

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Diese Erfindung betrifft allgemein Positionssensoren und insbesondere Positionssensoren, die für Luft- und Raumfahrtanwendungen geeignet sind.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Bei Luft- und Raumfahrtanwendungen ist es im Allgemeinen wünschenswert, das Gewicht aller Komponenten an einem Luftfahrzeug zu minimieren. Ein geringeres Gewicht hat einen verminderten Treibstoffverbrauch und niedrigere Betriebskosten zur Folge. Zwei gewöhnlich verwendete Positionssensoren für Luft- und Raumfahrtanwendungen sind der lineare variable Differentialtransformator (Linear Variable Differential Transformer, LVDT) und der variable Drehdifferentialtransformator (Rotary Variable Differential Transformer, RVDT). Diese Typen von Sensoren werden bei Luft- und Raumfahrtanwendungen insbesondere aufgrund ihrer Fähigkeit verwendet, unter rauen Umweltbedingungen mit hoher Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu arbeiten. Jedoch können herkömmliche LVDT- und RVDT-Sensoren vier bis sechs Kopplungsdrähte pro Sensor aufweisen. Diese Sensoren verwenden typischerweise fünf Kabel an der elektrischen Schnittstelle zur Erregung der Primärspule und Ausgänge von den Sekundärspulen auf. Wenn zum Zwecke der Gewährleistung von Redundanz eine große Anzahl dieser Sensoren verwendet wird, bewirken die Anzahl und Länge der Kabel, welche die Signale der Elektronik zuführen, tendenziell eine Komplizierung der Systemverkabelung und eine Erhöhung des Gesamtgewichts. Sie erhöhen außerdem die Wahrscheinlichkeit eines Bruchs in einem der Kabel an den Abschlüssen innerhalb des Wandlers.

[0003] Ferner muss der Benutzer, wenn er diese Sensoren einsetzt, die besten Mittel zur Korrektur von auf Temperaturschwankungen zurückzuführenden Schwankungen in den Ausgangsdaten in Betracht ziehen. Der Wandlerausgang bei einer festen Position des sich bewegenden Elements ändert sich, wenn sich die Betriebstemperatur gegenüber einer Standardraumtemperatur erhöht oder verringert. Dies liegt daran, dass der spezifische Widerstand des Kupfers, aus dem die Spulendrähte hergestellt sind, eine Funktion der Temperatur ist, und dies wirkt sich auf die Ausgangsspannung des Wandlers aus. Überdies ist die Änderung des Wandlerausgangs in Abhängigkeit von der Temperatur auch von der Position des sich bewegenden Elements abhängig. Somit ist der Wandlerausgang eine nichtlineare zweidimensionale Funktion von Position und Temperatur.

[0004] Der Benutzer muss außerdem die besten Mittel zur Korrektur von Schwankungen in den Aus-

gangsdaten, die auf die Nichtlinearität des Wandlerausgangs in Bezug auf die Position des sich bewegenden Elements zurückzuführen sind, in Betracht ziehen.

[0005] Ausführungsformen der Erfindung repräsentieren einen Fortschritt gegenüber dem Stand der Technik im Hinblick auf Positionssensoren, die für Luft- und Raumfahrtanwendungen verwendet werden. Diese werden nachfolgend kurz beschrieben.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Gemäß einem Aspekt stellen Ausführungsformen der Erfindung ein Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem bereit, welches einen Wandler enthält, der einen Stator mit einer Induktionsspule aufweist, die eine Mittelanzapfung aufweist, die dafür ausgebildet ist, ein Ausgangssignal zu liefern. Der Wandler weist außerdem einen Anker mit einem magnetisch permeablen Kern auf, der dafür ausgebildet ist, sich innerhalb der Induktionsspule zu bewegen, so dass die Bewegung des magnetisch permeablen Kerns eine Änderung des Ausgangssignals verursacht. Das Positionserfassungssystem enthält eine erste Schaltung, die dafür ausgebildet ist, ein Erregungssignal an einer Anschlussklemme der Induktionsspule bereitzustellen. Das Positionserfassungssystem enthält ferner einen Mikrocontroller, der dafür ausgebildet ist, den Grad der Änderung der Position des magnetisch permeablen Kerns auf der Basis eines Vergleichs einer Spannung des Ausgangssignals und einer Spannung des Erregungssignals zu berechnen. Ferner ist der Mikroprozessor dafür ausgebildet, Schwankungen der Spannung des Ausgangssignals aufgrund der Temperatur des Wandlers und aufgrund nichtlinearer Einflüsse auf das Ausgangssignal, die durch eine Bewegung des magnetisch permeablen Kerns verursacht werden, zu korrigieren. Ferner werden nicht mehr als drei elektrische Kabel verwendet, um das Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem zu betreiben.

[0007] Bei einer speziellen Ausführungsform des Positionserfassungssystems enthalten die nicht mehr als drei elektrischen Kabel ein erstes Kabel, um das Erregungssignal der Induktionsspule zuzuführen, einen zweiten Erdleiter, der mit der Induktionsspule verbunden ist, und ein drittes Kabel, um ein Wandlerausgangssignal zu transportieren.

[0008] Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst der Wandler einen Stator mit einer ersten und einer zweiten Induktionsspule, die auf einen Spulenkern gewickelt sind, wobei die erste und die zweite Spule mit einer Mittelanzapfung in Reihe geschaltet sind, die zwischen die erste und die zweite Spule geschaltet ist, wobei der Stator in einem Schutzgehäuse mit einer Bohrung untergebracht ist, die dafür aus-

gebildet ist, den magnetisch permeablen Kern aufzunehmen. Bei speziellen Ausführungsformen umfasst der Anker einen magnetisch permeablen Kern, der an einer nichtmetallischen Welle befestigt ist, wobei eine Bewegung der nichtmetallischen Welle auf den magnetisch permeablen Kern übertragen wird. Bei gewissen Ausführungsformen ist die Bewegung des magnetisch permeablen Kerns innerhalb der Bohrung des Stators linear, während bei anderen Ausführungsformen die Bewegung des magnetisch permeablen Kerns innerhalb der Bohrung des Stators eine Drehbewegung ist.

[0009] Bei einer speziellen Ausführungsform enthält das Positionserfassungssystem ferner Signalaufbereitungsschaltungen, um ein Wandlerausgangssignal in eine für eine Analog-Digital-Umsetzung geeignete Form zu bringen. Bei einer speziellen Ausführungsform enthalten die Signalaufbereitungsschaltungen, um das Wandlerausgangssignal in eine für eine Analog-Digital-Umsetzung geeignete Form zu bringen, Schaltungen, die dafür ausgebildet sind, das Wandlerausgangssignal gleichzurichten und zu glätten. Bei einer weiteren Ausführungsform ist der Mikrocontroller dafür programmiert, das Wandlerausgangssignal gleichzurichten und zu glätten. Bei einer spezielleren Ausführungsform enthalten die Signalaufbereitungsschaltungen AC-Signalaufbereitungsschaltungen und DC-Signalaufbereitungsschaltungen. Bei einer weiteren Ausführungsform enthält das Positionserfassungssystem ferner einen oder mehrere Analog-Digital-Umsetzer, die mit den Signalaufbereitungsschaltungen gekoppelt sind.

[0010] Bei einer speziellen Ausführungsform ist der Mikrocontroller dafür programmiert, Schwankungen der Spannung des Ausgangssignals aufgrund der Temperatur des Wandlers unter Verwendung einer Temperaturkorrekturtabelle, um einen Temperaturkorrekturfaktor zu berechnen, zu korrigieren. Bei einer weiteren Ausführungsform ist der Mikrocontroller dafür programmiert, Schwankungen der Spannung des Ausgangssignals aufgrund nichtlinearer Einflüsse auf das Ausgangssignal, die durch eine Bewegung des magnetisch permeablen Kerns verursacht werden, unter Verwendung einer Kalibriertabelle, um einen Linearitätskompensationsfaktor zu berechnen, zu korrigieren.

