneinheit 118 in Form eines Reglers 120 ist zudem dazu eingerichtet, auf Basis der abgeleiteten Drehzahlmuster 128-136 die Betriebszustände 128a - 136a der Brennkraftmaschine 112 zu ermitteln (vgl. Figuren 4 und 5), ohne dass hierfür ein entsprechendes externes Steuergerät erforderlich ist. Die elektrische Maschine 114 bzw. die dieser zugeordneten Recheneinheit 118 ist daher dazu eingerichtet, die zuvor beschrie-

benen Verfahrensschritte völlig eigenständig von einer externen Analyse und/oder externen Steuereinheit durchzuführen.

[0048] In Figur 2b) ist ein weiteres, zu Figur 2a) ähnliches, Ausführungsbeispiel beschrieben. Gleiche oder vergleichbare Merkmale zu Figur 2a) wurden hierbei mit der gleichen Bezugsziffer jedoch mit einem weiteren Buchstaben (b) gekennzeichnet. Die elektrische Maschine 114b weist einen Bewegungssensor 115b auf, der mit der elektrischen Maschine 114b verbunden ist und mit der Brennkraftmaschine 112b in Wirkverbindung steht. Somit kann ein Bewegungsmuster 228 - 242 der Brennkraftmaschine 112b durch den Bewegungssensor 115b ermittelt werden. Auf Basis des ermittelten Bewegungsmusters 228 - 242 kann wiederum ein Betriebszustand 228a - 242a der Brennkraftmaschine 112b ermittelt werden (vgl. Figur 6).

[0049] Somit kann der jeweilige Betriebszustand 128a - 136a bzw. 228a - 242a der Brennkraftmaschine 112b neben der Ermittlung aus dem Drehzahlmuster 128 - 136, das aus einem Phasensignal 121 der elektrischen Maschine 114b ermittelt wird, auch aus einem Bewegungsmuster 228 - 242 des Bewegungssensors 115b ermittelt werden, der an der elektrischen Maschine 114b angeordnet ist und somit mit der Brennkraftmaschine 112b in Wirkverbindung steht. Es versteht sich, dass der Bewegungssensor auch an anderer Stelle angebracht sein kann, solange eine Detektion der Motorbewegungen möglich ist (nicht dargestellt).

[0050] Hierdurch ergibt sich eine redundante Informationsquelle aus der die jeweiligen Betriebszustände der Brennkraftmaschine 112b sicher ableitbar sind. Als Bewegungssensoren 115b eignen sich insbesondere optische Bewegungssensoren oder Beschleunigungssensoren in Form von Mikro-Elektro-Mechanischen Systemen (MEMS) bzw. sonstige Beschleunigungssensoren, beispielsweise auf piezokeramischer Basis (nicht abgebildet).

[0051] Zudem können die aus dem Drehzahlmuster 128 - 136 ermittelten Betriebszustände 128a - 136a der Brennkraftmaschine 112 mit den aus dem Bewegungsmuster 228 - 242 ermittelten Betriebszuständen 228a - 242a der Brennkraftmaschine 112a verglichen werden. Durch eine Kombination der aus dem jeweiligen Sensor - elektrischen Maschine 114 bzw. Recheneinheit 118 oder Bewegungssensor 115b - ermittelten Betriebszustände 128a - 136a bzw. 228a - 242a, können die jeweiligen sensorischen Vorteile der Sensoren optimal genutzt werden, um nahezu jeden möglichen Betriebszustand der Brennkraftmaschine 112 sicher ermitteln zu können.

[0052] Insbesondere das Starten 242a bzw. das Stoppen 238a der Brennkraftmaschine 112 ist typischerweise mit starken Rüttelbewegungen der Brennkraftmaschine 112 verbunden, die sicher über den Bewegungssensor 115b ermittelbar sind (vgl. hierzu Figuren 6 f) und g)). Durch den Vergleich der ermittelten Betriebszustände 128a - 136a auf Basis des Drehzahlmusters 128 - 136 und/oder des Bewegungsmusters 228 - 242, können die

jeweils ermittelten Betriebszustände 128 a - 136a bzw. 228a - 242a, sofern nötig, auch noch miteinander abgeglichen und plausibilisiert werden. Im Falle eines Widerspruchs der aus den beiden Sensoren ermittelten Betriebszustände 128 a - 136a bzw. 228a - 242a kann zudem eine Fehlermeldung oder eine für einen solchen Zustand weiter vorgesehene Regelstrategie der elektrischen Maschine 114 initiiert werden (nicht dargestellt).

[0053] In Figur 2c) ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dargestellt. Gleiche oder vergleichbare Merkmale zu Figur 2a) bzw. Figur 2b) wurden hierbei mit der gleichen Bezugsziffer jedoch mit einem weiteren Buchstaben c) gekennzeichnet. Weiter wird vereinfacht davon ausgegangen, dass im Falle der Ausführungsform gemäß Figur 2b) aus dem jeweiligen Drehzahlmuster 128 - 136 bzw. dem Bewegungsmuster 228 - 242 ein einziger zu den jeweiligen Mustern nicht in Widerspruch stehender Betriebszustand 128a - 136a ermittelt wurde, der weiter auch die Zustände Brennkraftmaschine Stop 228a und Brennkraftmaschine Start 242a umfasst.

[0054] Die Recheneinheit 118c, die in Form eines Reglers 120c einer elektrischen Maschine 114c ausgebildet ist, ist zudem dazu eingerichtet, einen Betriebszustand 128a - 136a bzw. 228a - 242a der Brennkraftmaschine 112 (vgl. Figur 5 und 6) zu erkennen und auf Basis des erkannten Betriebszustands 128a - 136a bzw. 228a - 242a der Brennkraftmaschine 112 einen Erregerstrom I_{Er} derart auf einen jeweiligen Betriebszustand 128a - 136a bzw. 228a - 242a der Brennkraftmaschine 112 anzupassen, dass das Bremsmoment der elektrischen Maschine 112 vergrößert oder verkleinert wird. Hierbei kann der Erregerstrom unter Vorgabe einer Sollspannung U_{Soll} bzw. eines Sollstroms I_{Soll} des Kraftfahrzeugbordnetzes 110c oder unter Vorgabe einer Maximalstromabgabe I_{Max} , wobei die Maximalstromabgabe I_{Max} nach Betriebszuständen der Brennkraftmaschine 112 parametrisiert werden kann, geregelt werden.

[0055] Durch eine derartige Regelung des Erregerstroms I_{Er} , die auf einer Vorgabe der Sollspannung U_{Soll} bzw. des Sollstroms I_{Soll} des Kraftfahrzeugbordnetzes 110c beruht, kann eine entsprechende Rekuperation im Schubbetrieb 130a bzw. ein nahezu bremsmomentfreies Mitlaufen der elektrischen Maschine 114a im Beschleunigungsbetrieb 128a der Brennkraftmaschine 112 entsprechend einfach umgesetzt werden (vgl. Figur 5). Alternativ kann eine derartige Regelung auch über eine Regelung eines in das Kraftfahrzeugbordnetz abzugebenden Maximalstroms I_{Max} geregelt werden, wobei dieser Maximalstrom I_{Max} wiederum abhängig von den jeweiligen Betriebszuständen 128a - 136a der Brennkraftmaschine 112 parametrisiert werden kann (vgl. Figur 5 bzw. 6). Eine derartige Parametrisierung kann entweder numerisch erfolgen oder durch Abfrage der in einem hinterlegten Kennfeld gespeicherten Parameter umgesetzt werden (nicht dargestellt). Weiter kann auch eine entsprechende Regelvorgabe für den Betriebszustand Start 242a bzw. Stop 238a vorgesehen sein, wobei das

Bremsmoment der elektrischen Maschine beim Start 242a entsprechend reduziert wird, um den Startvorgang nicht unnötig zu beeinträchtigen.

