



(10) **DE 10 2012 215 008 A1** 2013.03.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 215 008.0**
(22) Anmeldetag: **23.08.2012**
(43) Offenlegungstag: **28.03.2013**

(51) Int Cl.: **H02P 23/14 (2012.01)**
H02P 27/06 (2012.01)
G01R 19/00 (2012.01)
B60L 15/20 (2013.01)

(30) Unionspriorität:
13/241,103 **22.09.2011** **US**

(74) Vertreter:
isarpate GbR Patent- und Rechtsanwälte,
80801, München, DE

(71) Anmelder:
GM Global Technology Operations, LLC, Detroit,
Mich., US

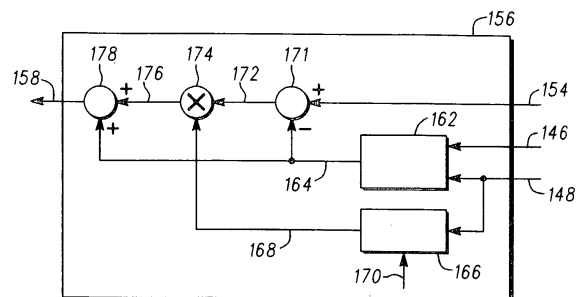
(72) Erfinder:
Jang, Jihoon, Torrance, Calif., US

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren zur Stromabschätzung für den Betrieb von elektrischen Motoren**

(57) Zusammenfassung: Es werden Methoden und Systeme für die Stromabschätzung in einem elektrischen Motor bereitgestellt. Das System weist einen elektrischen Motor auf, welcher Sensoren für das Abtasten wenigstens des Motorstroms, der Motortemperatur und der Motorgeschwindigkeit besitzt. Ein Fahrzeug-Steuerglied ist an die Sensoren gekoppelt und beinhaltet ein geschlossenes Regelkreis-Stromsteuersystem für den elektrischen Motor, welcher eine Stromkompensationsschaltung besitzt, um ein Stromkompensationssignal bereitzustellen, welches benutzt wird, um einen Strombefehl für den elektrischen Motor einzustellen. Die Stromkompensationsschaltung beinhaltet ein Kurzschlussstrom-Berechnungsglied, um einen Kurzschlussstromwert bereitzustellen, basierend auf der Motortemperatur und der Motorgeschwindigkeit, ein Kompensationsverstärkungs-Berechnungsglied, um einen Verstärkungskompensationswert bereitzustellen, basierend auf der Motorgeschwindigkeit, und eine Schaltung für das Kombinieren des Motorstroms, des Kurzschlussstromwertes und des Verstärkungskompensationswertes, um das Stromkompensationssignal bereitzustellen. Methoden für die Stromabschätzung im elektrischen Motor werden auch bereitgestellt.



Beschreibung

TECHNISCHER BEREICH

[0001] Der technische Bereich bezieht sich im Allgemeinen auf Systeme und Methoden für ein Antriebssystem für elektrische und hybridelektrische Fahrzeuge, und spezieller ausgedrückt auf Systeme und Methoden für die Stromabschätzung zum Steuern eines elektrischen Motors in einem elektrischen Fahrzeug.

HINTERGRUND

[0002] Elektrische und hybridelektrische Fahrzeuge benutzen Wechselstrom-(AC-)Motorantriebe, um ein Drehmoment für eine Motorwelle bereitzustellen, welche die Räder des Fahrzeugs antreibt. In der Praxis wird der Betrag des Drehmoments, welches durch den Motor erzeugt wird, direkt (obwohl nicht perfekt proportional) auf den Betrag an Strom bezogen, welcher an den Motor geliefert wird. Deshalb kann durch das Regeln und das präzise Steuern des Eingangstromes zu dem elektrischen Motor der Betrag des Drehmoments, welches durch den elektrischen Motor erzeugt wird, genauer gesteuert werden. Jedoch wird in vielen Systemen der Eingangsmotorstrom nicht direkt gesteuert. Beispielsweise werden viele elektrische Motoren betrieben, indem die Pulsbreitenumodulations-(PWM-)Techniken in Kombination mit einem Wechselrichter (oder einem andere Netzgerät in geschaltetem Modus) benutzt wird, um die Spannung über den Motorwicklungen zu steuern, was umgekehrt den gewünschten Strom in dem Motor erzeugt.

[0003] In Antwort auf ein angefordertes Drehmoment (oder ein befohlenes Drehmoment) bestimmen herkömmliche Maschinensteuersysteme einen gewünschten Eingangsmotorstrom, um den angeforderten Betrag an Drehmoment zu erzeugen, und benutzen ein gesteuertes Regelkreissystem, um den Strom durch die Motorwicklungen zu steuern, und versuchen damit, den Betrag des Drehmoments, welches vom Motor erzeugt wird, zu regeln. Einer oder mehrere Sensoren werden benutzt, um den aktuellen Motorstrom zu messen, welcher dann mit dem gewünschten Eingangsmotorstrom verglichen wird. Basierend auf dem Ergebnis des Vergleichs werden die PWM-Befehle für den Wechselrichter eingestellt, um die Spannung über den Motorwicklungen zu erhöhen und/oder zu vermindern, so dass der aktuell gemessene Motorstrom den gewünschten Eingangsmotorstrom so nahe wie möglich zieht.

[0004] Jedoch können, wenn ein Stromsensor den Motorstrom nicht genau widerspiegelt, diese geschlossenen Regelkreis-Steuersysteme den Motor nicht weiter effektiv steuern. Beispielsweise kann das Steuersystem ohne eine genaue Motorstrom-Information den Motor dazu veranlassen, ein nicht ausreichendes Drehmoment, ein übermäßiges Drehmoment oder variierende und oszillierende Beträge an Drehmoment zu erzeugen. Folglich werden das Gebrauchen eines und die Freude an einem Fahrzeug nachteilig beeinflusst, wenn Stromsensor-Messfehler auftreten oder wenn das Steuersystem derartige Fehler nicht adäquat kommentieren kann.

[0005] Entsprechend ist es wünschenswert, eine einfache, zuverlässige und kosteneffektive Lösung für die Stromabschätzung in elektrischen oder hybridelektrischen Fahrzeugen bereitzustellen. Zusätzliche oder wünschenswerte Merkmale und Charakteristika der vorliegenden Erfindung werden aus der nachfolgenden Beschreibung offensichtlich, welche in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen und dem vorhergegangenen technischen Bereich und Hintergrund gegeben werden.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG

[0006] Entsprechend einer beispielhaften Ausführungsform wird ein Verfahren für die Stromabschätzung für einen elektrischen Motor bereitgestellt. Das Verfahren weist das Bereitstellen eines Stromkompensationssignals für ein geschlossenes Regelkreis-Stromsteuersystem für einen Motor eines Fahrzeugs, basierend auf gemessenen Strömen in dem Motor, der Motorgeschwindigkeit und der Motortemperatur, und dem darauf folgenden Einstellen eines Strombefehlssignals auf, wobei das Stromkompensationssignal benutzt wird, um den Strom zu steuern, welcher für den Motor des Fahrzeugs bereitgestellt wird.

[0007] Entsprechend einer anderen beispielhaften Ausführungsform wird ein System für die Stromabschätzung für einen elektrischen Motor bereitgestellt. Das System weist einen elektrischen Motor auf, welcher Sensoren für das Erfassen wenigstens des Motorstroms, der Motortemperatur und der Motorgeschwindigkeit besitzt. Ein Fahrzeugsteuerglied ist an die Sensoren gekoppelt und beinhaltet ein geschlossenes Regelkreis-Stromsteuersystem für den elektrischen Motor, welcher eine Stromkompensationsschaltung besitzt, um ein Stromkompensationssignal bereitzustellen, welches benutzt wird, um einen Strombefehl für den elektrischen Motor einzustellen. Die Stromkompensationsschaltung beinhaltet ein Stromkurzschlussstrom-Berechnungs-

glied, um einen Kurzschlussstromwert bereitzustellen, basierend auf der Motortemperatur und der Motorgeschwindigkeit, ein Kompensationsverstärkungs-Berechnungsglied, um einen Verstärkungskompensationswert bereitzustellen, basierend auf der Motorgeschwindigkeit, und eine Schaltung für das Kombinieren des Motorstroms, des Kurzschlussstromwertes und des Verstärkungskompensationswertes, um das Stromkompensationsignal bereitzustellen.

BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0008] Der erfinderische Gegenstand wird hier nachfolgend in Verbindung mit den folgenden gezeichneten Figuren beschrieben, wobei gleiche Ziffern gleiche Elemente bezeichnen, und:

[0009] **Fig. 1** eine Darstellung eines Fahrzeugs ist, welches für den Gebrauch der beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Veröffentlichung geeignet ist;

[0010] **Fig. 2** eine detailliertere Darstellung einiger Komponenten des Fahrzeugs der **Fig. 1** ist;

[0011] **Fig. 3** ein Blockdiagramm ist, welches den Betrieb des Stromkompensationsgliedes der **Fig. 2** darstellt, entsprechend zu einer beispielhaften Ausführungsform;

[0012] **Fig. 4** ein Blockdiagramm ist, welches den Betrieb des Kurzschlussstrom-Berechnungsgliedes der **Fig. 3** zeigt, entsprechend einer beispielhaften Ausführungsform;

[0013] **Fig. 5** ein Blockdiagramm ist, welches den Betrieb des Kompensationsverstärkungs-Berechnungsgliedes der **Fig. 3** darstellt, entsprechend einer beispielhaften Ausführungsform;

[0014] **Fig. 6A** und **Fig. 6B** Diagramme sind, welche den Stromfehler mit und ohne Stromkompensationsglied der beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung vergleichen; und

[0015] **Fig. 7A** und **Fig. 7B** Diagramme sind, welche den Drehmomentfehler mit und ohne das Stromkompensationsglied der beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Veröffentlichung vergleicht.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0016] Die folgende detaillierte Beschreibung ist in ihrer Art nur beispielhaft, und es ist nicht beabsichtigt, den Gegenstand der Veröffentlichung oder dessen Gebrauch zu begrenzen. Außerdem besteht keine Absicht, an irgendwelche ausgedrückte oder beinhaltet Theorie gebunden zu sein, welche in dem vorausgegangenen technischen Bereich, Hintergrund, der kurzen Zusammenfassung oder der folgenden detaillierten Beschreibung präsentiert wird.

[0017] In diesem Dokument können Bezugsterme, wie z. B. erster und zweiter und ähnliche nur benutzt werden, um eine Entität oder Aktion von einer anderen Entität oder Aktion zu unterscheiden, ohne dass notwendigerweise irgendeine aktuelle derartige Beziehung oder Reihenfolge zwischen derartigen Entitäten oder Aktionen erforderlich ist. Numerische Ordnungszahlen, wie z. B. "erster", "zweiter", "dritter" etc. bezeichnen einfach unterschiedliche Einzelheiten einer Vielzahl und beinhalten keinerlei Ordnung oder Folge, es sei denn, dies wird speziell durch die Sprache des Anspruchs definiert.

[0018] Zusätzlich bezieht sich die folgende Beschreibung auf Elemente oder Merkmale, welche miteinander "verbunden" oder "gekoppelt" sind. Wie es hier gebraucht wird, kann sich "verbunden" auf ein Element/Merkmal beziehen, welches direkt mit einem anderen Element/Merkmal verbunden ist (oder direkt mit diesem kommuniziert), und dies nicht notwendigerweise auf mechanische Weise. In ähnlicher Weise kann sich "gekoppelt" auf ein Element/Merkmal beziehen, welches direkt oder indirekt mit einem anderen Element/Merkmal verbunden ist (oder direkt oder indirekt mit diesem kommuniziert), und dies nicht notwendigerweise auf mechanische Weise. Jedoch sollte davon ausgegangen werden, obwohl zwei Elemente nachfolgend in einer Ausführungsform als „verbunden“ zu sein beschrieben werden, dass in anderen Ausführungsformen ähnliche Elemente „gekoppelt“ sein können und umgekehrt. Demnach, obwohl die schematischen Zeichnungen, welche hier gezeigt werden beispielhafte Anordnungen von Elementen darstellen, können zusätzliche dazwischen liegende Elemente, Einrichtungen, Merkmale oder Komponenten in einer aktuellen Ausführungsform vorhanden sein.

[0019] Schließlich können der Kürze wegen herkömmliche Techniken und Komponenten, welche sich auf elektrische Fahrzeugteile und andere funktionelle Gesichtspunkte des Systems (und die individuellen Betriebs-

komponenten des Systems) beziehen, hier im Detail nicht beschrieben werden. Außerdem sollen die Verbindungslinien, welche in den verschiedenen Figuren, welche hier enthalten sind, gezeigt werden, beispielhafte Funktionsbeziehungen und/oder physikalische Kopplungen zwischen den verschiedenen Elementen repräsentieren. Es sollte beachtet werden, dass viele alternative oder zusätzliche funktionelle Beziehungen oder physikalische Verbindungen in einer Ausführungsform der Erfindung vorhanden sein können. Es sollte auch davon ausgegangen werden, dass die [Fig. 1–Fig. 7](#) nur erläuternd sind und nicht maßstabsgerecht gezeichnet sind.

[0020] [Fig. 1](#) ist eine vereinfachte schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Fahrzeugs **100** entsprechend der vorliegenden Veröffentlichung. Obwohl das Fahrzeug **100** als ein rein elektrisches Fahrzeug dargestellt ist, sind die Techniken und Konzepte, welche hier beschrieben sind, auch für hybridelektrische Fahrzeuge anwendbar. Die dargestellte Ausführungsform des Fahrzeugs **100** beinhaltet ohne Eingrenzung: ein Fahrzeugsteuermodul **102**, welches an einen Generator **104** an Bord gekoppelt ist; ein Energiespeichersystem **106** an Bord; ein elektrisches Antriebssystem **108**, welches die Räder **110** antreibt.

[0021] Das Fahrzeugsteuermodul **102** kann jegliche Art von Verarbeitungselement oder Fahrzeugsteuerglied beinhalten und kann mit einem nichtflüchtigen Speicher, einem Direktzugriffsspeicher (RAM), diskretem und analogem Eingang/Ausgang (I/O bzw. E/A), einer zentralen Verarbeitungseinheit und/oder Kommunikationsschnittstellen für Netzverbindungen innerhalb eines Fahrzeugkommunikationsnetzes ausgestattet sein. In einer elektrischen Fahrzeugausführungsform kann der Generator **104** an Bord einen kleinen mit Gas (oder anderem flüssigen Kraftstoff) angetriebenen Generator aufweisen, welcher ausreicht, das Energiespeichersystem **106** zu laden, falls notwendig. In einer hybridelektrischen Fahrzeugausführungsform kann der Generator **104** durch einen oder einen Teil der Fahrzeuggas-(oder anderen Brennstoff-)Maschine angetrieben werden, welche benutzt wird, um das Fahrzeug anzutreiben. Das Energiespeichersystem **106** an Bord kann als ein Batterie- bzw. Akku-Satz realisiert sein, welcher ein einzelnes Batterie-Modul oder irgendeine Anzahl von einzelnen Batterie-Modulen aufweist. Das Energiespeichersystem **106** an Bord stellt elektrische Energie bereit, welche das elektrische Antriebssystem **108** in die Lage versetzt, Leistung für die Räder bereitzustellen.

[0022] Während [Fig. 1](#) für eine leichte Beschreibung verschiedene elektrische und mechanische Verbindungen und Kopplungen in sehr vereinfachter Weise darstellt, wird eine aktuelle Ausführungsform des Fahrzeugs **100** natürlich zusätzliche physikalische Komponenten und Einrichtungen benutzen, welche in der Automobilindustrie gut bekannt sind. Beispielsweise würden zahlreiche herkömmliche Zusatzeinrichtungen in einem kommerziell verfügbaren Fahrzeug beinhaltet sein, wie z. B. Fenster- oder Spiegelheizungen, Antiblockier-Bremssysteme, Traktions- oder Stabilitätssysteme, Beleuchtungssysteme, Warnsysteme (z. B. Hupe), Blinker (Signale), Klimaanlage, beheizte Sitze, Video/Audio-Systeme und Leistungsauslassanschlüsse für Benutzereinrichtungen (gemeinsam als Zubehör bezeichnet). Auch kann das Fahrzeug **100** irgendeines aus einer Anzahl von unterschiedlichen Arten von Automobilen sein, wie z. B. eine Limousine, ein Wagen, ein Lastwagen oder ein Fahrzeug für den Sportgebrauch (SUV), und kann einen Zweiradantrieb (2WD) (d. h. Hinterradantrieb oder Frontradantrieb), Vierradantrieb (4WD) oder Allradantrieb (AWD) besitzen. Das Fahrzeug **100** kann auch irgendeinen oder eine Kombination von der Anzahl von unterschiedlichen Arten von Motoren beinhalten, wie z. B. eine Verbrennungsmaschine für Benzin oder Dieselmotoren, eine Fahrzeug-(FFV-)Maschine mit flexiblem Brennstoff (d. h. eine Maschine, welche eine Mischung aus Benzin und Alkohol benutzt) oder eine Maschine mit Brennstoff mit einer Gaskomponente (z. B. Wasserstoff und/oder Naturgas).