[0011] Bei einer speziellen Ausführungsform enthält das Positionserfassungssystem ferner einen DC-Referenzsignalgenerator, der zwischen den Wandler und den Mikrocontroller geschaltet ist, wobei eine Ausgabe des DC-Referenzsignalgenerators in dem Erregungssignal enthalten ist. Bei einer spezielleren Ausführungsform ist der Mikrocontroller dafür programmiert, Kurzschlüsse und Leiterbrüche in der Induktionsspule durch Vergleichen der Ist-DC-Vorspannung in dem Wandlerausgangssignal mit der erwarteten DC-Vorspannung zu detektieren. Bei einer

weiteren Ausführungsform enthält das Positionserfassungssystem einen AC-Referenzsignalgenerator, der zwischen den Wandler und den Mikrocontroller geschaltet ist, wobei eine Ausgabe des AC-Referenzsignalgenerators in dem Erregungssignal enthalten ist.

[0012] Bei einer speziellen Ausführungsform ist der Mikrocontroller dafür ausgebildet, ein digitales Ausgangssignal zu liefern, das Positionsdaten für ein Element liefert, das mit dem magnetisch permeablen Kern physisch verbunden ist. Bei einer spezielleren Ausführungsform werden Daten des digitalen Ausgangssignals unter Verwendung eines der Kommunikationsstandards RS-232, ARINC 429, MIL-STD 1553 und CAN-Bus seriell übertragen. Bei einer weiteren Ausführungsform enthält das Positionserfassungssystem einen Leitungstreiber, der dafür ausgebildet ist, das digitale Ausgangssignal einem Bordcomputer oder Host-PC zuzuführen.

[0013] Gemäß einem anderen Aspekt stellen Ausführungsformen der Erfindung ein Verfahren zur Positionserfassung unter Verwendung eines Differentialtransformator-Positionserfassungssystems bereit. Das Verfahren beinhaltet das Bereitstellen eines Wandlers, der eine Induktionsspule aufweist, welche ein Wandlerausgangssignal liefert, und das Befestigen eines Teils, dessen Position erfasst werden soll, an einem magnetisch permeablen Kern, der innerhalb der Induktionsspule angeordnet ist. Bei einer Ausführungsform der Erfindung beinhaltet das Verfahren außerdem das Erzeugen einer Erregungsspannung, die an die Induktionsspule anzulegen ist, und das Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals, die aus einer Bewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren. Ferner beinhalten Ausführungsformen der Erfindung das Korrigieren von Einflüssen von Temperatur und Nichtlinearität beim Bestimmen eines Grades der Bewegung des magnetisch permeablen Kerns und das Vorsehen von nicht mehr als drei Kabeln als eine elektrische Schnittstelle für das Differentialtransformator-Positionserfassungssystem.

[0014] Bei einer speziellen Ausführungsform beinhaltet das Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals, die aus einer Bewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren, das Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals, die aus einer linearen Bewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren. Bei einer anderen Ausführungsform beinhaltet das Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals, die aus einer Bewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren, das Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals, die aus einer Drehbewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren.

[0015] Bei einer speziellen Ausführungsform beinhaltet das Verfahren außerdem das Aufbereiten des Wandlerausgangssignals, um das Signal in eine für eine Analog-Digital-Umsetzung geeignete Form zu bringen, das Umsetzen des Wandlerausgangssignals aus einer analogen in eine digitale Form und das Eingeben der digitalen Form des Wandlerausgangssignals in Signalverarbeitungsalgorithmen in einem Mikrocontroller. Bei einer spezielleren Ausführungsform beinhaltet das Aufbereiten des Wandlerausgangssignals das Bereitstellen von Schaltungen für AC-Signalaufbereitung und für DC-Signalaufbereitung. Bei einer sogar noch spezielleren Ausführungsform beinhaltet das Bereitstellen von Schaltungen für AC-Signalaufbereitung und für DC-Signalaufbereitung Schaltungen für AC- und DC-Signalaufbereitung, welche zwischen den Wandler und einen Mikrocontroller geschaltet sind.

[0016] Bei einer gewissen Ausführungsform beinhaltet das Verfahren außerdem das Detektieren von Kurzschlüssen oder Leiterbrüchen in der Induktionsspule durch Vergleichen einer gemessenen DC-Vorspannung in dem Wandlerausgangssignal mit einer erwarteten DC-Vorspannung für das Wandlerausgangssignal. Bei einer spezielleren Ausführungsform beinhaltet das Korrigieren von Temperatureinflüssen das Programmieren eines Mikrocontrollers für das Berechnen eines Temperaturkorrekturfaktors unter Verwendung einer Temperaturkorrekturtabelle. Bei einer anderen Ausführungsform beinhaltet das Korrigieren von Einflüssen von Nichtlinearität das Programmieren eines Mikrocontrollers für das Berechnen eines Linearitätskompensationsfaktors unter Verwendung einer Kalibriertabelle.

[0017] Weitere Aspekte, Aufgaben und Vorteile der Erfindung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen noch deutlicher ersichtlich.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0018] Die beigefügten Zeichnungen, die in die Patentbeschreibung einbezogen sind und einen Bestandteil derselben darstellen, veranschaulichen verschiedene Aspekte der vorliegenden Erfindung und dienen zusammen mit der Beschreibung dazu, die Prinzipien der Erfindung zu erläutern. In den Zeichnungen zeigen:

[0019] [Fig. 1](#) ein schematisches Systemblockschaltbild eines Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystems gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0020] [Fig. 2](#) ein Prinzipschaltbild eines Wandlers für einen variablen Drehdifferentialtransformator gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0021] [Fig. 3](#) eine Schnittansicht des Wandlers, der in das Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem von [Fig. 1](#) integriert ist;

[0022] [Fig. 4](#) ein Prinzipschaltbild einer Referenzsignalgeneratorschaltung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0023] [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) Prinzipschaltbilder von AC-Eingangsspannungs-Aufbereitungsschaltungen gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0024] [Fig. 6](#) ein Prinzipschaltbild einer DC-Spulenstrom-Aufbereitungsschaltung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0025] [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) Prinzipschaltbilder von DC-Eingangsspannungs-Aufbereitungsschaltungen gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0026] Obwohl die Erfindung in Verbindung mit gewissen bevorzugten Ausführungsformen beschrieben wird, ist nicht beabsichtigt, sie auf diese Ausführungsformen zu beschränken. Vielmehr ist beabsichtigt, alle Alternativen, Modifikationen und Äquivalente abzudecken, die in der Grundidee und im Schutzbereich der Erfindung, wie er durch die beigefügten Ansprüche definiert wird, enthalten sind.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0027] Bei herkömmlichen neuen Positionswandlern, bei denen versucht wird, die Anzahl der an den Wandler angeschlossenen Kabel zu verringern, geschieht dies möglicherweise auf Kosten der Zuverlässigkeit oder wenigstens der Genauigkeit und der selbstkompensierenden Merkmale eines herkömmlichen linearen variablen Differentialtransformators (Linear Variable Differential Transformer, LVDT) und eines herkömmlichen variablen Drehdifferentialtransformators (Rotary Variable Differential Transformer, RVDT). Dies kann erfordern, dass diese Merkmale durch den Endbenutzer dieser Sensoren durch zusätzliche maßgeschneiderte Elektronik und zusätzliche Anwendungssoftware gewährleistet werden. Dies führt tendenziell zu einer erhöhten Teilezahl und größeren Komplexität des Gesamtsystems und daher zu einer verminderten Zuverlässigkeit. Es führt außerdem tendenziell zu einer Verlagerung der Aufgabe der Korrektur dieser Wandlerfehler zum Endbenutzer hin.

[0028] [Fig. 1](#) zeigt ein schematisches Systemblockschaltbild für ein Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem **100**, auch als Halbbrücken-LVDT bezeichnet, zum Messen linearer Verschiebungen gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Ein Wandler **102** ist links dargestellt und ist einfach eine konzeptionelle Darstellung der Vorrich-

tion von [Fig. 1](#). Das Signalaufbereitungs-Teilsystem **104** rechts davon stellt die analoge Elektronik dar, die erforderlich ist um das Erregungssignal für die Spule **114** (in [Fig. 1](#) dargestellt) zu erzeugen und außerdem das Ausgangssignal von dem Wandler **102** zu verarbeiten. Die Signalverarbeitungselektronik in dem Mikrocontroller **106** ist unter Verwendung von digitaler Elektronik realisiert. Im Falle von digitalen Schaltungen, wie sie in [Fig. 1](#) dargestellt sind, können einige der Funktionsblöcke in diesem Teilsystem unter Verwendung von Software realisiert sein. Das Signalaufbereitungs-Teilsystem **104** ist mit einem Mikrocontroller **106** gekoppelt, welcher die Signale von dem Signalaufbereitungs-Teilsystem **104** verarbeitet und einen Systemausgang erzeugt. Bei einer speziellen Ausführungsform der Erfindung kann der Mikrocontroller **106** ein digitaler Signalprozessor (DSP) sein. Dasselbe Systemblockschaltbild kann das System für ein Halbbrücken-Positionserfassungssystem mit variabler Induktivität **100** zum Messen rotatorischer Verschiebungen, auch als variabler Halbbrücken-Drehdifferentialtransformator (Rotary Variable Differential Transformer, RVDT) bezeichnet, darstellen.