[0056] Des Weiteren ist es vorteilhaft, mittels des Bewegungssensors 115b das sog. "Aufwachen" des Reglers 120 aus dem Standby-Betrieb, in dem sich die elektrische Maschine beispielsweise in abgeschalteten Zustand der Brennkraftmaschine 112 befindet, zu aktivieren (nicht dargestellt). Zudem kann, durch Kombination der Informationen aus Drehzahlverlauf und Bewegungssensor 115b der Betriebszustand 'Leerlauf' eindeutig erkannt werden, da in diesem Betriebszustand die Abgabeleistung der elektrischen Maschine 114 nur allmählich erhöht werden darf, um eine ausreichende Nachregelung der Brennkraftmaschine 112 zu gewährleisten (nicht dargestellt).

[0057] Die Ermittlung des Drehzahlsignals 122 aus einem Phasensignal 121 der elektrischen Maschine 114 ist in Figur 3 näher beschrieben. Bei dem Phasensignal 121 handelt es sich vorliegend um eine der Phasenspannungen 121a der elektrischen Maschine. Es versteht sich, dass hierzu grundsätzlich jede beliebige Phasenspannung einer oder mehrerer Phasen der elektrischen Maschine 114, aber auch die jeweiligen Phasenströme verwendbar sind, um hieraus das Drehzahlsignal der elektrischen Maschine 114 sowie das Drehzahlsignal und die Drehzahlmuster 128-136 der an diese gekoppelten Brennkraftmaschine 112 zu ermitteln (nicht dargestellt). Bei Verwendung von mehr als einer Phasenspannung kann eine entsprechend höhere zeitliche Auflösung des Drehzahlsignals erreicht werden (nicht dargestellt).

[0058] Die Phasenspannung 121a verläuft bei einem Generator mit Stromabgabe in erster Näherung rechteckförmig. An diesem Signal der Phasenspannung 121a kann eine mittlere Phasenzeit T_{Phase} erfasst werden, wobei diese sich am besten an den steilen Flanken der Phasenspannung 121a ermitteln lässt. Die Phasenzeit T_{Phase} wird durch die Drehzahlschwankung in Form eines für die jeweiligen Betriebszustände der Brennkraftmaschine 112 charakteristischen Drehzahlmusters 128-136 moduliert und bildet die aktuelle Drehzahl ab über die Formel:

$$n_{KW} = 60 / (T_{PHASE} * PPZ * \ddot{U}b),$$

wobei n_{KW} die Kurbelwellendrehzahl in Umdrehungen pro Minute ist, $\ddot{U}b$ das Übertragungsverhältnis zwischen Kurbelwelle und Generatorwelle und PPZ die Polpaarzahl des Generators. Die hierzu korrespondierenden Werte der Drehzahl 122 und einer mittleren Drehzahl 122a, die dem Mittelwert der Drehzahl 122 innerhalb eines Zeitintervalls entspricht, sind in Figur 3 ebenfalls als Punkte bzw. als Linie dargestellt. Das Zeitintervall kann insbesondere derart gewählt werden, dass über mehrere Oszillationen gemittelt wird.

[0059] Die Drehzahl kann vorzugsweise digital ermit-

telt werden. Mittels einer Messung der zeitlichen Abstände T_{Phase} der Amplituden in dem Phasensignal 121 der elektrischen Maschine 114, kann, wie bereits beschrieben, die Momentandrehzahl n_{KW} ermittelt werden. Sofern Parameter wie Zylinderzahl, Übertragungsverhältnis und Polpaarzahl der elektrischen Maschine 114 im erfassten Zeitraum bekannt sind, kann der Regler 118 eine feste Anzahl von Drehzahlwerten in einem Speicher, zum Beispiel in einem Schieberegister, (nicht dargestellt) einspeichern und zumindest innerhalb eines Schwingungszyklusses jeweils eine maximale und eine minimale Momentandrehzahl ermitteln. Bei den maximalen und minimalen Momentandrehzahlen handelt es sich vorzugsweise um die Peakdrehzahlen im jeweils erfassten Zeitbereich. Die Differenz zwischen diesen Drehzahlen ist ein Maß für das durch die Brennkraftmaschine 112 abgegebene Drehmoment. Zur genauen Ermittlung von T_{Phase} ist es vorteilhaft, eine hohe zeitliche Auflösung um den Mittelwert von T_{Phase} zu gewährleisten. Hierbei kann für eine bessere Auflösung die Drehzahl auf Basis der ansteigenden und abfallenden Flanken der Phasenspannung 121 a ermittelt werden. Im Speicher können grundsätzlich beliebig viele Drehzahlwerte erfasst werden, wobei jedoch etwa ein ganzer Zyklus einer Schwingung für eine Auswertung erfasst werden sollte.

[0060] Um darzustellen, dass die Abtaststrategie des Generators ausreichend ist, um die Drehzahl 122 und insbesondere die der Drehzahl überlagerten Oszillationen entsprechend aufzulösen, sollen nachfolgend die Verhältnisse der entsprechenden Frequenzen betrachtet und mit dem Nyquist-Kriterium abgeglichen werden. Das Nyquist-Kriterium fordert, dass $f_{\text{el}}/f_{\text{moment}} \geq 2$. Bezogen auf die Motordrehzahl ergibt sich die Generatorfrequenz bzw. die Frequenz der elektrischen Maschine mit

$$f_{\text{el}} = n_{\text{KW}}/60 * \ddot{U}b * \text{PPZ},$$

wobei n_{KW} die Drehzahl der Brennkraftmaschine ist.

[0061] In Kombination mit der Gleichung für f_{moment} ergibt sich

$$f_{\text{el}}/f_{\text{moment}} = 2 * \ddot{U}b * \text{PPZ} / \text{Zylinderzahl}.$$

[0062] Damit ergibt sich beispielsweise für $\ddot{U}b = 3$, $\text{PPZ} = 6$, Zylinderzahl = 4, dass der Quotient $f_{\text{el}}/f_{\text{moment}} = 9$ ist. Selbst bei sehr großen hochzylindrigen Motoren, beispielsweise eines 12-Zylinder-Motors, beträgt das Verhältnis $f_{\text{el}}/f_{\text{moment}} = 3$, wobei auch hier das Nyquist-Abtastkriterium stets erfüllt ist.

[0063] In Figur 4 ist der Drehzahlverlauf 122 einer Brennkraftmaschine 112 über einen längeren Zeitraum dargestellt. Dieser Drehzahlverlauf 122 weist entsprechende Drehzahlmuster 128, 130, 132, 134, 136 auf, die für verschiedene Betriebszustände 128a, 130a, 132a, 134a, 136a einer Brennkraftmaschine 112 charakteris-

tisch sind. Die jeweiligen Drehzahlmuster 128 bis 136 sind in Figur 5a) bis e) noch einmal vergrößert dargestellt. In den Figuren 5a) bis e) ist jeweils die Drehzahl über die Zeit abgebildet.

[0064] In Figur 5a) ist ein Betriebszustand 128a der Brennkraftmaschine 112 gezeigt, in dem die Brennkraftmaschine 112 Drehmoment abgibt. Hierbei handelt es sich um einen Beschleunigungsvorgang des Fahrzeugs durch die Brennkraftmaschine 112. Die Oszillation der erfassten Drehzahl 122 ergibt sich aus der Oszillation bzw. Schwingung, die über den Riementrieb 116 von der Brennkraftmaschine 112 auf die elektrische Maschine 114 übertragen wird. Die Frequenz der Oszillation im Drehzahlsignal korreliert mit der aktuellen Drehzahl 122 der elektrischen Maschine 114 bzw. der Brennkraftmaschine 112.

[0065] Darüber hinaus weist der in Figur 5a) dargestellte Abschnitt des Drehzahlsignals 122 einen konstant steigenden Verlauf auf. Hieraus ist entnehmbar, dass die Drehzahl 122 der Brennkraftmaschine 112 stetig zunimmt. Die Zunahme der Drehzahl 122 überdies aus der stetigen Zunahme der Frequenz der Schwingung ableitbar. Die Amplitude der Oszillation, die sich im Vergleich mit der mittleren Drehzahl 122a ergibt, ist ein Maß für das Drehmoment, das von der Brennkraftmaschine 112 abgegeben wird. Somit lässt sich aus den Amplituden der Oszillation, die unmittelbar aus dem Drehzahlverlauf 122 ableitbar ist, erkennen, ob durch die Brennkraftmaschine 112 Drehmoment abgegeben wird oder nicht.