[0023] [Fig. 2](#) ist ein detaillierteres Blockdiagramm von ausgewählten Komponenten des Fahrzeugs **100** entsprechend einer beispielhaften Ausführungsform. In einer beispielhaften Ausführungsform beinhaltet das elektrische Antriebssystem **108** einen elektrischen (AC-)Motor **112**, welcher einen Stator **116** und einen Rotor **114**, eine Wechselrichteranordnung **120**, ein Kühlsystem **122** und einen oder mehrere Sensoren **124** besitzt.

[0024] Das Fahrzeugsteuermodul **102** wird detaillierter dargestellt, indem es ein geschlossenes Regelkreis-Stromsteuersystem beinhaltet, welches ein Systemsteuerglied **126**, ein Stromsteuerglied **128**, einen Koordinaten-Transformationsblock **130** und einen Pulsweitenmodulator (PWM) **132** besitzt. Das Systemsteuerglied **126** ist konfiguriert, um einen Drehmomentbefehl (T) **134** zu erhalten und Strombefehle (i_{dq}^*) **136** für das Stromsteuerglied zu erzeugen, welche eingestellt sind (**160**), wie dies detaillierter unten beschrieben wird, um ein eingestelltes Signal **162** für das Stromsteuerglied **128** bereitzustellen. Das Stromsteuerglied **128** benutzt das eingestellte Signal **162** und die gemessene Motorgeschwindigkeit **146**, um die Strombefehlssignale (v_{dq}^*) **138** zu erzeugen, welche zusammen mit der gemessenen Rotorposition **151** durch den Koordinaten-Transformationsblock **130** verarbeitet werden, um die Pulsweitenmodulator-Befehlssignale (v_{abc}^*) **140** zu erzeugen, um den Wechselrichter **120** über die PWM-Signale **142** zu betreiben. Auf diese Weise zieht das Drehmoment, welches durch den elektrischen Motor **112** erzeugt ist, den Drehmomentbefehl (T). Der Pulsweitenmodula-

tor (PWM) **132** empfängt ein zusätzliches Eingangssignal **133** von einem Spannungssensor **121**, welcher die Spannung über den dc-Bus in dem Wechselrichter **120** misst, um die PWM-Signale **142** zu erzeugen, wie es in der Fachwelt bekannt ist.

[0025] In der beispielhaften Ausführungsform, welche in **Fig. 2** dargestellt ist, empfängt das Fahrzeugsteuermodul **102** Eingangssignale **144** von mehreren Sensoren **124**. Unter diesen sind die gemessene Rotorposition **151**, die gemessene Motorgeschwindigkeit **146**, die gemessene Motortemperatur **148** und die gemessenen Motorströme **150**. In einigen Ausführungsformen kann die gemessene Motorgeschwindigkeit **146** durch eine geschätzte Motorgeschwindigkeit ersetzt werden, wobei ein herkömmliches Geschwindigkeits-Abschätzschema benutzt wird, abhängig von dem Motorsteuersystem, welches in jedem speziellen Design angewendet wird. Die gemessenen Motorströme (i_{abc}) werden mit der gemessenen Rotorposition **151** über einen anderen Koordinaten-Transformationsblock **152** bearbeitet, um d-q-bezogene Signale (i_{dq}) **154** für ein Stromkompensationsglied **156** bereitzustellen, welches einen Teilbereich des geschlossenen Regelkreis-Stromsteuersystems bildet.

[0026] Entsprechend zu den beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Veröffentlichung stellt das Stromkompensationsglied **156** ein Stromkompensationssignal (i_{dqcomp}) **158** bereit, (d. h. die Abschätzung der Durchschnittsströme des Motors), welches von den Strombefehlen (i_{dq}^*) **136** subtrahiert wird (**160**), um ein eingestelltes Strombefehlssignal **162** bereitzustellen, welches die Fehler zwischen den gemessenen Strömen **150** und den Durchschnittsströmen des Motors **112** kompensiert. Derartige Fehler sind bekannt dafür, dass sie zunehmen, wenn die Betriebsfrequenz des Wechselrichters **120** relativ zu der Mess-(Abtast-)Frequenz zunimmt, welche benutzt wird, um das gemessene Stromsignal **150** zu erzeugen. Diese Fehler vermindern die Genauigkeit und die Stabilität des Stromsteuergliedes **128**, was umgekehrt die gesamte Drehmomentsteuerung des Motors **112** beeinträchtigt.

[0027] Der Motor **112** kann ein Vielphasen-Wechselstrom-(AC-)Motor sein, welcher im Allgemeinen einen Rotor **114** und einen Stator **116** beinhaltet, mit Wicklungen oder Spulen, welche gruppiert sein können, um den Betriebsphasen zu entsprechen. Die Wechselrichteranordnung **120** treibt den Betrieb des Motors **112** und beinhaltet im Allgemeinen einen oder mehrere Wechselrichter, wobei jeder Schalter antiparallele Dioden beinhaltet. In verschiedenen Ausführungsformen sind die Schalter mit isolierten Gate-Bipolar-Transistoren (IGBTs), Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekt-Transistoren (MOSFETs) und/oder Ähnlichem implementiert. Die Wicklungen des Stators **116** sind elektrisch zwischen den Schaltern der Wechselrichteranordnung **120** gekoppelt, um Strom zu empfangen und das Drehmoment in dem Motor **112** zu erzeugen. In einer beispielhaften Ausführungsform stellt die Wechselrichteranordnung **120** alternierende Phasenströme bereit, um die Dreiphasen des Motors **112** bei variierenden Geschwindigkeiten basierend auf der Ausgangsspannung (V_{DC}) der Leistungsquelle **106** und den Steuersignalen **142** von dem Steuerglied **102** zu treiben.

[0028] Ein Kühlsystem **122** mit einem Kühlmittel, z. B. einem Motoröl, umgibt und kühlt den Motor **112** während des Betriebes. Die Sensoren **124** können jegliche geeignete Art von Sensor für das Sammeln von Information innerhalb des Antriebssystems **108** für den Gebrauch durch das Steuerglied **102** beinhalten. Beispielsweise können die Sensoren **124** die Motortemperatur, den Motorstrom, die Motorgeschwindigkeit, Rotorpositionen (θ_r), Rotorgeschwindigkeiten (ω_r) und andere Parameter bestimmen oder auf andere Weise oder ableiten, welche als Eingangssignale **144** für das Fahrzeugsteuermodul **102** benutzt werden.