[0029] [Fig. 2](#) ist ein Prinzipschaltbild eines Wandlers **180** für einen RVDT gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Der Wandler **180** weist eine gekrümmte Spule **182** und einen gekrümmten, magnetisch permeablen Kern **184**, der innerhalb der Spule **182** angeordnet ist, auf. Der Kern **184** ist an einer gekrümmten, nichtmagnetischen Stange **186** befestigt, welche wiederum an der Vorrichtung befestigt ist, deren Rotation gemessen wird. Der Wandler **180** weist eine Mittelanzapfung **188**, einen Erdleiter **190** und ein drittes Kabel **192** zum Zuführen eines Erregungssignals auf. Das Signalaufbereitungs-Teilsystem für einen RVDT ist funktionsmäßig dasselbe wie dasjenige, das in [Fig. 1](#) für den Halbbrücken-LVDT **100** dargestellt ist, obwohl möglicherweise einige geringfügige Änderungen erforderlich sind, um den etwas anderen elektrischen Eigenschaften eines RVDT-Wandlers Rechnung zu tragen.

[0030] [Fig. 3](#) zeigt eine Draufsicht des Wandlers **102**, welcher einen Stator **110** und einen Anker **112** aufweist. Bei einer speziellen Ausführungsform der Erfindung besteht der Stator **110** aus einem Paar Spulen **114**, die auf einen Spulenkern **116** gewickelt sind und mit einer Mittelanzapfung **118** (in [Fig. 1](#) dargestellt) in Reihe geschaltet sind, die zu der Schnittstelle herausgeführt ist. Der Stator **110** ist in einem Schutzgehäuse untergebracht und weist eine zylindrische Bohrung **120** auf. Der Anker **112** besteht aus einem magnetisch permeablen Kern **122**, der an einer starren, nichtmagnetischen metallischen Stange oder Welle **124** befestigt ist, welche es ermöglicht, den Kern **122** in die Bohrung **120** hinein und aus ihr hinaus zu bewegen. Bei gewissen Ausführungsformen kann die nichtmagnetische Stange **124** nichtme-

tallisch ausgeführt sein. Die durch den Halbbrücken-LVDT **100** durchgeführte Messung basiert auf dem Prinzip wechselseitiger magnetischer Induktion zwischen dem Paar Spulen **114**, welche durch den beweglichen, magnetisch permeablen Anker **112** unterstützt wird.

[0031] Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung ist der Wandler **102** ein Induktor vom Typ einer Induktionsspule, dessen Induktivität in Bezug auf die Position des Ankers **112**, welcher sich entlang der Spulenachse bewegt, variiert. Bei einem linearen Wandler **102** besteht der Anker **112** aus dem Kern **122**, der aus magnetisch permeablem Material hergestellt ist und an der nichtmagnetischen Stange **124** befestigt ist. Die Stange **124** ist ihrerseits, zum Beispiel mittels eines mit einem Gewinde versehenen Befestigungselements, an der Vorrichtung (nicht dargestellt) befestigt, deren lineare Position gemessen werden soll. Bei einem Drehgeber ist der Kern zylindrisch mit sich diskret ändernden Durchmessern um seinen Umfang herum und an einer Welle angebracht, welche an der Vorrichtung befestigt ist, deren Drehposition gemessen werden soll.

[0032] Bei einer speziellen Ausführungsform besteht der Stator **110** aus einer einzigen Spule **114**, die auf einen Spulenkern oder eine Spulenhülse **116** in einer Sektion oder zwei Sektionen in Reihe in einer Spannungsteiler-Konfiguration gewickelt ist, und mit Abschüssen **126** an den Spulenden und einer Mittelanzapfung **118** (in [Fig. 1](#)). Bei gewissen Ausführungsformen ist die gewickelte Spule mit einer Isolationschicht **128** und einem Rückführungsschirm **130** bedeckt. Der Stator **110** ist dann in eine Gehäuse **132** aus Edelstahl oder Aluminiumlegierung eingeschlossen. Ein Ende der Spule ist elektrisch geerdet, und eine AC-Erregungsspannung wird am anderen Ende über der Spule **114** angelegt. Das Verhältnis der Spannung an der Mittelanzapfung **118** zu Erde zu der Erregungsspannung über der Spule **114** ist zu der Verschiebung des Kerns **122** proportional. Die Herstellung der Spule **114**, des Gehäuses **132** und des Ankers **112** erfolgt nach einem ähnlichen Entwurf und Prozess, wie bei einem standardmäßigen LVDT oder RVDT. Somit bietet die vorliegende Erfindung dieselben Vorteile wie ein herkömmlicher LVDT oder RVDT, was mechanische Robustheit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltbedingungen anbelangt.

[0033] Es wird erneut auf [Fig. 1](#) Bezug genommen; es ist ersichtlich, dass die Elektronikschnittstelle mit dem Wandler **102** drei Kabel aufweist. Ein erstes Kabel **140** ist elektrisch geerdet, ein zweites Kabel **142** liefert das AC-Erregungssignal, und ein drittes Kabel **144** empfängt die Ausgangsspannung von der Mittelanzapfung **118** des Wandlers **102**. Die Ausgangsspannung von der Mittelanzapfung **118** wird einer Tiefpassfilterung unterzogen, und

der Offset wird entfernt, bevor sie in den Gleichrichter eingespeist wird. Das Erregungssignal wird ebenfalls in ähnlicher Weise gleichgerichtet. Das Verhältnis der Ausgangsspannung zur Erregungsspannung wird berechnet, und dieses ist proportional zu der Verschiebung des Wandlers. Wie unten erläutert wird, kann auch zusätzliche Funktionalität, wie Linearitätskorrektur und Temperaturkompensation, ausgeführt werden, in Abhängigkeit von den Eigenschaften des betreffenden Wandlers. Wicklungsbruch-Fehler werden bestimmt, indem die Ausgangsspannung mit dem minimalen und dem maximalen Schwellenwert verglichen wird. Um Windungsschluss-Fehler zu detektieren, wird dem Erregungssignal eine DC-Vorspannung überlagert. Die Schaltungen für den eingebauten Test (Built-in-Test-Schaltungen, BIT-Schaltungen) messen die Gleichspannung an der Mittelanzapfung, und es wird ein Fehler gemeldet, wenn sie kleiner oder größer als die Hälfte der angelegten Vorspannung ist.

[0034] [Fig. 4](#) ist ein Prinzipschaltbild einer Referenzsignalgeneratorschaltung **200** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Bei einer speziellen Ausführungsform, bei der das erzeugte Referenzsignal ein AC-Signal ist, wird ein Pulsweitenmodulations-signal (Pulse-Width Modulation signal, PWM-Signal) **202** von einem digitalen Signalprozessor (DSP) **160** (siehe [Fig. 1](#)) zunächst unter Verwendung eines aus R3 und C1 bestehenden passiven Filters **204** mit einer Grenzfrequenz von 19,4 kHz gefiltert. Das PWM-Signal **202** wird dann unter Verwendung eines Paares von Dioden (D1 und D2) beschnitten, und es wird eine Referenzspannung von 3,3 V von dem DSP **160** gewonnen. Bei der dargestellten Ausführungsform gewährleistet der Widerstand R3 eine hohe Eingangsimpedanz, zum Beispiel von 100 Kiloohm. Zum Beispiel kann eine Referenzsinuswelle von 2,5 kHz wiederhergestellt werden, indem das PWM-Signal **202** unter Verwendung eines Sallen-Key-Tiefpassfilters geglättet wird. Bei gewissen Ausführungsformen weist das Tiefpassfilter eine Übertragungsfunktion zweiter Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 10,6 kHz auf. Typischerweise weist die Wandler-spule **114** (siehe [Fig. 1](#)) eine Nenn-Wechselspannungsimpedanz von 1,7 Kiloohm bei der Oszillatorfrequenz von 2,5 kHz auf. Ein Leistungsverstärker kann den erforderlichen Strom liefern. Das Ausgangssignal **206** ist unter Verwendung von zwei Elektrolytkondensatoren AC-gekoppelt, um einen eventuellen DC-Offset zu blockieren, welcher einen Weg niedriger Impedanz zu Erde über die Wandler-spule **114** haben würde. Die beiden Kondensatoren sind in dem Prinzipschaltbild von [Fig. 4](#) als C6 und C31 dargestellt.