[0066] In Figur 5b) ist ein weiteres für einen Betriebszustand 130a der Brennkraftmaschine 112 charakteristisches Drehzahlmuster 130 dargestellt, das man im Falle eines Schubbetriebs der Brennkraftmaschine 112 erhält. Hierbei ist die Oszillation der erfassten Drehzahl 122 sehr niedrig und entspricht im Wesentlichen der mittleren Drehzahl 122a, da das Bremsmoment der Brennkraftmaschine 112 lediglich durch die Zylinderkompression und das Leerlaufmoment der Brennkraftmaschine 112 entsteht. Somit verhält sich die Brennkraftmaschine 112 im Schubbetrieb sehr ruhig. Das Drehzahlmuster 130 des vorliegenden Schubbetriebszustands 130a ist insbesondere dadurch charakterisiert, dass nahezu keine Oszillationen auftreten und der Drehzahlverlauf einen stetig fallenden Gradienten aufweist. Auf Basis dieses für den Schubbetrieb 130a charakteristischen Drehzahlmusters 130, lässt sich mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens der Schubbetrieb 130a der Brennkraftmaschine 112 einfach erkennen.

[0067] In Figur 5c) ist ein weiteres für einen Betriebszustand 132a der Brennkraftmaschine 112 charakteristisches Drehzahlmuster 132 dargestellt. Vorliegend befindet sich die Brennkraftmaschine 112 im Leerlauf. Dies ist hieran zu erkennen, dass die mittlere Drehzahl 122a in erster Näherung konstant bleibt, wobei die Drehzahl 122 eine Schwingung mit annähernd gleicher Amplitude und gleicher Frequenz aufweist. Aus der konstanten Frequenz lässt sich überdies schließen, dass keine Zu- bzw.

Abnahme der Drehzahl erfolgt. Anhand der deutlich erkennbaren Amplitude ist ableitbar, dass die Brennkraftmaschine 112 Drehmoment abgibt.

[0068] In Figur 5d) ist ein weiteres für einen weiteren Betriebszustand 134a der Brennkraftmaschine 112 charakteristisches Drehzahlmuster 134 gezeigt. Hierbei befindet sich das Fahrzeug, in dem die Brennkraftmaschine 112 aufgenommen ist, auf einer Bergabfahrt im Schubbetrieb. Hierbei ist zu erkennen, dass die mittlere Drehzahl 122a steigt und nahezu keine Drehzahloszillationen erkennbar sind, was für den Schubbetrieb charakteristisch ist (vgl. Figur 5b)).

[0069] In Figur 5e) ist eine Bergauffahrt mit Drehmoment und sinkender Drehzahl 122 gezeigt. Es ist zu erkennen, dass die mittlere Drehzahl 122a stetig abnimmt, was am Gradienten des Drehzahlverlaufs 122, aber auch an der sich zeitlich verändernden Frequenz der Oszillation zu erkennen ist. Des Weiteren ist zu erkennen, dass das von der Brennkraftmaschine 112 abgegebene Drehmoment in etwa konstant bleibt.

[0070] Auf Basis der charakteristischen Drehzahlmuster 128 bis 136 lassen sich die zuvor beschriebenen Betriebszustände 128a -136a der Brennkraftmaschine 112 sicher erkennen und unterscheiden. Auf Basis der entsprechenden ermittelten Betriebszustände 128a -136a ist die Recheneinheit 118 der elektrischen Maschine 114 derart eingerichtet, dass diese insbesondere im Schubbetrieb 130a und 134a den Erregerstrom der elektrischen Maschine erhöht, wodurch über die elektrische Maschine ein Bremsmoment bewirkt wird. Die entsprechend auf die elektrische Maschine übertragene kinetische Energie wird in elektrische Energie umgewandelt und ins Kraftfahrzeugbordnetz eingespeist. Dieser Vorgang wird auch als Rekuperation bezeichnet.

[0071] Entsprechend wird in Betriebszuständen 128a und 136a, in denen in der Brennkraftmaschine ein Kraftstoff-Luftgemisch gezündet wird und die Brennkraftmaschine 112 infolgedessen Drehmoment abgibt, der Erregerstrom der elektrischen Maschine 114 entsprechend verringert, mitunter bis auf null, so dass das von der Brennkraftmaschine 112 angeforderte Drehmoment nicht durch ein etwaiges Bremsmoment des Generators kompensiert wird. Im Leerlaufbetrieb 132a kann der Erregerstrom je nach Bedarf entsprechend geregelt werden, wobei jedoch stets darauf zu achten ist, dass der Erregerstrom derart eingestellt wird, dass die Laufruhe der Brennkraftmaschine 112 im Leerlauf nicht nennenswert gestört wird.

[0072] In den Figuren 6a) bis g) ist jeweils ein für einen Betriebszustand 228a bis 242a einer Brennkraftmaschine 112 charakteristische Bewegungsmuster 228 bis 242 gezeigt, dass mittels eines Bewegungssensors 115b (vgl. Figur 2b) ermittelbar ist. Vorliegend sind in den Figuren 6a) bis e) die Betriebszustände 228a bis 236a dargestellt, die den Betriebszuständen 128a bis 136a gemäß Figur 5a) bis e) entsprechen, die wiederum aus den jeweiligen Drehzahlmustern 128 bis 136 abgeleitet wurden.

[0073] In Figur 6a) ist das mittels des Bewegungssensors 115b ermittelte Bewegungsmuster 228 für den Betriebszustand 238a gezeigt, bei dem ein Kraftstoffluftgemisch in der Brennkraftmaschine 112 gezündet und sich das Fahrzeug, indem die Brennkraftmaschine 112 aufgenommen ist, in einem Beschleunigungsvorgang befindet. Für diesen Betriebszustand ist eine deutlich sichtbare Vibration bzw. Schwingung der Brennkraftmaschine charakteristisch, aus der der Betriebszustand 228a ableitbar ist.

[0074] In Figur 6b) ist ein weiteres für einen Schubbetrieb 230a der Brennkraftmaschine 112 charakteristisches Bewegungsmuster 230 dargestellt. Im Schubbetrieb, wird typischerweise kein Kraftstoffluftgemisch in der Brennkraftmaschine 112 gezündet, weshalb sich der Motor sehr ruhig verhält. Dies ist an dem enorm flachen Bewegungsmuster 230, mit nur sehr geringfügigen Rippelein, zu erkennen.

[0075] In Figur 6 c) ist ein weiteres für den Betriebszustand 232a Leerlauf der Brennkraftmaschine 112 charakteristische Bewegungsmuster 232 dargestellt. Im Leerlaufbetrieb 232a der Brennkraftmaschine 112 ist das durch den Schwingungssensor 115b ermittelte Schwingungsmuster 232 nicht besonders stark ausgeprägt, da in diesem Zustand trotz geringfügiger Drehmomentabgabe der Brennkraftmaschine 112 typischerweise keine besonders ausgeprägten Schwingungen der Brennkraftmaschine 112 auftreten.

[0076] In Figur 6 d) ist ein weiteres für einen weiteren Betriebszustand 234a der Brennkraftmaschine 112 charakteristisches Bewegungsmuster 234 gezeigt. Vorliegend befindet sich das Fahrzeug, indem die Brennkraftmaschine 112 aufgenommen ist, auf einer Bergabfahrt im Schubbetrieb. Da sich die Brennkraftmaschine 112 im Schubbetrieb befindet, wird typischerweise kein Kraftstoffluftgemisch in der Brennkraftmaschine 112 gezündet, wodurch sich die Brennkraftmaschine 112 sehr ruhig verhält. Dies ist deutlich an dem für diesen Betriebszustand charakteristischen Schwingungsmuster 234, das durch den Bewegungssensor 115b ermittelt werden kann, gezeigt.

[0077] In Figur 6 e) ist eine Bergauffahrt mit Drehmoment und sinkender Drehzahl der Brennkraftmaschine 112 gezeigt, wobei das für die Bergauffahrt erforderliche Drehmoment sich in einem ausgeprägten Bewegungsmuster 236 der Brennkraftmaschine 112 widerspiegelt.