[0029] **Fig. 3** ist ein Blockdiagramm, welches eine detailliertere Darstellung des Stromkompensationsgliedes **156** darstellt. Wie zuvor erwähnt, nimmt das Stromkompensationsglied **156** als Eingangssignale die gemessene Motortemperatur (T_{mot}) **146**, die gemessene Motorgeschwindigkeit (N_{mot}) **148** und die gemessenen Motorströme (i_{dq}) **154** an und stellt ein Stromkompensationssignal (i_{dqcomp}) **158** bereit. Die gemessene Motortemperatur (T_{mot}) **146** und die gemessene Motorgeschwindigkeit (N_{mot}) **148** werden von einem Kurzschlussstrom-Berechnungsglied **162** (welches detaillierter unten in Verbindung mit **Fig. 4** diskutiert wird) benutzt, um ein Kurzschluss-Stromsignal ($i_{dq,sc}$) **164** zu bestimmen oder zu berechnen. Zusätzlich wird die gemessene Motorgeschwindigkeit (N_{mot}) **148** von einem Kompensationsverstärkungs-Berechnungsglied **166** (welches detaillierter in Verbindung mit **Fig. 5** diskutiert wird) mit dem Betrag der Abtastperiode (T_{samp}) **170** benutzt, um einen Kompensations-Verstärkungsfaktor (K_{δ}) **168** bereitzustellen. In beispielhaften Ausführungsformen ist die Abtastperiode die gleiche wie die Abtastperiode, welche in den anderen Motorsensoren (**124** in **Fig. 2**) benutzt wird, um die Motorströme **150** und die Rotorposition **151** zu messen. Das Kurzschluss-Stromsignal ($i_{dq,sc}$) **164** wird (in **171**) von dem in der Koordinate transformierten gemessenen Strömen **154** subtrahiert, wobei das Ergebnis (**172**) davon über den Kompensationsverstärkungsfaktor (K_{δ}) **168** multipliziert wird **174**. Dieses Ergebnis (**176**) wird dann zu dem Kurzschluss-Stromsignal ($i_{dq,sc}$) **164** addiert (**178**), um das Kompensationsstromsignal (i_{dqcomp}) **158** zu erzeugen.

[0030] Fig. 4 ist ein Blockdiagramm, welches eine detailliertere Darstellung des Kurzschlussstrom-Berechnungsglieds 162 bereitstellt. In einer Ausführungsform wendet das Kurzschlussstrom-Berechnungsglied die gemessene Motortemperatur (T_{mot}) 146 und die gemessene Motorgeschwindigkeit (N_{mot}) 148 an einer zweidimensionalen Look-up- bzw. Verweistabelle 180 an, um einen Wert 182 zu bestimmen, welcher als die d-Achse-Kurzschlussstrom- $(i_{d,sc})$ -Komponente bereitgestellt wird. Zusätzlich wird die gemessene Motortemperatur (T_{mot}) 146 und die gemessene Motorgeschwindigkeit (N_{mot}) 148 für eine zweidimensionale Look-up-Tabelle 184 bereitgestellt, um einen Wert 186 zu bestimmen, welcher als die q-Achse-Kurzschlussstrom- $(i_{q,sc})$ -Komponente bereitgestellt wird. Zusammen weisen die d-Achse-Kurzschlussstrom- $(i_{d,sc})$ -Komponente und die q-Achse-Kurzschlussstrom- $(i_{q,sc})$ -Komponente das Kurzschlussstromsignal $(i_{q,sc})$ 164 auf. Die Werte für die zweidimensionalen Look-up-Tabellen 180 und 184 werden durch die folgenden Gleichungen für eine Permanentmagnetmotor-Ausführungsform erzeugt:

$$I_{d,sc} = - \frac{\omega_r^2 L_q \lambda_{PM}}{R_s^2 + \omega_r^2 L_d L_q}$$

$$I_{q,sc} = - \frac{\omega_r R_s \lambda_{PM}}{R_s^2 + \omega_r^2 L_d L_q}$$

wobei

$I_{d,sc}$	D-Achse-stationärer Kurzschlussstrom
$I_{q,sc}$	Q-Achse-stationärer Kurzschlussstrom
L_d	D-Achse-elektrostatische Induktivität
L_q	Q-Achse-elektrostatische Induktivität
R_s	Statorwiderstand
i_d	D-Achse-Strom
i_q	Q-Achse-Strom
v_d	D-Achse-Spannung
v_q	Q-Achse-Spannung
λ_{PM}	Magnetische Flussverkettung des Permanentmagneten
ω_r	Elektrische Rotorfrequenz

[0031] In einer Dreiphasen-Induktionsmotor-Ausführungsform werden die Werte für die zweidimensionalen Look-up-Tabellen 180 und 184 durch die folgenden Gleichungen erzeugt:

$$I_{d,sc} = - \frac{\omega_e^2 L_\delta \lambda_{dr}}{R_s^2 + \omega_e^2 L_\sigma^2} \frac{L_m}{L_r}$$

$$I_{q,sc} = - \frac{\omega_e R_s \lambda_{dr}}{R_s^2 + \omega_e^2 L_\sigma^2} \frac{L_m}{L_r}$$

wobei

$I_{d,sc}$	D-Achse-stationärer Kurzschlussstrom
$I_{q,sc}$	Q-Achse-stationärer Kurzschlussstrom
L_m	Magnetisierungsinduktivität
L_r	Rotorinduktivität
L_s	Statorinduktivität
L_σ	Stator-Ausgleichsinduktivität

R_s	Statorwiderstand
i_d	D-Achse-Strom
i_q	Q-Achse-Strom
v_d	D-Achse-Spannung
v_q	Q-Achse-Spannung
λ_{dr}	D-Achse-Rotorfluss
ω_e	Synchronfrequenz

[0032] In einer anderen Ausführungsform beinhaltet das Kurzschlussstrom-Berechnungsglied **162** einen Prozessor, welcher die d-Achse-Kurzschlussstrom- (i_{d,sc^-}) -Komponente und die q-Achse-Kurzschlussstrom- (i_{q,sc^-}) -Komponente aus den obigen Gleichungen berechnet, um das Kurzschlussstromsignal $(i_{dq,sc})$ **164** zu berechnen.

[0033] Bezug nehmend nun auf [Fig. 5](#) wird ein Blockdiagramm gezeigt, welches eine detailliertere Darstellung des Kompensationsverstärkungs-Berechnungsgliedes **166** bereitstellt. Das Kompensationsverstärkungs-Berechnungsglied **166** wendet die gemessene Motorgeschwindigkeit (N_{mot}) **148** an einem Skalierfaktor **188** an, welcher in einer Ausführungsform einen $2\pi/60$ -Skalierfaktor aufweist, welcher auf der Einheitswandlung von Rotationen pro Minute in Radian pro Sekunde basiert. Diese skalierte **(188)** gemessene Motorgeschwindigkeit wird durch die Anzahl der Polpaare **192** der Motormagnete multipliziert **(190)**. Beispielsweise wenn der Motor **(112** der [Fig. 2](#)) sechs Magnete besitzt, würde er sechs Polpaare besitzen. Das Ergebnis **194** wird über den Betrag der Abtastperiode (T_{samp}) **170** multipliziert. Das multiplizierte Signal **198** wird durch zwei dividiert **(200)**, und der trigonometrische Sinus wird hergenommen **(204)**, welcher dann durch das geteilte Signal **202** dividiert wird **(206)**. Das Ergebnis wird quadriert **(208)**, um den Kompensationsverstärkungsfaktor (K_G) **168** zu erzeugen.

[0034] Mit Bezug nun auf [Fig. 6A](#) wird ein Diagramm **300** gezeigt, welches den Fehler darstellt, welcher erzeugt ist, indem ein Regelkreisstrom-Steuersystem (siehe [Fig. 2](#)) ohne das Stromglied **156** benutzt wird. Die X-Achse des Diagramms **300** zeigt den i_d -Strom, während die Y-Achse den i_q -Strom zeigt. Wie gesehen werden kann, fällt der befohlene Strom **302** im Wesentlichen mit dem gemessenen Strom **304** zusammen, jedoch, ohne das Stromkompensationsglied **156** der vorliegenden Veröffentlichung, weicht der Durchschnitt **(308)** der aktuellen Ströme **306** um einen Fehlerbetrag **310** von dem gemessenen Strom **304** ab. Wenn das Stromkompensationsglied **156** benutzt wird, präsentiert [Fig. 6B](#) ein Diagramm **312**, in welchem der befohlene Strom **302** im Wesentlichen mit dem Durchschnittswert **(308)** der aktuellen Ströme **306** zusammenfällt, und der Fehler **310** von dem gemessenen Strom **304** wurde im Wesentlichen eliminiert. Da der Stromfehler im Wesentlichen eliminiert werden kann, bietet das Regelkreis-Stromsteuersystem der vorliegenden Veröffentlichung den Vorteil des Reduzierens der Schaltfrequenz der Wechselrichter **(120** der [Fig. 2](#)), wobei ein erhöhter Wirkungsgrad bereitgestellt wird. D. h., der Wechselrichter-Wirkungsgrad ist bekannt dafür, dass er sich vermindert, wenn sich die Schaltfrequenz erhöht, da eine höhere Schaltfrequenz einen höheren Schaltverlust erzeugt. Bei herkömmlichen Systemen (siehe Ergebnisse, welche in [Fig. 6A](#) dargestellt sind) ist jedoch der Fehlerbetrag **310** dafür bekannt, dass er sich erhöht, wenn sich die Rate der Motorgeschwindigkeit entsprechend der Schaltfrequenz erhöht. Entsprechend gibt es eine Grenze bei einem herkömmlichen System für das Reduzieren der Schaltfrequenz, wobei der Maximalwert der Motorgeschwindigkeit bereits festgelegt ist. Umgekehrt bieten die beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Veröffentlichung den Vorteil des Reduzierens der Schaltfrequenz für den gleichen Maximalwert der Motorgeschwindigkeit, indem der Fehlerbetrag von **310** drastisch reduziert wird, wie dies in [Fig. 6B](#) dargestellt wird.