[0035] Die Referenzsignalgeneratorschaltung **200** von [Fig. 4](#) kann auch als ein DC-Referenzsignalgenerator verwendet werden. Das DC-Referenzsignal wird aus zwei Gründen erzeugt: 1) Detektion von elektrischen Kurzschlüssen und Leiterbrüchen, und

2) Berechnung des DC-Widerstands der Spule, welcher wiederum verwendet wird, um die Spulentemperatur zu schätzen. Das DC-Referenzsignal wird von der +12 V_{DC} Referenz unter Verwendung eines Widerstandsteilers **208** abgeleitet. Ein Widerstand R21, zum Beispiel von 500 Ohm, ist mit dem Widerstandsteiler **208** (R46 und R57) in Reihe geschaltet, um der DC-Quelle eine ausreichend hohe Eingangsimpedanz zur Verfügung zu stellen. Es ist anzumerken, dass R46 und R57 zusammen ein Potentiometer sind, obwohl das Prinzipschaltbild sie als zwei separate Potentiometer zeigt. [Fig. 4](#) zeigt außerdem ein aus R22 und C13 bestehendes Tiefpassfilter **210**, welches die AC-Komponente aus dem Erregungssignal herausfiltert und ein Signal V_excDC **212** liefert.

[0036] [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) zeigen ein Paar von Signalaufbereitungsschaltungen **300**, **350**, die gemäß einer Ausführungsform der Erfindung aufgebaut sind. Die beiden Signale, die in diesen Schaltungen aufbereitet werden, sind das Signal von der Mittelanzapfung **118** des Wandlers (siehe [Fig. 1](#)), nämlich V_ctAC **302**, und das Erregungssignal V_excAC **352**. Wir werden die Signalaufbereitungsschaltung **300** für das Signal V_ctAC beschreiben, die in [Fig. 5A](#) dargestellt ist. V_ctAC **302** ist mit einem Differenzverstärker **304** verbunden. Bei einer speziellen Ausführungsform wird ein Gegentaktsignal unter Verwendung eines passiven Filters **306** (R30, R33 und C19) mit einer Grenzfrequenz von 36,1 kHz gefiltert, und das Gleichtaktsignal wird unter Verwendung eines passiven Filters **308** (R30 und C17, und R33 und C18) mit einer Grenzfrequenz von 330 kHz gefiltert. Bei dieser Ausführungsform wird ein aus R24 und C15 bestehendes Tiefpassfilter **310** verwendet, um die AC-Komponente aus V_ctAC herauszufiltern und eine DC-Vorspannung V_ctDC **312** zu erhalten. Ein aus C14 und R23 bestehendes Hochpassfilter **314** wird verwendet, um die DC-Vorspannung in V_ctAC herauszufiltern, und dies ist das Signal, welches letztendlich gleichgerichtet wird.

[0037] Ein aus R38 und R39 bestehender Widerstandsteiler **316** wird verwendet, um das Signal so zu skalieren, dass der Peak-zu-Peak-Wert nicht größer als 3 V ist, wie durch den Analog-Digital-Umsetzer (ADC) **150** gefordert (siehe [Fig. 1](#)). Der Operationsverstärker U9B **318** dient als ein Puffer, um den skalierten Wert unter verschiedenen Lasten aufrechtzuerhalten. Bevor sie in den ADC **150** eingelesen werden, müssen die Signale V_ctAC **302** und V_excAC **352** einer Tiefpassfilterung unterzogen werden, um Frequenzkomponenten zu entfernen, bei denen durch Sampling (Abtasten) ein Aliasing verursacht werden könnte. Bei gewissen Ausführungsformen beträgt die Abtastrate 80 kHz, was zur Folge hat, dass Frequenzen von 40 kHz und höher entfernt werden müssen. Bei einer speziellen Ausführungsform ist ein Antialiasing-Filter **320** ein Sallen-Key-Filter und ist von zweiter Ordnung, mit einer Grenzfrequenz von

12,835 kHz. Schließlich kann ein Pegelumsetzer **322** verwendet werden, um den Ausgang des Sallen-Key-Filters **320** in den Bereich 0–3 V zu halten, der durch den ADC **150** gefordert wird. Dies geschieht unter Verwendung eines Operationsverstärkers U9C **324** und eines Potentiometers R40. Das Ausgangssignal ADCINA0 **326** wird durch den ADC **150** in den Kanal ADCINA0 **330** eingelesen (siehe [Fig. 1](#)). Das Erregungssignal V_excAC **352** wird ebenso verarbeitet, und das Ausgangssignal ADCINBO **355** wird durch den ADC **150** in den Kanal ADCINBO **360** eingelesen (siehe [Fig. 1](#)).

[0038] [Fig. 6](#) zeigt ein Prinzipschaltbild einer DC-Spulenstrom-Aufbereitungsschaltung **400**, die gemäß einer Ausführungsform der Erfindung aufgebaut ist. Das Erregungssignal **402**, I_exc, welches das in dieser Schaltung aufbereitete Signal ist, wird durch den Widerstand R80 (bei einer Ausführungsform ein Widerstand von 10 Ohm) geleitet, welcher den Eingängen eines Differenzverstärkers **404** parallelgeschaltet ist. Da der Zweck darin besteht, die DC-Komponente des Erregungsstroms zu messen, können das Gegentakt- und das Gleichtaktsignal unter Verwendung passiver Filter mit Grenzfrequenzen von beispielsweise 0,8 Hz bzw. 1,6 Hz gefiltert werden. Ein Widerstand R82 mit einem Wert von beispielsweise 500 Ohm ist den Eingängen 1 und 8 des Differenzverstärkers **404** parallelgeschaltet, um einen Verstärkungsfaktor von 101 zu erzielen. Ein Widerstandsteiler **406**, der Widerstände R85 und R86 enthält, wird verwendet, um das Ausgangssignal des Differenzverstärkers **404** zu skalieren, so dass der Peak-zu-Peak-Wert nicht größer als 3 V ist, wie durch den ADC **150** gefordert (siehe [Fig. 1](#)). Der Operationsverstärker U17B **408** dient als ein Puffer, um den skalierten Wert unter verschiedenen Lasten aufrechtzuerhalten.

[0039] Bevor es in den ADC **150** eingelesen wird, wird das Signal I_exc **402** einer Tiefpassfilterung unterzogen, um Frequenzkomponenten zu entfernen, bei denen durch Sampling ein Aliasing verursacht werden könnte. Bei einer speziellen Ausführungsform beträgt die Abtastrate 80 kHz, was zur Folge hat, dass Frequenzen von 40 kHz und höher entfernt werden müssen. Bei einer spezielleren Ausführungsform ist ein Antialiasing-Filter **410** ein Sallen-Key-Filter und ist ein Filter zweiter Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 12,835 kHz. Schließlich ist ein Pegelumsetzer **412** erforderlich, um den Ausgang des Sallen-Key-Filters **410** in dem Bereich 0–3 V zu halten, der durch den ADC **150** gefordert wird. Dies geschieht unter Verwendung eines Operationsverstärkers U17C **414** und eines Potentiometers R84. Das Ausgangssignal ADCINA1 **416** wird durch den ADC **150** in den Kanal ADCINA1 **420** eingelesen (siehe [Fig. 1](#)).

[0040] Die [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) zeigen Prinzipschaltbilder von zwei DC-Eingangsspannungs-Aufbereitungsschaltungen **500**, **520**, die gemäß einer Ausführungs-

form der Erfindung aufgebaut sind. Diese DC-Eingangsspannungs-Aufbereitungsschaltungen **500**, **520** sind dazu bestimmt, die Signale V_ctDC **522** und V_excDC **502** zu skalieren, so dass sie innerhalb des Eingangsbereiches von 0–3 V für eine maximale Nutzung der Auflösungsfähigkeit des ADC **150** liegen (siehe [Fig. 1](#)). Ein Verstärkungsfaktor von ungefähr vier wird durch die Widerstände R53 und R54 für V_excDC **502** und die Widerstände R55 und R66 für V_ctDC **522** eingestellt. Die Ausgänge ADCINA2 **504** und ADCINB2 **524** der Skalierungsstufe werden durch den ADC **150** in Kanäle ADCINA2 **510** (siehe [Fig. 1](#)) bzw. ADCINB2 **530** (siehe [Fig. 1](#)) eingelesen.