[0078] In Figur 6 f) ist ein weiterer Betriebszustand 238a der Brennkraftmaschine gezeigt. Hierin ist ein typisches Ausschaltverhalten der Brennkraftmaschine 112 dargestellt. Die Brennkraftmaschine 112 weist bis zu einem Ausschaltzeitpunkt 239 ein verhältnismäßig ruhiges Bewegungsmuster auf. Im Ausschaltzeitpunkt ergibt sich durch die schlagartige Änderung des Betriebszustands der Brennkraftmaschine ein Kraftstoß, der sich in einer kurzen Vibration im Bewegungsmuster 238 bemerkbar macht. Nach dem Ausschalten der Brennkraftmaschine weist die Brennkraftmaschine 112 keine weiteren Bewegungen mehr auf.

[0079] In Figur 6 g) ist ein weiterer Betriebszustand 242a der Brennkraftmaschine gezeigt. Vorliegend handelt es sich um einen Einschaltvorgang, der Brennkraftmaschine 112, wobei durch den Bewegungssensor 115b bis zum Einschaltzeitpunkt 240 keine Bewegungen der Brennkraftmaschine 112 detektiert werden. Zum Einschaltzeitpunkt 240 erfolgt ein starker Kraftstoß, der eine kurzzeitige starke Vibration und Schwingung der Brennkraftmaschine 112 zur Folge hat und im Anschluss daran eine Phase, die in etwa der in Figur 6 c) gezeigten Leerlaufvibration der Brennkraftmaschine 112 entspricht.

[0080] Die in den Figuren 6 f) und g) gezeigten Ausschalt- 228a bzw. Einschaltvorgänge 242a der Brennkraftmaschine 112 können durch den für den jeweiligen Einschalt- bzw. Ausschaltvorgang charakteristischen Kraftstoß der Brennkraftmaschine 112 sehr einfach erkannt werden. Des Weiteren ist insbesondere der Einschaltvorgang 242a der Brennkraftmaschine, der in Figur 6 g) gezeigt ist, sehr gut über den Bewegungssensor 115b detektierbar, da sich die elektrische Maschine bei abgeschalteter Brennkraftmaschine 112 typischerweise in einem Standby-Modus befindet, in dem bei einem Startvorgang nicht ohne Weiteres auf Basis der Drehzahländerungen, die aus einem Phasensignal 121 der elektrischen Maschine 114 ermittelt werden, geschlossen werden kann. Somit kann sich bei einer Ermittlung des Betriebszustands aus dem Drehzahlverlauf, der wiederum aus dem Phasensignal der elektrischen Maschine 114 ermittelt wird, ein nicht eindeutiger Betriebszustand ergeben, der anhand der aus dem Bewegungssensor 115b ermittelten Daten verglichen, und somit sicher festgestellt werden kann. Zudem kann eine Ermittlung des Starts durch den Bewegungssensor als Initialisierungs- bzw. "Aufwachsignal" für die elektrische Maschine 114 genutzt werden, um die Einstellungen in der elektrischen Maschine 114, insbesondere im Regler 118 für den Start der Brennkraftmaschine 112 entsprechend zu initialisieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln eines Betriebszustands (128a - 136a) einer Brennkraftmaschine (112), aufweisend die Schritte:

- a) Ermitteln eines zeitlichen Verlaufs zumindest eines Phasensignals (121) einer mit der Brennkraftmaschine (112) gekoppelten elektrischen Maschine (114);
- b) Ermitteln des zeitlichen Verlaufs einer Drehzahl (122) der elektrischen Maschine (114) aus dem Phasensignal (121);
- c) Ermitteln von zumindest einem durch die Brennkraftmaschine (112) bewirkten Drehzahlmuster (128 - 136) aus dem zeitlichen Verlauf der Drehzahl (122);
- d) Ermitteln zumindest eines Betriebszustands

(128a - 136a) der Brennkraftmaschine (112) auf Basis des zumindest einen ermittelten Drehzahlmusters (128 - 136); **gekennzeichnet durch** den Schritt

e) Regelung des Erregerstroms (I_{Er}) der elektrischen Maschine (114) auf Basis des jeweils ermittelten Betriebszustands der Brennkraftmaschine (112) derart, dass das Bremsmoment der elektrischen Maschine (114) vergrößert oder verkleinert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem Drehzahlmuster (128 - 136) ein Gradient des zeitlichen Verlaufs des Mittelwerts der Drehzahl (122) und/oder eine dem zeitlichen Verlauf des Mittelwerts der Drehzahl (122) überlagerte Oszillation, insbesondere eine Periode und/oder eine Amplitude einer Schwingung, ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest der Betriebszustand der Brennkraftmaschine (112) Zündung eines Kraftstoff-Luftgemischs (128a, 132a, 136a), insbesondere Beschleunigung (128a) und/oder Leerlauf (132a) und/oder Start der Brennkraftmaschine (112), und/oder keine Zündung eines Kraftstoff-Luftgemischs, insbesondere Schub (130a, 134a) und/oder Stop der Brennkraftmaschine (112), ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** weitere Verfahrensschritte e) Ermitteln eines Bewegungsmusters (228 - 236) der Brennkraftmaschine (112) durch einen Bewegungssensor (115b) und f) Ermitteln zumindest eines Betriebszustands (228a - 236a) der Brennkraftmaschine (112) auf Basis des zumindest einen ermittelten Bewegungsmusters (228 - 236).
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der aus dem Drehzahlmuster (128 - 136) ermittelte Betriebszustand (128a - 136a) der Brennkraftmaschine (112) mit dem aus dem Bewegungsmuster (228 - 236) ermittelte Betriebszustand (228a - 236a) der Brennkraftmaschine (112) verglichen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Erregerstrom (I_{Er}) unter Vorgabe einer Sollspannung (U_{Soll}) und/oder eines Sollstroms (I_{Soll}) des Kraftfahrzeugbordnetzes (110), oder unter Vorgabe einer Maximalstromabgabe (I_{Max}), wobei die Maximalstromabgabe (I_{Max}) und / oder der maximale Erregerstrom vorzugsweise nach Betriebszuständen der Brennkraftmaschine (112) parametrisiert wird, geregelt wird.

7. Recheneinheit (118), insbesondere Regler (120) für eine elektrische Maschine (114), die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.
8. Elektrische Maschine (114), mit einer Recheneinheit (118) gemäß Anspruch 7 und einem Bewegungssensor (115b) zum Ermitteln eines Bewegungsmusters (228 - 242).
9. Computerprogramm, das eine Recheneinheit dazu veranlasst, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 6 durchführt, wenn es auf der Recheneinheit (118) gemäß Anspruch 7 ausgeführt wird.
10. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 8.

Claims

1. Method for determining an operating state (128a-136a) of an internal combustion engine (112), comprising the steps of:
 - a) determining a time profile of at least one phase signal (121) of an electrical machine (114) which is coupled to the internal combustion engine (112);
 - b) determining the time profile of a rotation speed (122) of the electrical machine (114) from the phase signal (121);
 - c) determining at least one rotation speed pattern (128-136), which is caused by the internal combustion engine (112), from the time profile of the rotation speed (122);
 - d) determining at least one operating state (128a-136a) of the internal combustion engine (112) on the basis of the at least one determined rotation speed pattern (128-136); **characterized by** the step of
 - e) regulating the field current (I_{Err}) of the electrical machine (114) on the basis of the respectively determined operating state of the internal combustion engine (112) in such a way that the braking torque of the electrical machine (114) is increased or reduced.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a gradient of the time profile of the mean value of the rotation speed (122) and/or an oscillation which is superimposed on the time profile of the mean value of the rotation speed (122), in particular a period and/or an amplitude of an oscillation, is determined from the rotation speed pattern (128-136).
3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** at least the operating state of the internal combustion engine (122) ignition of a fuel/air mixture (128a, 132a, 136a), in particular acceleration (128a) and/or idling (132a) and/or starting of the internal combustion engine (112), and/or non-ignition of a fuel/air mixture, in particular overrun (130a, 134a) and/or stopping of the internal combustion engine (112), is determined.
4. Method according to one of Claims 1 to 3, **characterized by** further method steps of e) determining a movement pattern (228-236) of the internal combustion engine (112) by a motion sensor (115b) and f) determining at least one operating state (228a-236a) of the internal combustion engine (112) on the basis of the at least one determined movement pattern (228-236).
5. Method according to Claim 4, **characterized in that** the operating state (128a-136a) of the internal combustion engine (112) that is determined from the rotation speed pattern (128-136) is compared with the operating state (228a-236a) of the internal combustion engine (112) that is determined from the movement pattern (228-236).
6. Method according to Claim 1, **characterized in that** the field current (I_{Err}) is regulated with prespecification of a setpoint voltage (U_{Set}) and/or a setpoint current (I_{Set}) of the on-board motor vehicle electrical system (110), or with prespecification of a maximum current output (I_{Max}), wherein the maximum current output (I_{Max}) and/or the maximum field current is preferably parameterized in accordance with operating states of the internal combustion engine (112).
7. Computer unit (118), in particular controller (120) for an electrical machine (114), which is designed to carry out a method according to one of the preceding claims,
8. Electrical machine (114) comprising a computer unit (118) according to Claim 7 and a motion sensor (115b) for determining a movement pattern (228-242).
9. Computer program which prompts a computer unit to carry out a method according to one of the preceding Claims 1 to 6 when it is run on the computer unit (118) according to Claim 7.
10. Machine-readable storage medium with a computer program according to Claim 8 stored on it.