[0035] Da der Stromfehler **310** dafür bekannt ist, den Drehmomentfehler zu verursachen, zeigt [Fig. 7A](#) ein Diagramm **314**, welches die Zeit entlang der X-Achse und das Drehmoment (in Newton-Metern (Nm)) entlang der Y-Achse besitzt, um den Drehmomentfehler mit und ohne das Stromkompensationsglied **156** zu vergleichen. Wie gesehen werden kann, unterscheidet sich das befohlene Drehmoment **316** von dem Durchschnittswert **(318)** des aktuellen Drehmoments **320** durch einen Fehlerbetrag **322** von ungefähr 1,5 Nm, ohne das Gebrauchen des Stromkompensationsgliedes **156**. Indem das Stromkompensationsglied **156** benutzt wird, präsentiert [Fig. 7B](#) ein Diagramm **324**, welches darstellt, dass der Drehmomentfehler **322** auf ungefähr Null-Nm reduziert wird, so dass damit eine wesentliche Verbesserung in der Drehmomentsteuerung bereitgestellt wird.

[0036] Entsprechend wird ein Stromabschätzsystem und Verfahren bereitgestellt, welches ein Stromkompensationsglied in einem geschlossenen Regelkreis-Steuersystem anwendet, welches im Wesentlichen die Stromabschätzung und die Drehmoment-Leistungsfähigkeit verbessert. Darüber hinaus bietet das Stromkompensa-

tionsglied den Vorteil des Reduzierens der Schaltfrequenz der Wechselrichter (120 der Fig. 2), indem ein erhöhter Wirkungsgrad bereitgestellt wird.

[0037] Während wenigstens eine beispielhafte Ausführungsform in der vorausgegangenen Zusammenfassung und der detaillierten Beschreibung präsentiert wurde, so sollte gewürdigt werden, dass eine große Anzahl von Variationen existiert. Es sollte auch gewürdigt werden, dass die beispielhafte Ausführungsform oder die beispielhaften Ausführungsformen nur Beispiele sind und es nicht beabsichtigt ist, dass diese den Umfang, die Anwendbarkeit oder die Konfiguration der Veröffentlichung in irgendeiner Weise eingrenzen. Vielmehr wird die vorausgegangene Zusammenfassung und die detaillierte Beschreibung Fachleuten eine bequeme Anleitung für das Implementieren der beispielhaften Ausführungsform oder der beispielhaften Ausführungsformen bereitstellen. Es sollte davon ausgegangen werden, dass verschiedene Änderungen in der Funktion und in der Anordnung der Elemente durchgeführt werden können, ohne vom Umfang der Veröffentlichung abzuweichen, wie er in den angehängten Ansprüchen und den rechtlichen Äquivalenten davon aufgeführt ist.

Weitere Ausführungsformen

1. Verfahren, welches aufweist:

Bereitstellen eines Stromkompensationssignals für ein geschlossenes Regelkreis-Stromsteuersystem für einen Motor eines Fahrzeugs, basierend auf gemessenen Strömen in dem Motor, der Motorgeschwindigkeit und der Motortemperatur; und

Einstellen eines Strombefehlssignals, wobei das Stromkompensationssignal benutzt wird, um den Strom zu steuern, welcher für den Motor des Fahrzeugs bereitgestellt ist.

2. Verfahren nach Ausführungsform 1, wobei das Bestimmen eines Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes aufweist, wobei die Motorgeschwindigkeit und die Motortemperatur benutzt werden.

3. Verfahren nach Ausführungsform 2, wobei das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes ferner das Bereitstellen eines Kurzschluss- i_q -Wertes aus einer zweidimensionalen Lookup- bzw. Verweistabelle aufweist.

4. Verfahren nach Ausführungsform 3, wobei das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes ferner das Bereitstellen eines Kurzschluss- i_d -Wertes aus einer zweiten zweidimensionalen Lookup-Tabelle aufweist.

5. Verfahren nach Ausführungsform 2, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen eines Kompensationsverstärkungswertes aufweist, wobei die Motortemperatur benutzt wird.

6. Verfahren nach Ausführungsform 5, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen des Stromkompensationssignals aus dem Kurzschlussstromwert und dem Kompensationsverstärkungswert aufweist.

7. Verfahren, welches aufweist:

Abtastung eines elektrischen Motors während des Betriebes, um gemessenen Motorstrom, Motortemperatur und Motorgeschwindigkeit bereitzustellen;

Bereitstellen eines Stromkompensationssignals, basierend auf dem gemessenen Motorstrom, der Motortemperatur und der Motorgeschwindigkeit;

Einstellen eines Strombefehlssignals, um ein eingestelltes Strombefehlssignal bereitzustellen;

Bearbeiten des eingestellten Strombefehlssignals in einem geschlossenen Regelkreis-Stromsteuersystem, um den Betrieb des elektrischen Motors zu steuern.

8. Verfahren nach Ausführungsform 7, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes aufweist, wobei die Motorgeschwindigkeit und die Motortemperatur benutzt werden.

9. Verfahren nach Ausführungsform 8, wobei das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes ferner das Bereitstellen eines Kurzschluss- i_q -Wertes aus einer zweidimensionalen Lookup-Tabelle aufweist.

10. Verfahren nach Ausführungsform 9, wobei das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes ferner das Bereitstellen eines Kurzschluss- i_d -Wertes aus einer zweiten zweidimensionalen Lookup-Tabelle aufweist.

11. Verfahren nach Ausführungsform 8, wobei das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes ferner das Berechnen eines Kurzschluss- i_d -Wertes aus der Gleichung aufweist:

$$I_{d,sc} = - \frac{\omega_r^2 L_q \lambda_{PM}}{R_s^2 + \omega_r^2 L_d L_q}$$

12. Verfahren nach Ausführungsform 8, wobei das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes ferner das Berechnen eines Kurzschluss- i_q -Wertes aus der Gleichung aufweist:

$$I_{q,sc} = - \frac{\omega_r R_s \lambda_{PM}}{R_s^2 + \omega_r^2 L_d L_q}$$

13. Verfahren nach Ausführungsform 8, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen eines Kompensationsverstärkungswertes aufweist, wobei die Motortemperatur benutzt wird.

14. Verfahren nach Ausführungsform 13, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen des Stromkompensationssignals aus dem Kurzschlussstromwert und dem Kompensationsverstärkungswert aufweist.

15. Fahrzeug, welches aufweist:

einen elektrischen Motor;

Sensoren, welche an den elektrischen Motor gekoppelt sind, um wenigstens den Motorstrom, die Motortemperatur und die Motorgeschwindigkeit abzutasten;

ein Fahrzeugsteuerglied, welches an die Sensoren gekoppelt ist und welches ein geschlossenes Regelkreis-Stromsteuersystem für den elektrischen Motor beinhaltet;

eine Stromkompensationsschaltung innerhalb des geschlossenen Regelkreis-Stromsteuersystems, um ein Stromkompensationssignal bereitzustellen, um einen Strombefehl für den elektrischen Motor einzustellen, wobei die Stromkompensationsschaltung aufweist:

ein Kurzschlussstrom-Berechnungsglied, um einen Kurzschlussstromwert bereitzustellen, basierend auf der Motortemperatur und der Motorgeschwindigkeit;

ein Kompensationsverstärkungs-Berechnungsglied, um einen Verstärkungskompensationswert bereitzustellen, basierend auf der Motorgeschwindigkeit; und

eine Schaltung, um den Motorstrom, den Kurzschlussstromwert und den Verstärkungs-Kompensationswert zu kombinieren, um das Stromkompensationssignal bereitzustellen.