[0041] Es wird erneut auf [Fig. 1](#) Bezug genommen; wie ersichtlich, wird eine Leitungstreiberschaltung **162** für eine serielle Kommunikation zwischen dem digitalen Signalprozessor **160** und einem Host-PC (nicht dargestellt) verwendet. Wie in [Fig. 1](#) dargestellt, ist die Leitungstreiberschaltung **162** an einen seriellen Kommunikationsschnittstellen-(Serial Communications Interface, SCI-)Anschluss **168** des digitalen Signalprozessors **160** angeschlossen. Bei gewissen Ausführungsformen ist der Ausgang **163** der Leitungstreiberschaltung **162** an einen seriellen Anschluss des Host-PC angeschlossen.

[0042] Es wird erneut auf [Fig. 1](#) Bezug genommen; im Betrieb kann der Halbbrücken-LVDT **100** ein Referenzsignal von 2,5 kHz verwenden, welches unter Verwendung einer Nachschlagtabelle erzeugt werden kann, die acht Punkte pro Quadrant der Sinusfunktion enthält und somit eine erforderliche PWM-Aktualisierungsrate von 80 kHz liefert. Der Prozess, durch den von dem Wandler **102** erzeugte Signale gemäß Ausführungsformen der Erfindung anschließend von dem Mikrocontroller **106** verarbeitet werden, ist nachfolgend beschrieben.

[0043] Ein erster Allzweck-Timer kann dafür programmiert sein, die PWM-Zeitbasis mit einer Frequenz von beispielsweise 513 kHz zu erzeugen, und das Tastverhältnis (duty cycle) kann durch ein Unterbrechungs-Serviceprogramm (Interrupt Service Routine, ISR) moduliert werden, das in dem Mikrocontroller **106** erzeugt wird, und von einem zweiten Allzweck-Timer ausgelöst werden, der zum Beispiel mit 80 kHz läuft. Dies ergibt eine hohe Abtastrate relativ zu der Referenzsignalfrequenz, daher könnte die Grenzfrequenz für das Antialiasing-Filter recht hoch eingestellt werden.

[0044] Eine ISR-Aktualisierungsrate von 80 kHz bedeutet, dass das ISR in 12,5 Mikrosekunden ausgeführt werden muss. Bei einer CPU-Taktfrequenz von 150 MHz ist die äquivalent zu 1.875 Ein-Zyklus-Befehlen. Bei einer speziellen Ausführungsform wird das Signalaufbereitungs-ISR durch ein Periodenergebnis von dem zweiten Allzweck-Timer ausgelöst. Dieses Periodenergebnis wird auch verwendet, um

eine Sequenz von ADC-Umsetzungen zu beginnen. Somit kann eine A/D-Umsetzung rein durch ein Hardware-Timer-Ereignis initiiert werden, was sicherstellt, dass der Abtastprozess nicht durch Interrupt-Jitter oder Softwarelatenz beeinflusst wird. Die ADC-Umsetzungszeit beträgt etwa 200 Nanosekunden, so dass der ADC **150** recht leicht in der Lage ist, mit dem ISR Schritt zu halten. Das ISR führt ein Glättungsfilter aus, um Rauschen in dem ADC-Kanal, der dem Ausgang des Wandlers **102** entspricht, zu entfernen, das auf die Nähe des PWM-Signals zurückzuführen ist. Danach berechnet es bei speziellen Ausführungsformen die DC-Vorspannung durch Ausführung eines Gleitender-Mittelwert-Filters (Moving Average Filter) mit 128 Punkten. Die DC-Vorspannung wird anschließend aus dem Eingangssignal entfernt, um eine reine AC-Sinusform zu erhalten. Die DC-Vorspannung für die Erregungssignale des Wandlers **102** und für die Stromsignale des Wandlers **102** werden ebenfalls entfernt. Andererseits werden die ADC-Kanäle, die der DC-Vorspannung des Wandlers **102** und den DC-Ausgangssignalen des Wandlers **102** entsprechen, geglättet, um Rauschen und Welligkeit zu entfernen.

[0045] In dem Mikrocontroller **106** werden die Erregungs- und Ausgangssignale des Wandlers danach durch einfaches Umkehren des Vorzeichens ihrer negativen Halbzyklen gleichgerichtet. Die gleichgerichteten Signale werden dann geglättet und unter Verwendung eines Gleitender-Mittelwert-Filters mit 256 Punkten gefiltert. Dies liefert den Mittelwert des gleichgerichteten Signals. Das Verhältnis des Ausgangs-Mittelwerts zu dem Erregungs-Mittelwert wird berechnet und unter Verwendung eines Gleitender-Mittelwert-Filters mit 1024 Punkten erneut gefiltert. Dieses Verhältnis ist proportional zu der linearen oder rotatorischen Verschiebung des Kerns **122** in dem Wandler **102**. Das berechnete Verhältnis des Ausgangs-Mittelwerts zu dem Erregungs-Mittelwert wird dann einer Temperaturkorrektur unterzogen, und es werden eine Nachschlagtabelle und ein Interpolationsalgorithmus verwendet, um die Verschiebung des Wandlers in Inches zu berechnen. Das ISR schreibt schließlich einen neuen Wert für das Tastverhältnis für die Erzeugung des PWM-Signals unter Verwendung des ersten Allzweck-Timers. Der Wert wird aus einer Sinus-Nachschlagtabelle mit 32 Punkten erhalten, die durch einen Zähler indiziert ist, welcher die Anzahl der Eingaben in das ISR verfolgt. Dieser Zähler wird nach dem Hochzählen auf 31 auf 0 zurückgesetzt.

[0046] Bei einer speziellen Ausführungsform wird ein Softwarezähler verwendet, um einen 100-Mikrosekunden-Timer zu betreiben, welcher eine Funktion auslöst, die bewirkt, dass ein Temperatur- und Widerstandsmodul **164** in dem Mikrocontroller **106** den Widerstand der Wandlerwicklung **114** und ihre Temperatur berechnet. Dies geschieht, um Fehler in dem Ausgang des Wandlers **102** zu korrigieren, die auf

Temperaturänderungen zurückzuführen sind. Außerdem ist der Mikrocontroller **106** dafür programmiert, die DC-Erregungs- und die DC-Ausgangssignale zu filtern und einen eingebauten Test (Built-in-Test, BIT) durchzuführen, um auf Windungsschluss oder einen Leiterbruch-Fehler in der Wandlerwicklung **114** zu prüfen.

[0047] Nachdem der ADC-Wert eingelesen worden ist, kann der Eingang zum Beispiel unter Verwendung eines Gleitender-Mittelwert-Filters mit 4 Punkten geglättet werden. Dadurch wird Rauschen in dem Eingang entfernt, das auf die Nähe des Erregungssignals zurückzuführen ist. Bei speziellen Ausführungsformen verwendet das Filter einen Ringpuffer mit 4 Punkten mit einem einzigen Zeiger, der den aktuellen Index in dem Ringpuffer verfolgt. Bei jeder Eingabe in das ISR kann ein gleitender Mittelwert der 4 Punkte berechnet werden, wobei dies den geglätteten Wert des Eingangs liefert.

[0048] Das Erregungssignal und das Ausgangssignal von dem Wandler **102** werden danach gleichgerichtet. Bei speziellen Ausführungsformen wird dies durch eine einfache Logik erreicht, welche prüft, ob der Wert des Signals negativ ist, und wenn dies der Fall ist, das Vorzeichen seines Wertes umkehrt.