Revendications

1. Procédé de détermination d'un état opérationnel (128a - 136a) d'un moteur à combustion interne (112), comprenant les étapes suivantes :
 - a) détermination d'une évolution dans le temps d'au moins un signal de phase (121) d'une machine électrique (114) couplée au moteur à combustion interne (112) ;
 - b) détermination de l'évolution dans le temps d'une vitesse de rotation (122) de la machine électrique (114) à partir du signal de phase (121) ;
 - c) détermination d'au moins un modèle de vitesse de rotation (128 - 136) provoqué par le moteur à combustion interne (112) à partir de l'évolution dans le temps de la vitesse de rotation (122) ;
 - d) détermination d'au moins un état opérationnel (128a - 136a) du moteur à combustion interne (112) en se basant sur l'au moins un modèle de vitesse de rotation (128 - 136) déterminé ;

caractérisé par l'étape de

 - e) régulation du courant d'excitation (I_{Err}) de la machine électrique (114) en se basant sur l'état opérationnel respectivement déterminé du moteur à combustion interne (112) de sorte que le couple de la machine électrique (114) soit augmenté ou diminué.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'un** gradient de l'évolution dans le temps de la moyenne de la vitesse de rotation (122) et/ou d'une oscillation, notamment d'une période et/ou d'une amplitude d'une oscillation, superposée à l'évolution dans le temps de la moyenne de la vitesse de rotation (122) est déterminé à partir du modèle de vitesse de rotation (128 - 136).
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'au** moins l'état opérationnel du moteur à combustion interne (112) déterminé est l'allumage d'un mélange carburant-air (128a, 132a, 136a), notamment l'accélération (128a) et/ou le ralenti (132a) et/ou le démarrage du moteur à combustion interne (112) et/ou l'absence d'allumage d'un mélange carburant-air, notamment une décélération (130a, 134a) et/ou un arrêt du moteur à combustion interne (112).
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé par** les étapes supplémentaires e) détermination d'un modèle de mouvement (228 - 236) du moteur à combustion interne (112) par un capteur de mouvement (115b) et f) détermination d'au moins un état opérationnel (228a - 236a) du moteur à combustion interne (112) en se basant sur l'au moins un modèle de mouvement (228 - 236).
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'état opérationnel (128a - 136a) du moteur à combustion interne (112) déterminé à partir du modèle de vitesse de rotation (128 - 136) est comparé avec l'état opérationnel (228a - 236a) du moteur à combustion interne (112) déterminé à partir du modèle de mouvement (228 - 236) .
6. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le courant d'excitation (I_{Err}) est régulé en spécifiant une tension de consigne (U_{Soll}) et/ou un courant de consigne (I_{Soll}) du réseau de bord de véhicule automobile (110), ou en spécifiant un débit de courant maximal (I_{Max}), le débit de courant maximal (I_{Max}) et/ou le courant d'excitation maximal étant de préférence paramétré d'après les états opérationnels du moteur à combustion interne (112).
7. Unité de calcul (118), notamment régulateur (120) pour une machine électrique (114), laquelle est conçue pour mettre en œuvre un procédé selon l'une des revendications précédentes.
8. Machine électrique (114), comprenant une unité de calcul (118) selon la revendication 7 et un capteur de mouvement (115b) destiné à déterminer un modèle de mouvement (228 - 242).
9. Programme informatique, qui amène une unité de calcul à mettre en œuvre un procédé selon l'une des revendications précédentes 1 à 6 lorsqu'il est exécuté sur une unité de calcul (118) selon la revendication 7.
10. Support d'enregistrement lisible par machine sur lequel est enregistré un programme informatique selon la revendication 8.

Fig. 1

(Stand der Technik)

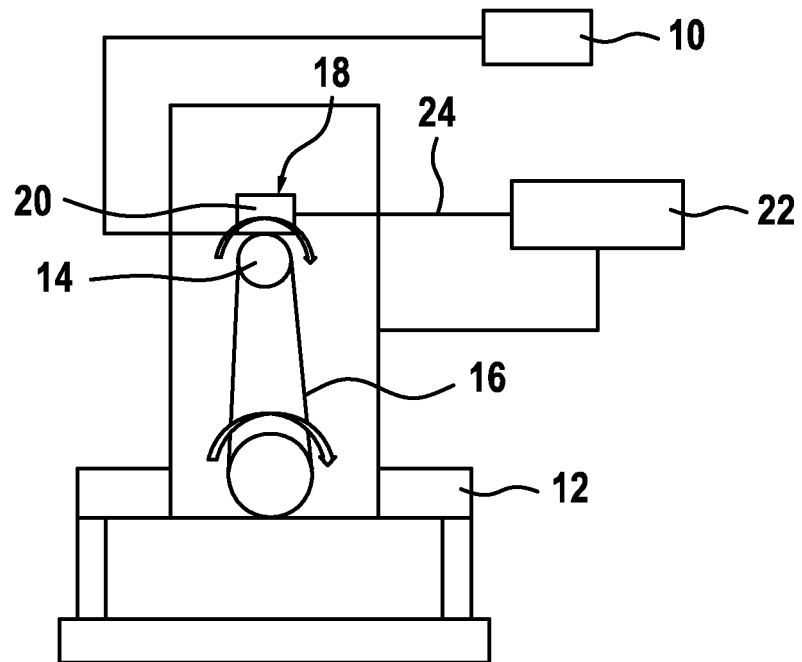


Fig. 2a)

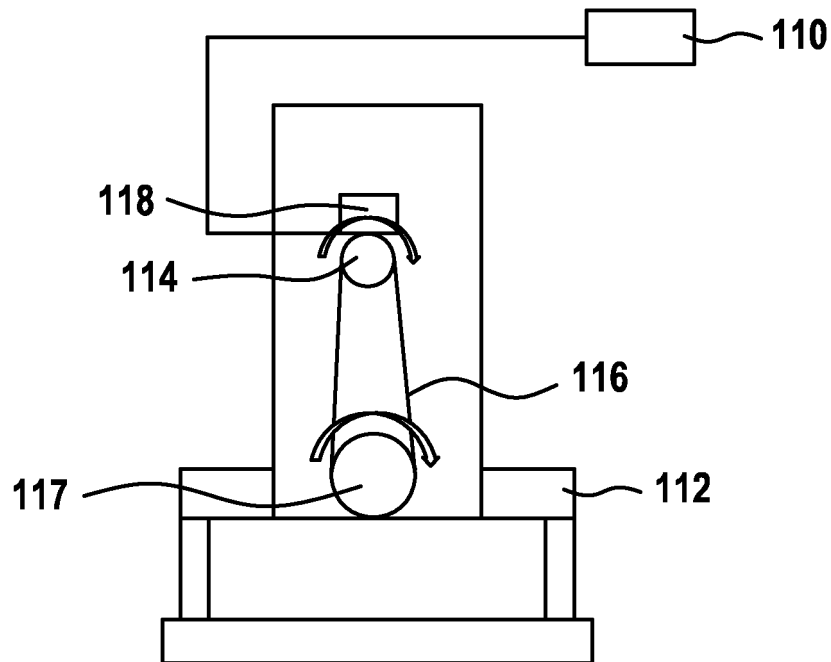


Fig. 2b)