16. Fahrzeug nach Ausführungsform 15, wobei das Kurzschlussstrom-Berechnungsglied eine zweidimensionale Lookup-Tabelle beinhaltet, um eine i_q -Komponente für den Kurzschlussstromwert bereitzustellen.

17. Fahrzeug nach Ausführungsform 16, wobei die zweidimensionale Lookup-Tabelle, um eine i_q -Komponente des Kurzschlussstromwertes bereitzustellen, i_q -Werte beinhaltet, welche durch die Gleichung berechnet sind:

$$I_{q,sc} = - \frac{\omega_r R_s \lambda_{PM}}{R_s^2 + \omega_r^2 L_d L_q}$$

18. Fahrzeug nach Ausführungsform 15, wobei das Kurzschlussstrom-Berechnungsglied eine zweidimensionale Lookup-Tabelle beinhaltet, um eine i_d -Komponente des Kurzschlussstromwertes bereitzustellen.

19. Fahrzeug nach Ausführungsform 18, wobei die zweidimensionale Lookup-Tabelle, um eine i_d -Komponente des Kurzschlussstromwertes bereitzustellen, i_d -Werte beinhaltet, welche durch die Gleichung berechnet sind:

$$I_{d,sc} = - \frac{\omega_r^2 L_q \lambda_{PM}}{R_s^2 + \omega_r^2 L_d L_q}$$

20. Fahrzeug nach Ausführungsform 15, wobei das geschlossene Regelkreis-Stromsteuersystem einen Wechselrichter steuert, welcher an eine Batterie und den elektrischen Motor gekoppelt ist.

Patentansprüche

1. Verfahren, welches aufweist:

Bereitstellen eines Stromkompensationssignals für ein geschlossenes Regelkreis-Stromsteuersystem für einen Motor eines Fahrzeugs, basierend auf gemessenen Strömen in dem Motor, der Motorgeschwindigkeit und der Motortemperatur; und

Einstellen eines Strombefehlssignals, wobei das Stromkompensationssignal benutzt wird, um den Strom zu steuern, welcher für den Motor des Fahrzeugs bereitgestellt ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bestimmen eines Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes aufweist, wobei die Motorgeschwindigkeit und die Motortemperatur benutzt werden.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen eines Kompensationsverstärkungswertes aufweist, wobei die Motortemperatur benutzt wird.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen des Stromkompensationssignals aus dem Kurzschlussstromwert und dem Kompensationsverstärkungswert aufweist.

5. Verfahren, welches aufweist:

Abtastung eines elektrischen Motors während des Betriebes, um gemessenen Motorstrom, Motortemperatur und Motorgeschwindigkeit bereitzustellen;

Bereitstellen eines Stromkompensationssignals, basierend auf dem gemessenen Motorstrom, der Motortemperatur und der Motorgeschwindigkeit;

Einstellen eines Strombefehlssignals, um ein eingestelltes Strombefehlssignal bereitzustellen;

Bearbeiten des eingestellten Strombefehlssignals in einem geschlossenen Regelkreis-Stromsteuersystem, um den Betrieb des elektrischen Motors zu steuern.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen eines Kurzschlussstromwertes aufweist, wobei die Motorgeschwindigkeit und die Motortemperatur benutzt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen eines Kompensationsverstärkungswertes aufweist, wobei die Motortemperatur benutzt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei das Bereitstellen des Stromkompensationssignals ferner das Bestimmen des Stromkompensationssignals aus dem Kurzschlussstromwert und dem Kompensationsverstärkungswert aufweist.

9. Fahrzeug, welches aufweist:

einen elektrischen Motor;

Sensoren, welche an den elektrischen Motor gekoppelt sind, um wenigstens den Motorstrom, die Motortemperatur und die Motorgeschwindigkeit abzutasten;

ein Fahrzeugsteuerglied, welches an die Sensoren gekoppelt ist und welches ein geschlossenes Regelkreis-Stromsteuersystem für den elektrischen Motor beinhaltet;

eine Stromkompensationsschaltung innerhalb des geschlossenen Regelkreis-Stromsteuersystems, um ein Stromkompensationssignal bereitzustellen, um einen Strombefehl für den elektrischen Motor einzustellen, wobei die Stromkompensationsschaltung aufweist:

ein Kurzschlussstrom-Berechnungsglied, um einen Kurzschlussstromwert bereitzustellen, basierend auf der Motortemperatur und der Motorgeschwindigkeit;

ein Kompensationsverstärkungs-Berechnungsglied, um einen Verstärkungskompensationswert bereitzustellen, basierend auf der Motorgeschwindigkeit; und

eine Schaltung, um den Motorstrom, den Kurzschlussstromwert und den Verstärkungs-Kompensationswert zu kombinieren, um das Stromkompensationssignal bereitzustellen.

10. Fahrzeug nach Anspruch 9, wobei das geschlossene Regelkreis-Stromsteuersystem einen Wechselrichter steuert, welcher an eine Batterie und den elektrischen Motor gekoppelt ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