[0049] Das gleichgerichtete Erregungssignal und das gleichgerichtete Ausgangssignal von dem Wandler **102** werden danach unter Verwendung eines Gleitender-Mittelwert-Filters mit 8 Punkten geglättet. Dadurch wird Rauschen in den Signalen entfernt, die auf nicht korrekte Vorzeichenumkehrungen zurückzuführen sind. Das Filter verwendet einen Ringpuffer mit 8 Punkten mit einem einzigen Zeiger, der den aktuellen Index in dem Puffer verfolgt. Bei jeder Eingabe in das ISR wird ein gleitender Mittelwert der 8 Punkte berechnet. Dies ergibt den geglätteten Wert der Signale. Bei einer speziellen Ausführungsform werden, um die Welligkeit zu entfernen, das gleichgerichtete Erregungssignal und das gleichgerichtete Ausgangssignal nach der Glättungsstufe mit einem Gleitender-Mittelwert-Filters mit 256 Punkten gefiltert. Das Filter verwendet einen Ringpuffer mit 256 Punkten mit einem einzigen Zeiger, der den aktuellen Index in dem Puffer verfolgt. Bei jeder Eingabe in das ISR wird ein gleitender Mittelwert der 256 Punkte berechnet.

[0050] Danach wird ein Verhältnis des gefilterten gleichgerichteten Ausgangssignals zu dem gefilterten gleichgerichteten Erregungssignal berechnet. Bei einer speziellen Ausführungsform wird das Ergebnis mit 1024 skaliert, um den Abschneidefehler bei der Division zu minimieren. Das berechnete Verhältnis wird dann unter Verwendung eines Gleitender-Mittelwert-Filters mit 1024 Punkten gefiltert. Das Filter verwendet einen Ringpuffer mit 1024 Punkten mit einem einzigen Zeiger, der den aktuellen Index in dem Puffer

fer verfolgt. Bei jeder Eingabe in das ISR wird ein gleitender Mittelwert der 1024 Punkte berechnet.

[0051] Das Signalaufbereitungs-ISR liest außerdem den Wert der DC-Komponente des Erregungsstroms, der DC-Komponente der Erregungsspannung und der DC-Komponente des Wandlerausgangs aus dem ADC **150** (siehe [Fig. 1](#)). Bei speziellen Ausführungsformen werden diese Signale unter Verwendung eines Gleitender-Mittelwert-Filters mit 128 Punkten gefiltert. Diese Filter können dafür ausgebildet sein, einen Ringpuffer mit 128 Punkten mit einem einzigen Zeiger zu verwenden, der den aktuellen Index in dem Puffer verfolgt. Bei jeder Eingabe in das ISR wird ein gleitender Mittelwert der 128 Punkte berechnet. Diese Mittelwerte werden zum Beispiel bei der Berechnung des Widerstands durch das Temperatur- und Widerstandsmodul **164** und beim Detektieren von Fehlern durch das Fehlerdiagnosemodul **170** verwendet.

[0052] Bei gewissen Ausführungsformen werden das gleichgerichtete und gefilterte Erregungssignal und das gleichgerichtete und gefilterte Wandlerausgangssignal unter Verwendung eines Gleitender-Mittelwert-Filters mit 128 Punkten nochmals gefiltert. Dies geschieht zu dem Zweck, Jitter in dem angezeigten Wert auf dem Überwachungsbildschirm zu beseitigen, so dass ein stabiler Wert abgelesen werden kann. Es ist anzumerken, dass der so erhaltene gefilterte Ausgang nur zur Anzeige verwendet wird. Er wird nicht bei der Positionsberechnung verwendet. Bei gewissen Ausführungsformen verwendet das Filter einen Ringpuffer mit 128 Punkten mit einem einzigen Zeiger, der den aktuellen Index in dem Puffer verfolgt. Bei einer speziellen Ausführungsform der Erfindung wird bei jeder Eingabe in das ISR ein gleitender Mittelwert der 128 Punkte berechnet.

[0053] Als Nächstes wird der gefilterte Wert der DC-Komponente des Erregungsstroms, der von der Signalaufbereitungs-ISR erhalten wurde, unter Verwendung eines Gleitender-Mittelwert-Filters mit 32 Punkten nochmals gefiltert. In ähnlicher Weise werden auch die DC-Komponente der Erregungsspannung und die DC-Komponente des Ausgangs des Wandlers **102** gefiltert. Dies liefert einen stabilen Wert, welcher zum Beispiel bei der Berechnung des Widerstands durch das Temperatur- und Widerstandsmodul **164** und bei der Detektion von Fehlern durch das Fehlerdiagnosemodul **170** verwendet werden kann.

[0054] Da sich der Fehler im Wandlerausgang in Bezug auf die Temperatur auch mit der Position des Wandlers **102** ändert, wurde eine zweidimensionale Nachschlagtabelle verwendet, um den Korrekturfaktor zu bestimmen, der auf den Wandlerausgang anzuwenden ist. Diese Tabelle wurde unter Verwendung von Daten erstellt, die aus Temperaturtests ge-

wonnen wurden. Für eine spezifische Position des Wandlers **102** besteht der Eintrag in der Tabelle aus dem Fehler des Wandlerausgangs bei einer bestimmten Temperatur in Bezug auf den Wandlerausgang bei Raumtemperatur, für die ein Wert von 20 Grad C angenommen wurde

[0055] Die Einspeisung einer Gleichspannung in das Erregungssignal und die Messung des durch die Spule fließenden Stroms ermöglichen uns, verschiedene Arten elektrischer Fehler in der Spule **114** zu erkennen. Da diese Funktionalität bei gewissen Ausführungsformen softwaremäßig implementiert ist, ermöglicht sie die Implementierung einer recht anspruchsvollen Logik, welche den Fehler identifiziert und isoliert. Nach der Detektion kann der Fehler auch über die serielle Kopplung gemeldet werden, und er kann auch für eine spätere Analyse protokolliert werden. Nach Eintritt in die Fehlerdetektionsfunktion durchläuft der Code die Schritte der sequentiellen Prüfung der Spulenfehler. Die Funktion, welche die Fehlerprüfung betrifft, wird mit einer Periode von 100 Mikrosekunden im Hintergrund des Signalaufbereitungs-ISR ausgeführt. Da die Rahmenausnutzung des ISR nur etwa 50% beträgt, ist reichlich Zeit für die Durchführung der Fehlerprüfung vorhanden.

[0056] Wesentliche Variable, darunter die Position des Wandlers **102**, Spulentemperatur und Widerstand, sowie Fehlerstatus und Flags werden in serielle Datenpakete umgewandelt und zu dem SCI-Modul gesendet, um über den RS232-Kanal übertragen zu werden. Zusätzlich zu dem RS232 Kommunikationsprotokoll können auch CAN, MIL-STD-1553 oder ARINC verwendet werden.

[0057] Alle hierin zitierten Referenzen, einschließlich Veröffentlichungen, Patentanmeldungen und Patente, werden hiermit durch Bezugnahme in den vorliegenden Text in demselben Umfang aufgenommen, als wäre jede Referenz einzeln und speziell als durch Bezugnahme in den vorliegenden Text aufgenommen angeführt und in ihrer Gesamtheit hierin dargelegt.

[0058] Die Verwendung der Termini "ein" und "eine" sowie "der/die/das" und ähnlicher Bezugswörter im Kontext der Beschreibung der Erfindung (insbesondere im Kontext der nachfolgenden Patentansprüche) ist in dem Sinne auszulegen, dass sie sowohl den Singular als auch den Plural beinhalten, sofern hierin nichts anderes angegeben ist oder der Kontext dem nicht klar widerspricht. Die Termini "umfassend", "aufweisend", "beinhaltend" und "enthaltend" sind als Termini "mit unbestimmtem Ende" auszulegen (d. h. mit der Bedeutung "einschließlich, jedoch nicht beschränkt auf"), sofern nichts anderes angegeben ist. Die Angabe von Wertebereichen soll hierin lediglich als eine Kurzschreibweise zur separaten Bezugnahme auf jeden einzelnen Wert dienen, der in den Be-

reich fällt, sofern hierin nichts anderes angegeben ist, und jeder einzelne Wert ist in die Beschreibung aufgenommen, als ob er hierin einzeln aufgeführt wäre. Alle hierin beschriebenen Verfahren können auf eine beliebige geeignete Weise durchgeführt werden, sofern hierin nichts anderes angegeben ist oder der Kontext dem nicht klar widerspricht. Die Verwendung jedweder Beispiele oder einer auf Beispiele bezogenen Formulierung (z. B. "wie etwa"), die hier erfolgt, ist lediglich dazu bestimmt, die Erfindung besser zu verdeutlichen, und erlegt dem Geltungsbereich der Erfindung keine Einschränkung auf, sofern nichts anderes beansprucht wird. Keine Formulierung in der Beschreibung darf dahingehend ausgelegt werden, dass sie irgendein nicht beanspruchtes Element als wesentlich für die praktische Realisierung der Erfindung angibt.