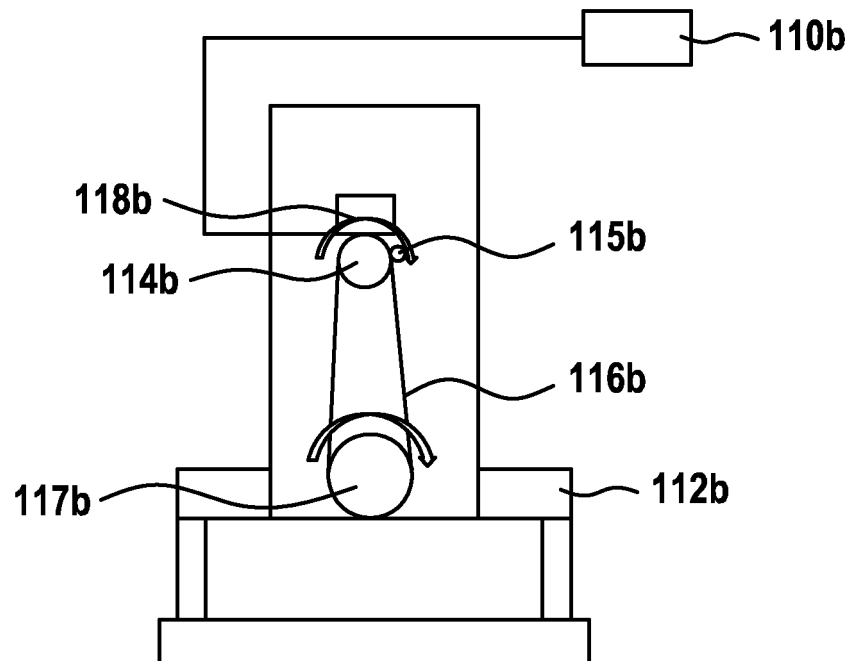


Fig. 2c)

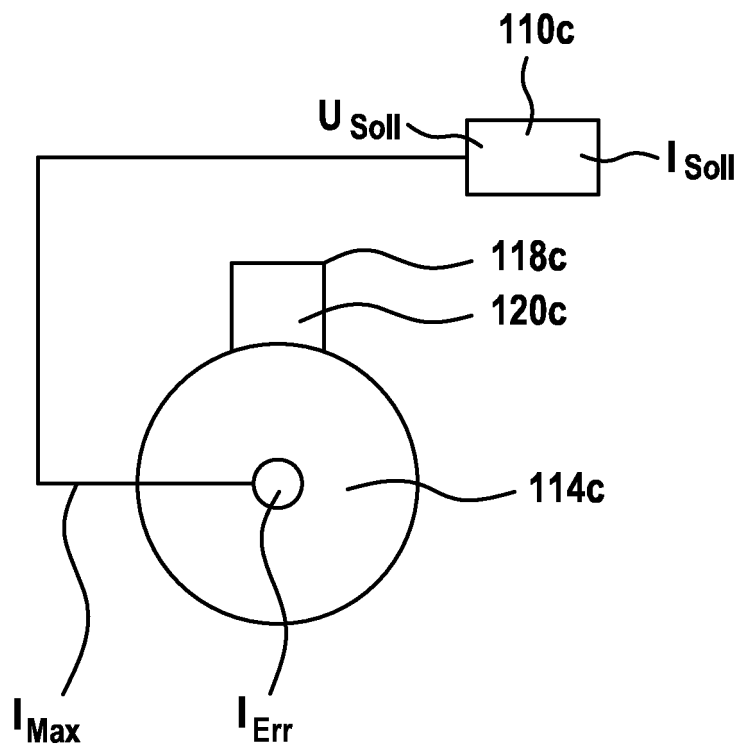


Fig. 3

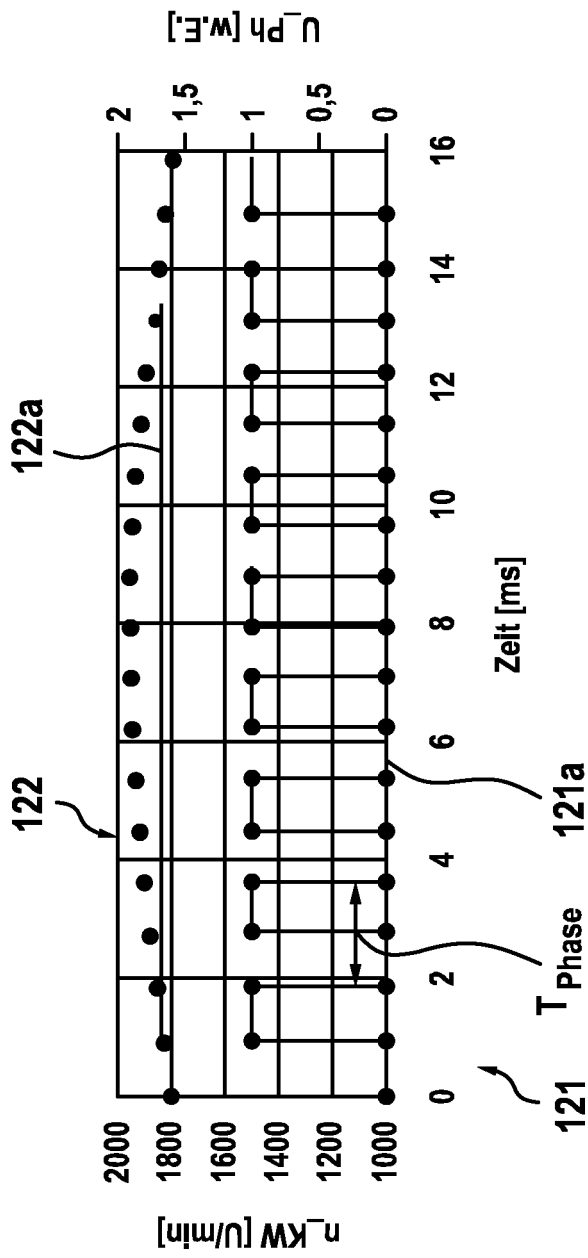


Fig. 4

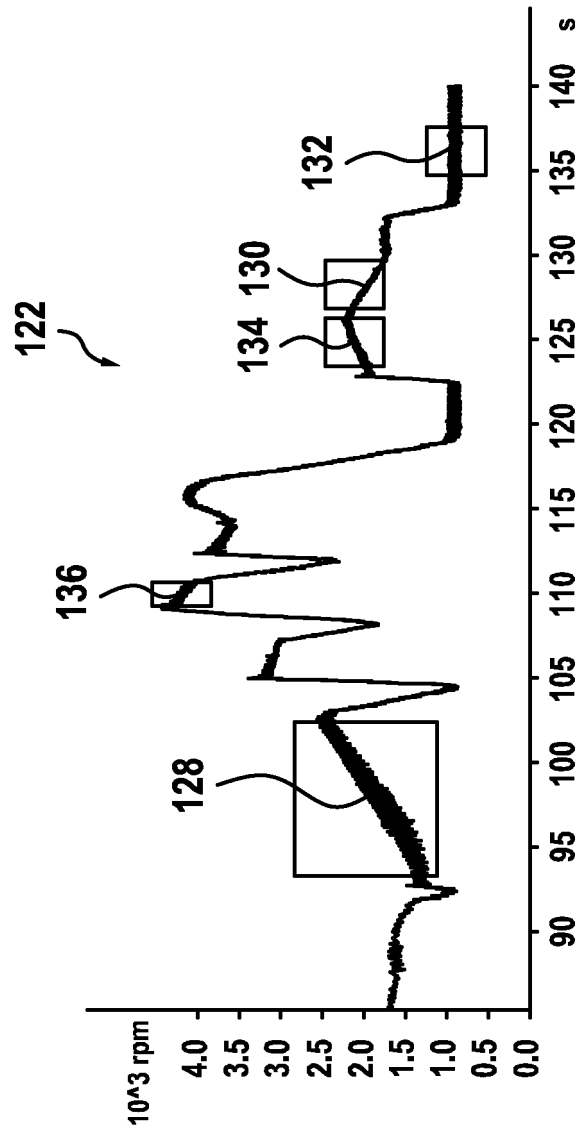


Fig. 5a)