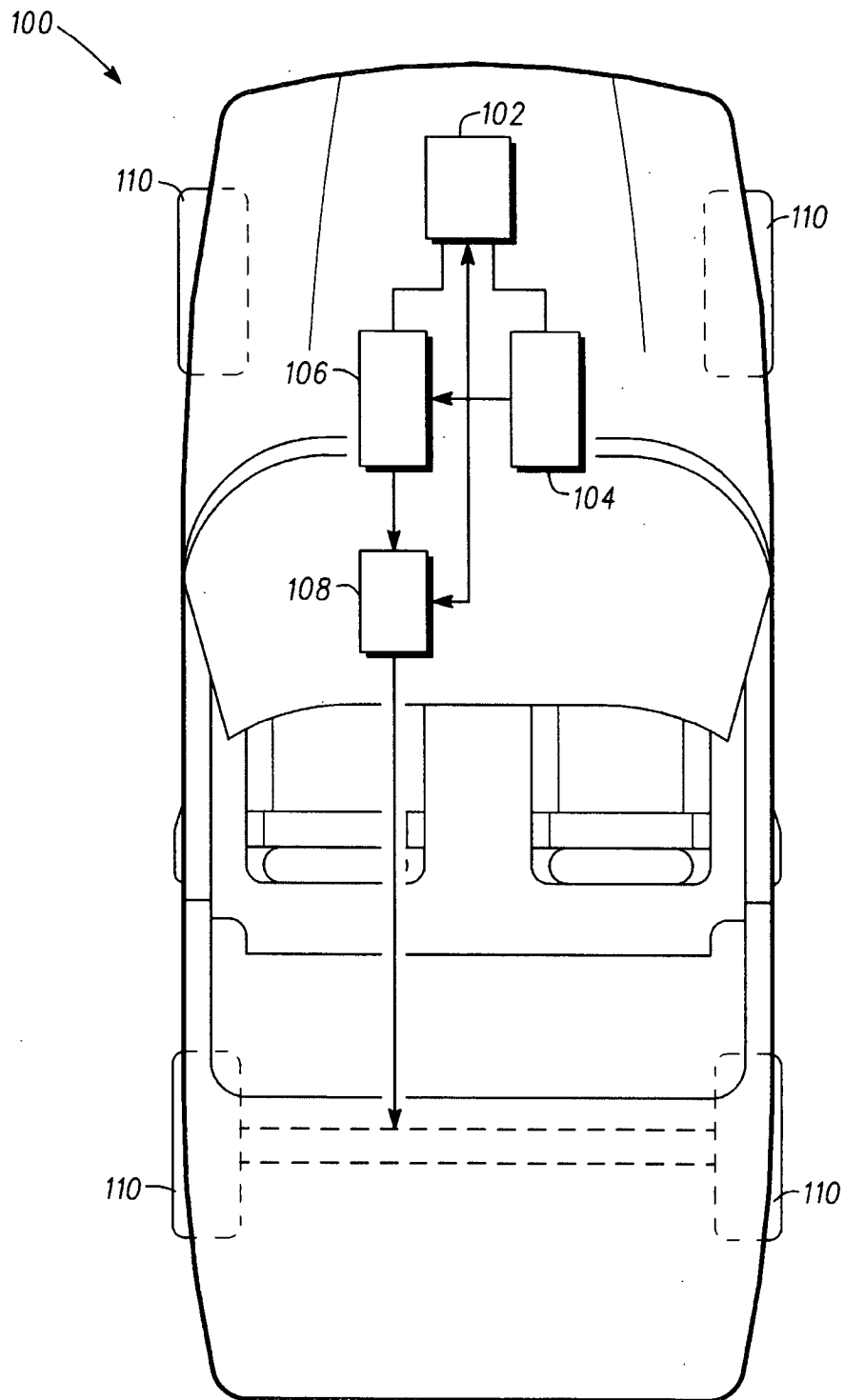


Fig. 1

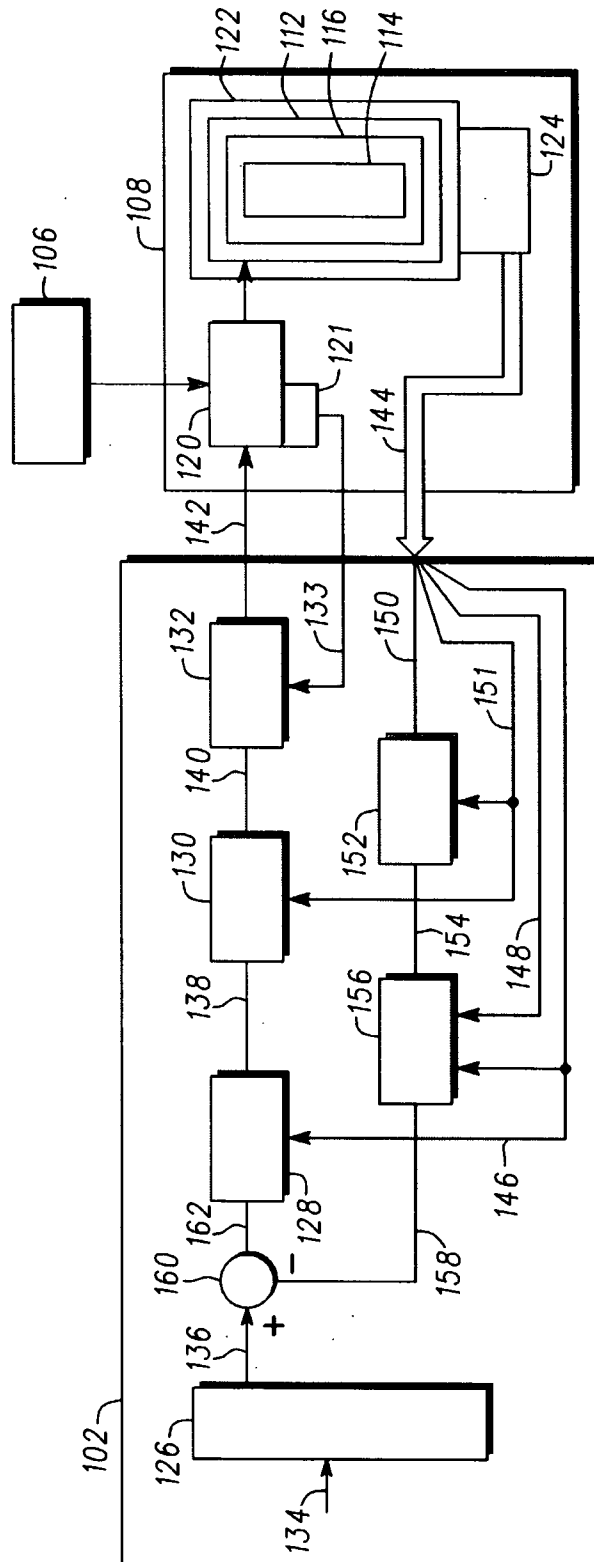


Fig. 2

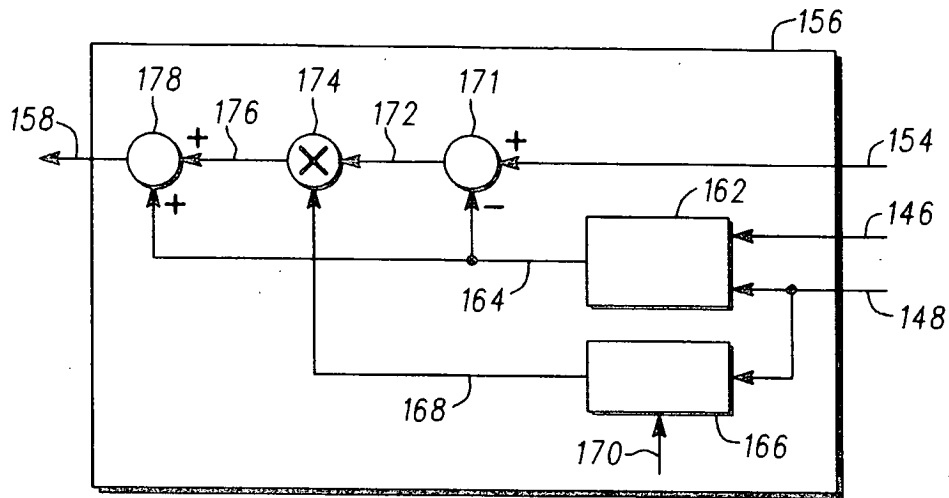


Fig. 3

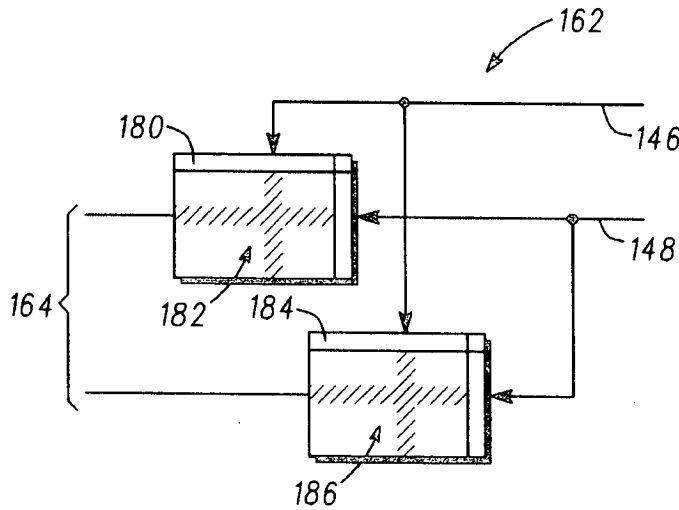


Fig. 4

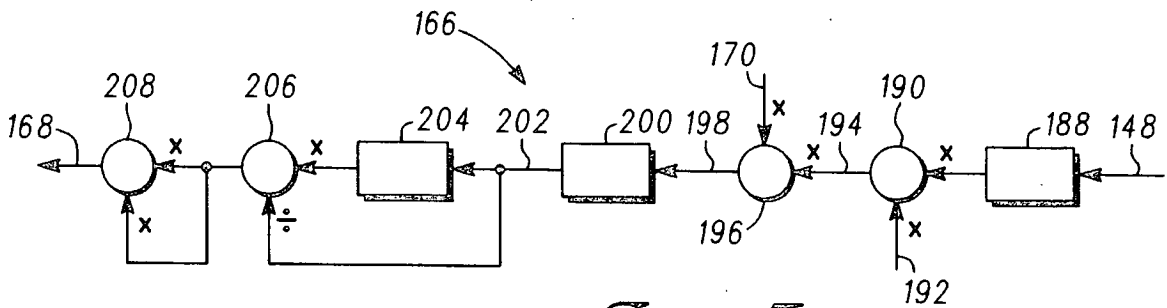