[0059] Bevorzugte Ausführungsformen dieser Erfindung werden hierin beschrieben, darunter die beste Art und Weise, die den Erfindern für die Ausführung der Erfindung bekannt ist. Varianten dieser bevorzugten Ausführungsformen können für den Durchschnittsfachmann beim Studium der vorstehenden Beschreibung offensichtlich werden. Die Erfinder erwarten, dass Fachleute solche Varianten dementsprechend anwenden, und die Erfinder beabsichtigen, dass die Erfindung auch auf andere Weise praktisch realisiert wird, als hier speziell beschrieben ist. Dementsprechend umfasst diese Erfindung alle Modifikationen und Äquivalente des Gegenstandes, der in den beigefügten Patentansprüchen genannt ist, soweit das anwendbare Recht dies gestattet. Außerdem werden beliebige Kombinationen der oben beschriebenen Elemente in allen möglichen Varianten derselben von der Erfindung mit umfasst, sofern hier nichts anderes angegeben ist oder der Kontext dem nicht klar widerspricht.

Patentansprüche

1. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem, welches umfasst: einen Wandler, der einen Stator mit einer Induktionsspule aufweist, die eine Mittelanzapfung aufweist, die dafür ausgebildet ist, ein Ausgangssignal zu liefern, wobei der Wandler einen Anker mit einem magnetisch permeablen Kern aufweist, der dafür ausgebildet ist, sich innerhalb der Induktionsspule zu bewegen, wobei diese Bewegung eine Änderung des Ausgangssignals verursacht; eine erste Schaltung, die dafür ausgebildet ist, ein Erregungssignal an einer Anschlussklemme der Induktionsspule bereitzustellen; und einen Mikrocontroller, der dafür ausgebildet ist, den Grad der Änderung der Position des magnetisch permeablen Kerns auf der Basis eines Vergleichs einer Spannung des Ausgangssignals und einer Spannung des Erregungssignals zu berechnen, wobei der Mikroprozessor ferner dafür ausgebildet ist, Schwankungen

der Spannung des Ausgangssignals aufgrund der Temperatur des Wandlers und aufgrund nichtlinearer Einflüsse auf das Ausgangssignal, die durch eine Bewegung des magnetisch permeablen Kerns verursacht werden, zu korrigieren; wobei nicht mehr als drei elektrische Kabel verwendet werden, um das Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem zu betreiben.

2. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 1, wobei die nicht mehr als drei elektrischen Kabel ein erstes Kabel, um das Erregungssignal der Induktionsspule zuzuführen, einen zweiten Erdleiter, der mit der Induktionsspule verbunden ist, und ein drittes Kabel, um ein Wandlerausgangssignal zu transportieren, enthalten.

3. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 1, wobei der Wandler einen Stator mit einer ersten und einer zweiten Induktionsspule, die auf einen Spulenkern gewickelt sind, umfasst, wobei die erste und die zweite Spule mit einer Mittelanzapfung in Reihe geschaltet sind, die zwischen die erste und die zweite Spule geschaltet ist, wobei der Stator in einem Schutzgehäuse mit einer Bohrung untergebracht ist, die dafür ausgebildet ist, den magnetisch permeablen Kern aufzunehmen.

4. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 3, wobei der Anker einen magnetisch permeablen Kern umfasst, der an einer nichtmetallischen Welle befestigt ist, wobei eine Bewegung der nichtmetallischen Welle auf den magnetisch permeablen Kern übertragen wird.

5. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 4, wobei die Bewegung des magnetisch permeablen Kerns innerhalb der Bohrung des Stators linear ist.

6. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 4, wobei die Bewegung des magnetisch permeablen Kerns innerhalb der Bohrung des Stators eine Drehbewegung ist.

7. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 1, welches ferner Signalaufbereitungsschaltungen umfasst, um ein Wandlerausgangssignal in eine für eine Analog-Digital-Umsetzung geeignete Form zu bringen.

8. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 7, wobei die Signalaufbereitungsschaltungen, um das Wandlerausgangssignal in eine für eine Analog-Digital-Umsetzung geeignete Form zu bringen, Schaltungen enthalten, die dafür ausgebildet sind, das Wandlerausgangssignal gleichzurichten und zu glätten.

9. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 7, wobei der Mikrocontroller dafür programmiert ist, das Wandlerausgangssignal gleichzurichten und zu glätten.

10. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 7, welches ferner einen oder mehrere Analog-Digital-Umsetzer umfasst, die mit den Signalaufbereitungsschaltungen gekoppelt sind.

11. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 7, wobei die Signalaufbereitungsschaltungen AC-Signalaufbereitungsschaltungen und DC-Signalaufbereitungsschaltungen enthalten.

12. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 1, wobei der Mikrocontroller dafür programmiert ist, Schwankungen der Spannung des Ausgangssignals aufgrund der Temperatur des Wandlers unter Verwendung einer Temperaturkorrekturtabelle, um einen Temperaturkorrekturfaktor zu berechnen, zu korrigieren.

13. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 1, wobei der Mikrocontroller dafür programmiert ist, Schwankungen der Spannung des Ausgangssignals aufgrund nichtlinearer Einflüsse auf das Ausgangssignal, die durch eine Bewegung des magnetisch permeablen Kerns verursacht werden, unter Verwendung einer Kalibriertabelle, um einen Linearitätskompensationsfaktor zu berechnen, zu korrigieren.

14. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 1, welches ferner einen DC-Referenzsignalgenerator umfasst, der zwischen den Wandler und den Mikrocontroller geschaltet ist, wobei eine Ausgabe des DC-Referenzsignalgenerators in dem Erregungssignal enthalten ist.

15. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 14, wobei der Mikrocontroller dafür programmiert ist, Kurzschlüsse und Leiterbrüche in der Induktionsspule durch Vergleichen der Ist-DC-Vorspannung in dem Wandlerausgangssignal mit der erwarteten DC-Vorspannung zu detektieren.

16. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 1, welches ferner einen AC-Referenzsignalgenerator umfasst, der zwischen den Wandler und den Mikrocontroller geschaltet ist, wobei eine Ausgabe des AC-Referenzsignalgenerators in dem Erregungssignal enthalten ist.

17. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 1, wobei der Mikrocontroller dafür ausgebildet ist, ein digitales

Ausgangssignal zu liefern, das Positionsdaten für ein Element liefert, das mit dem magnetisch permeablen Kern physisch verbunden ist.

18. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 17, wobei Daten des digitalen Ausgangssignals unter Verwendung eines der Kommunikationsstandards RS-232, ARINC 429, MIL-STD 1553 und CAN-Bus seriell übertragen werden.

19. Halbbrücken-Differentialtransformator-Positionserfassungssystem nach Anspruch 18, welches ferner einen Leitungstreiber umfasst, der dafür ausgebildet ist, das digitale Ausgangssignal einem Bordcomputer zuzuführen.

20. Verfahren zur berührungslosen Positionserfassung unter Verwendung eines Differentialtransformator-Positionserfassungssystems, welches umfasst:
Bereitstellen eines Wandlers, der eine Induktionsspule aufweist, welche ein Wandlerausgangssignal liefert;
Befestigen eines Teils, dessen Position erfasst werden soll, an einem magnetisch permeablen Kern, der innerhalb der Induktionsspule angeordnet ist;
Erzeugen einer Erregungsspannung, die an die Induktionsspule anzulegen ist;
Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals, die aus einer Bewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren;
Korrigieren von Einflüssen von Temperatur und Nichtlinearität beim Bestimmen eines Grades der Bewegung des magnetisch permeablen Kerns; und
Vorsehen von nicht mehr als drei Kabeln als eine elektrische Schnittstelle für den Wandler des Differentialtransformator-Positionserfassungssystems.

21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals, die aus einer Bewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren, das Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals umfasst, die aus einer linearen Bewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren.

22. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals, die aus einer Bewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren, das Messen von Schwankungen der Spannung des Wandlerausgangssignals umfasst, die aus einer Drehbewegung des magnetisch permeablen Kerns resultieren.