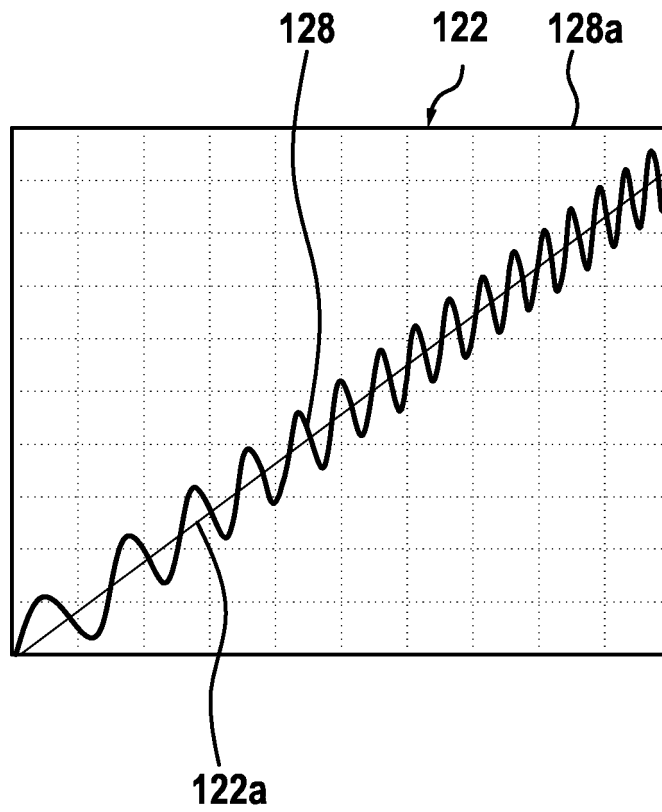


Fig. 5b)

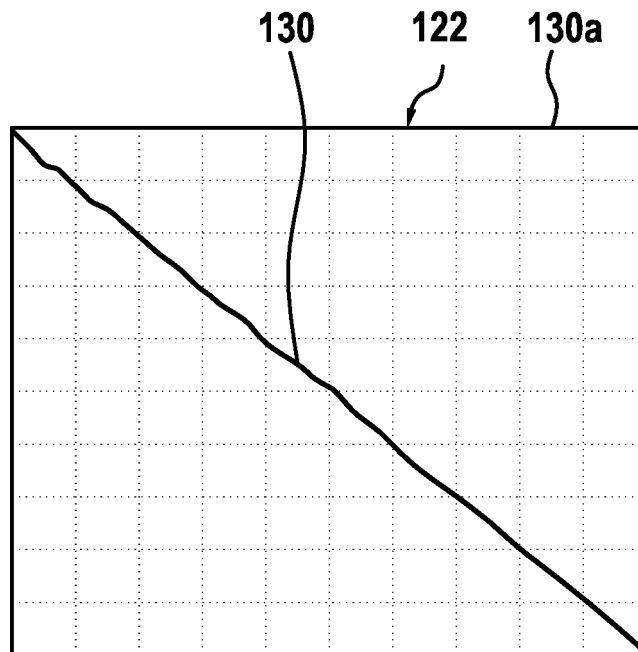


Fig. 5c)

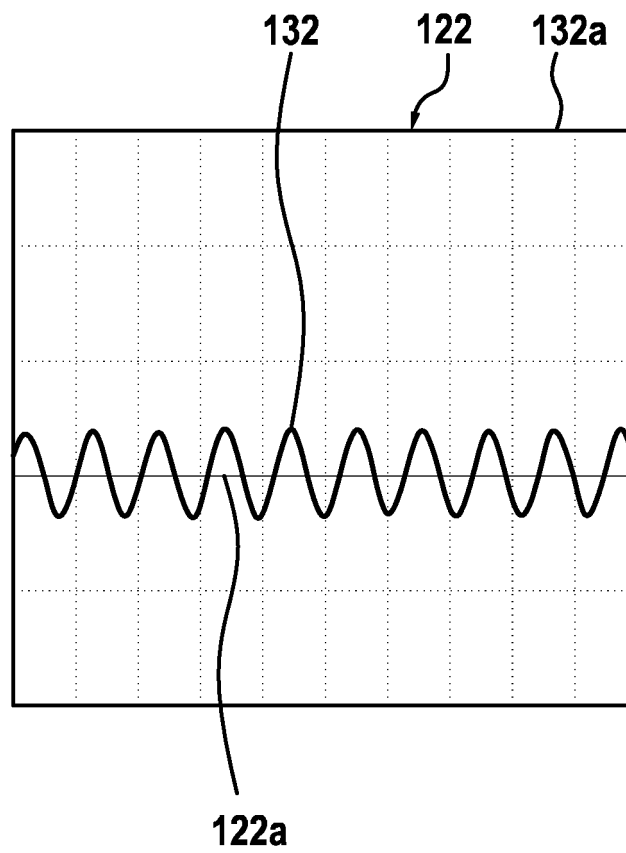


Fig. 5d)

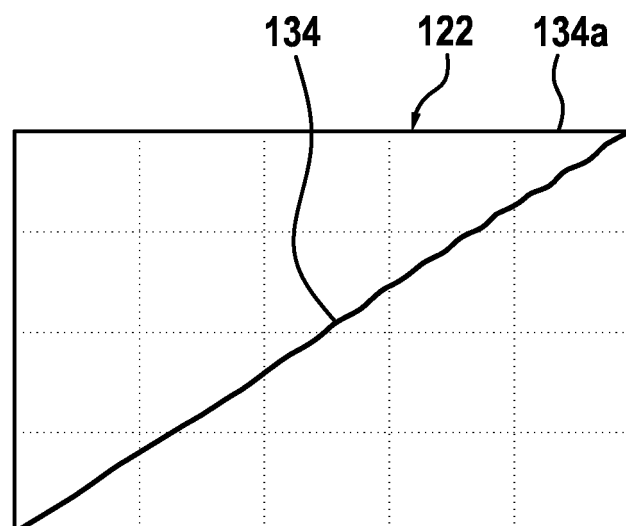


Fig. 5e)

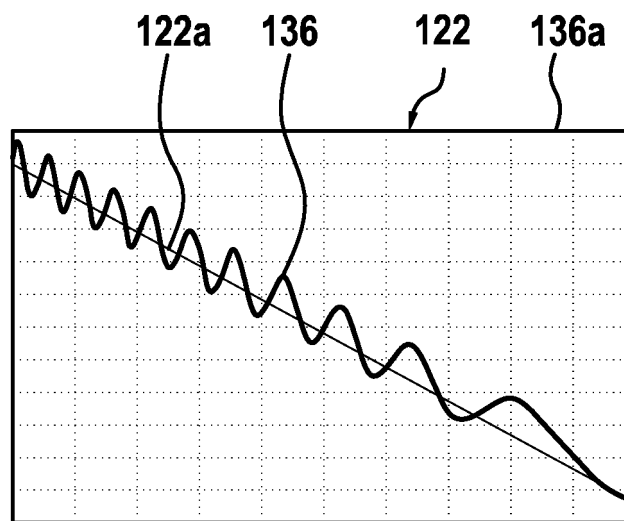


Fig. 6a)

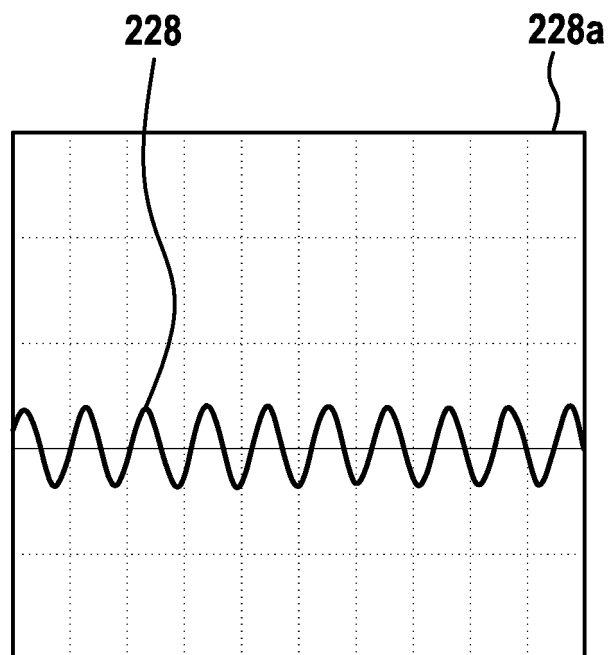


Fig. 6b)