Fig. 5

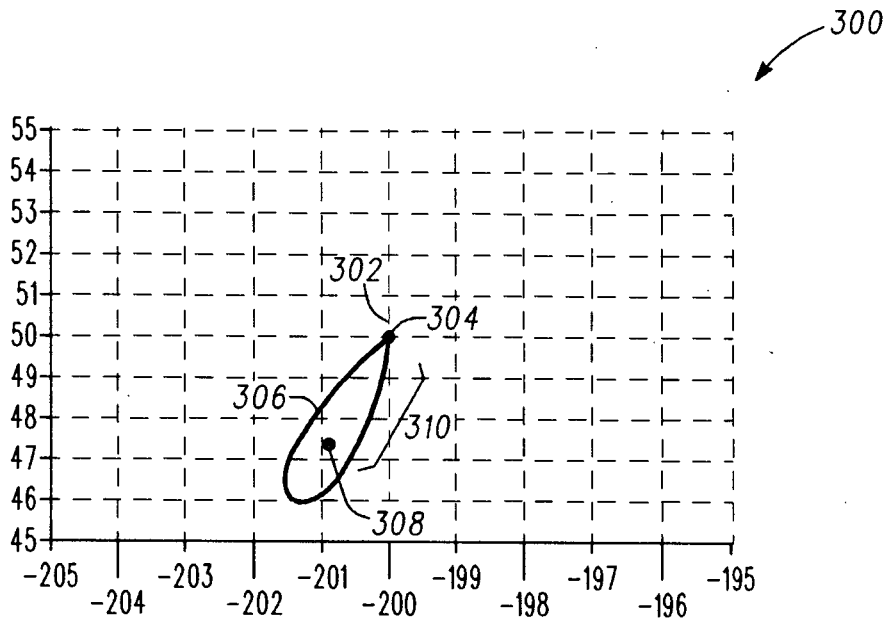


Fig. 6A

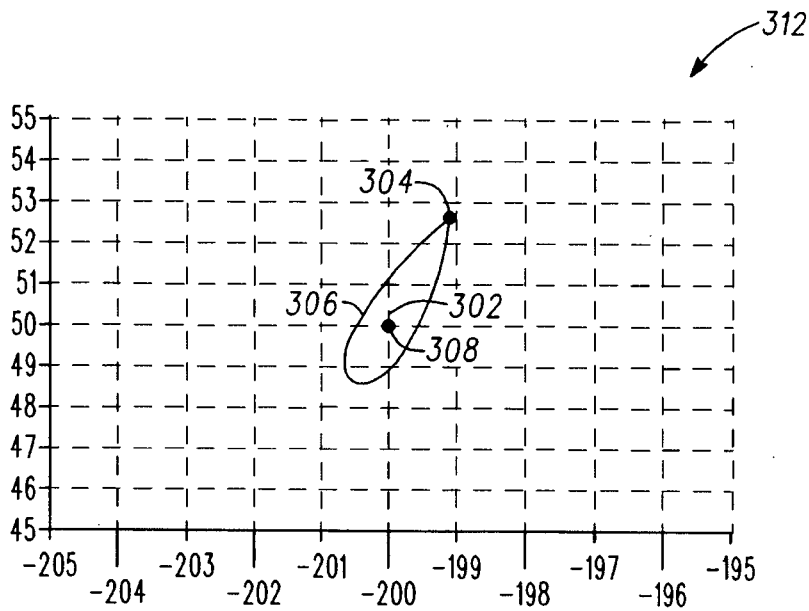


Fig. 6B

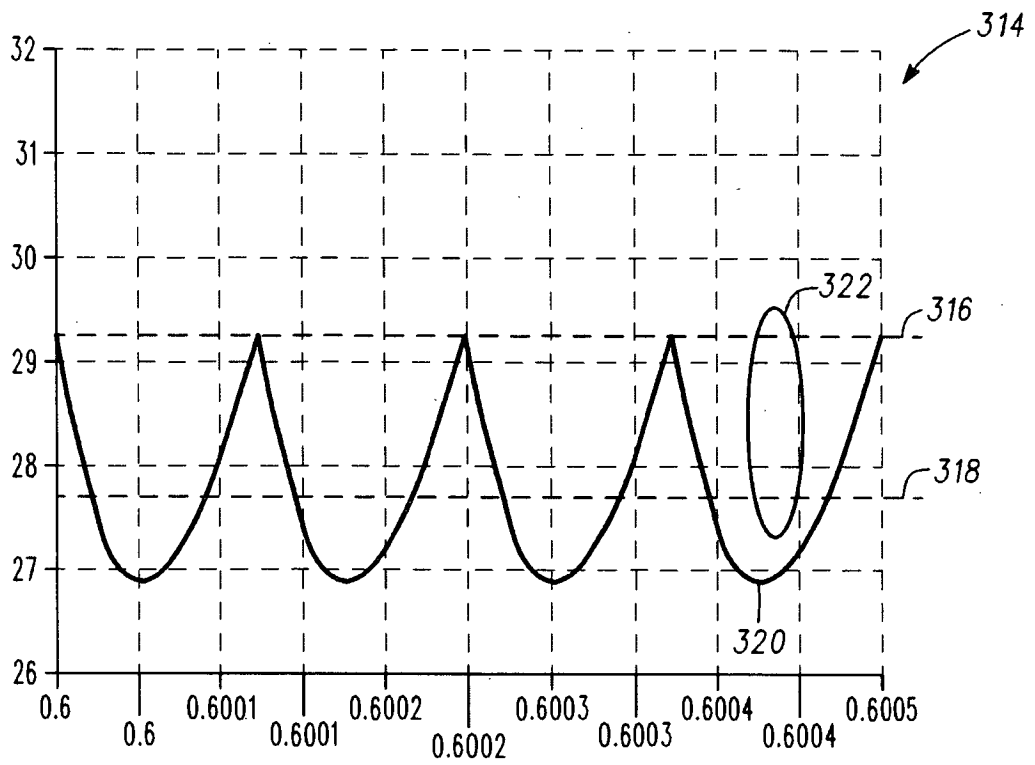


Fig. 7A

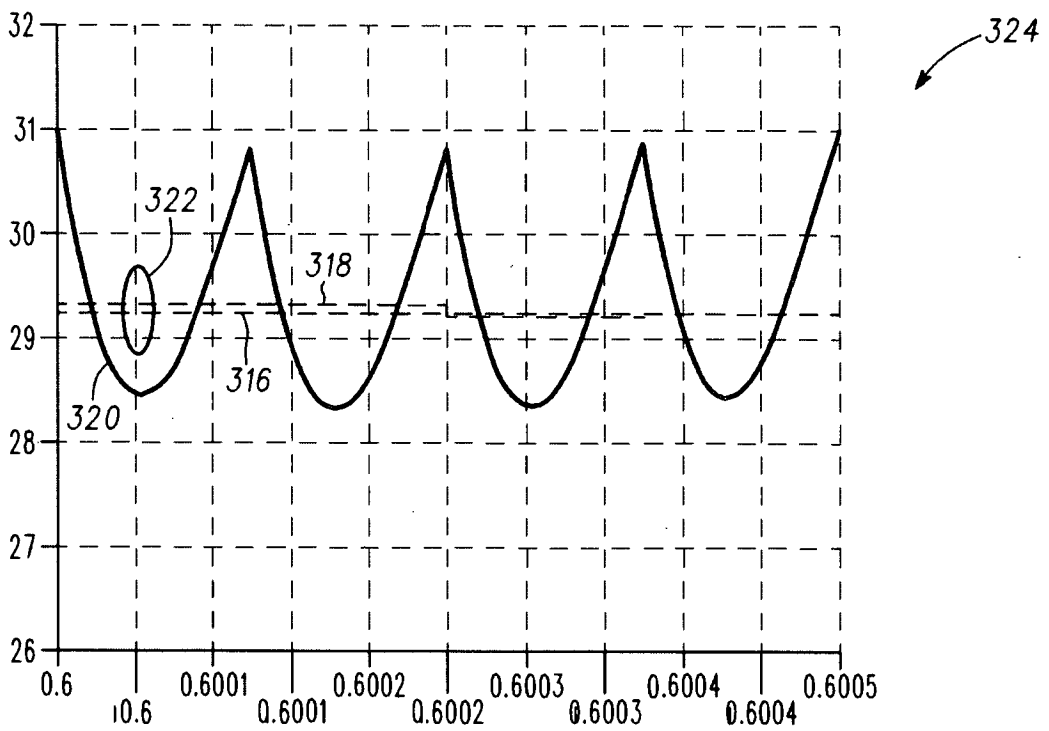


Fig. 7B