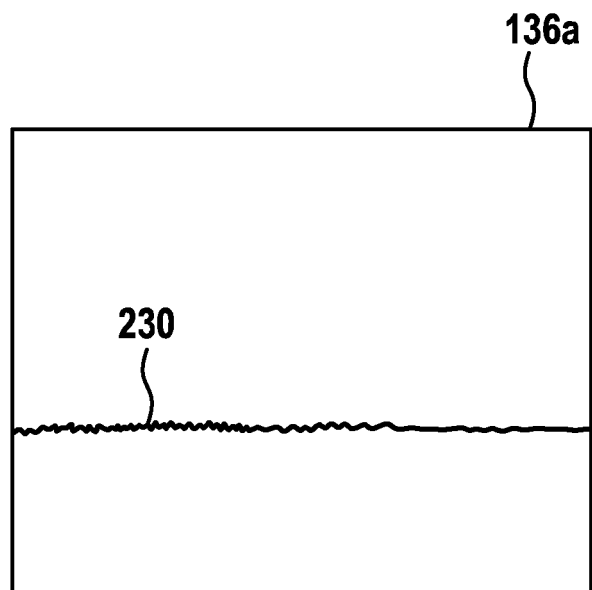


Fig. 6c)

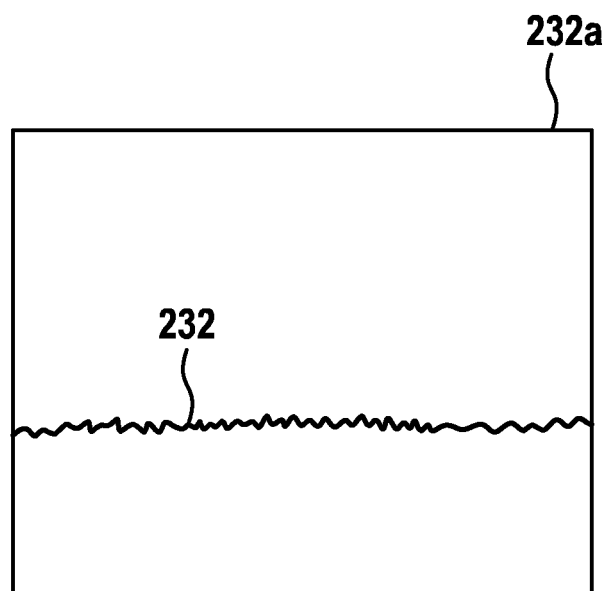


Fig. 6d)

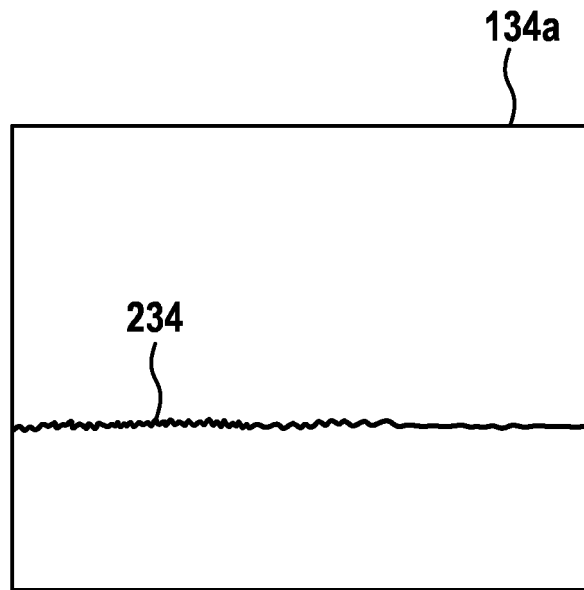


Fig. 6e)

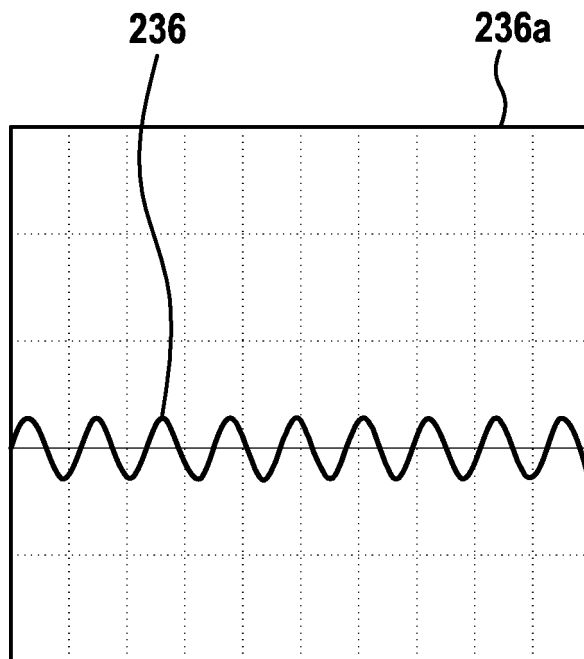


Fig. 6f)

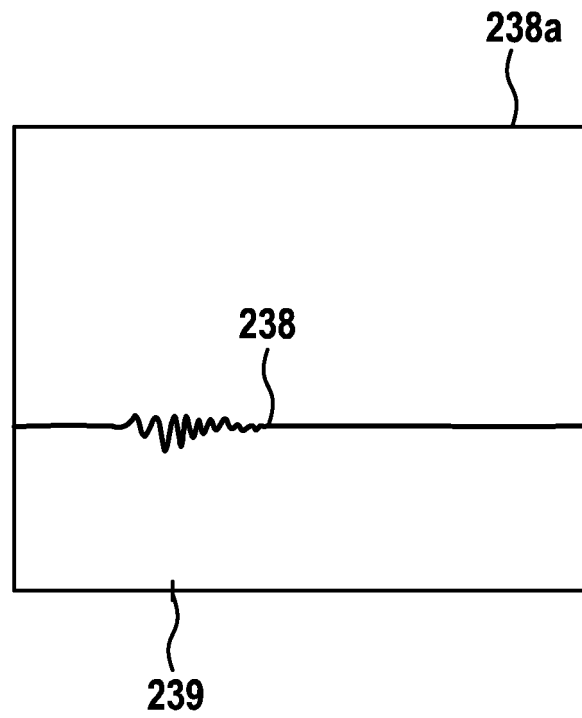
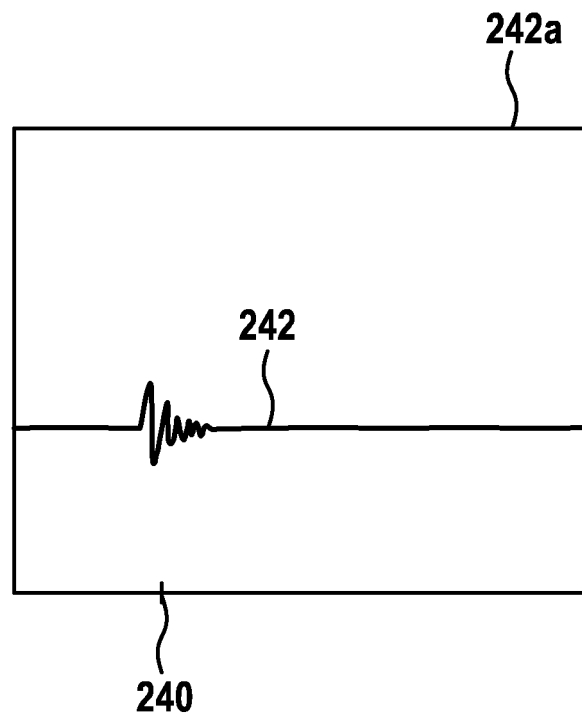


Fig. 6g)



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102012204751 A1 [0002]
- EP 078089 A1 [0002]