23. Verfahren nach Anspruch 20, welches ferner umfasst:
Aufbereiten des Wandlerausgangssignals, um das Signal in eine für eine Analog-Digital-Umsetzung geeignete Form zu bringen;

Umsetzen des Wandlerausgangssignals aus einer analogen in eine digitale Form; und Eingeben der digitalen Form des Wandlerausgangssignals in Signalverarbeitungsalgorithmen in einem Mikrocontroller.

24. Verfahren nach Anspruch 23, wobei das Aufbereiten des Wandlerausgangssignals das Bereitstellen von Schaltungen für AC-Signalaufbereitung und für DC-Signalaufbereitung umfasst.

25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei das Bereitstellen von Schaltungen für AC-Signalaufbereitung und für DC-Signalaufbereitung Schaltungen für AC- und DC-Signalaufbereitung umfasst, welche zwischen den Wandler und einen Mikrocontroller geschaltet sind.

26. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das Bereitstellen eines Wandlers, der eine Induktionsspule aufweist, das Bereitstellen eines Wandlers mit einem Stator umfasst, der ein Paar Induktionsspulen aufweist, die auf einen Spulenkern gewickelt sind, wobei das Paar Spulen mit einer Mittelanzapfung in Reihe geschaltet ist, die zwischen dem Paar Spulen angeordnet ist.

27. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das Vorsehen von nicht mehr als drei Kabeln als eine elektrische Schnittstelle das Vorsehen eines ersten Kabels, um das Erregungssignal der Induktionsspule zuzuführen, das Vorsehen eines zweiten Kabels als einen Erdleiter, der mit der Induktionsspule verbunden ist, und das Vorsehen eines dritten Kabels, um das Wandlerausgangssignal zu transportieren, umfasst.

28. Verfahren nach Anspruch 20, welches ferner das Detektieren von Kurzschlüssen oder Leiterbrüchen in der Induktionsspule durch Vergleichen einer gemessenen DC-Vorspannung in dem Wandlerausgangssignal mit einer erwarteten DC-Vorspannung für das Wandlerausgangssignal umfasst.

29. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das Korrigieren von Temperatureinflüssen das Programmieren eines Mikrocontrollers für das Berechnen eines Temperaturkorrekturfaktors unter Verwendung einer Temperaturkorrekturtabelle umfasst.

30. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das Korrigieren von Einflüssen von Nichtlinearität das Programmieren eines Mikrocontrollers für das Berechnen eines Linearitätskompensationsfaktors unter Verwendung einer Kalibriertabelle umfasst.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

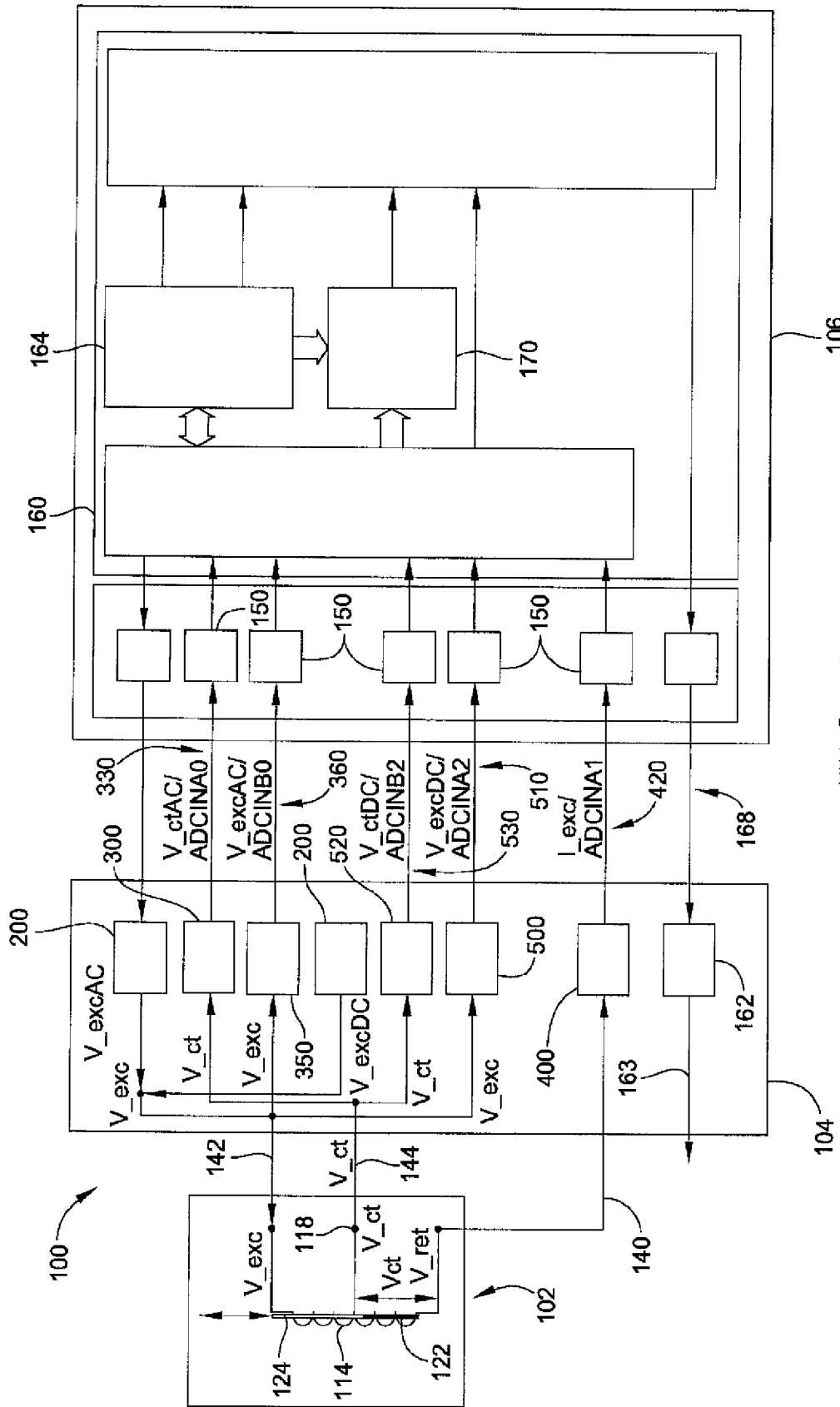


FIG. 1

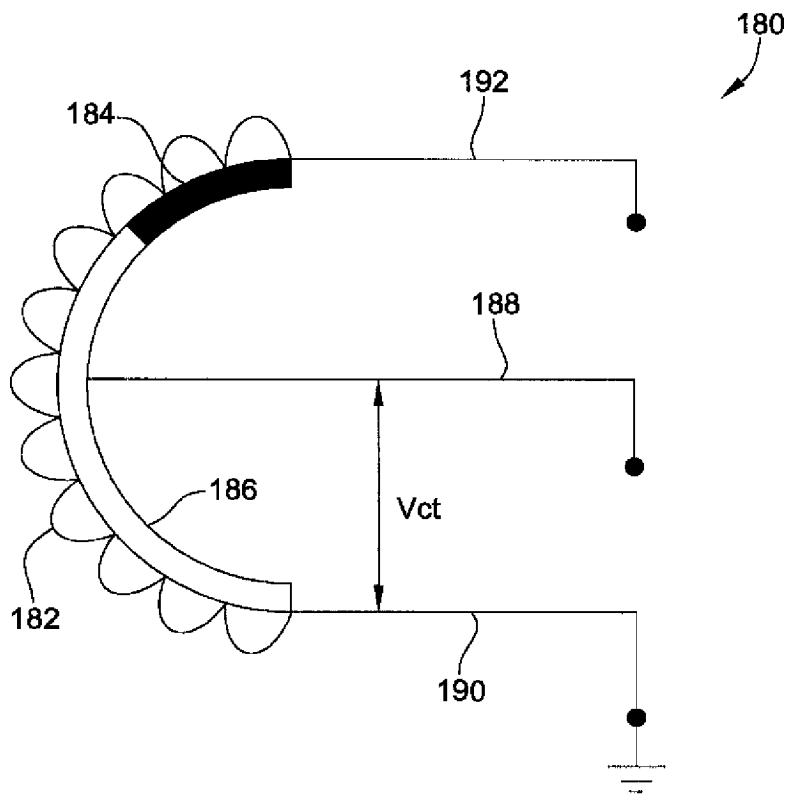


FIG. 2

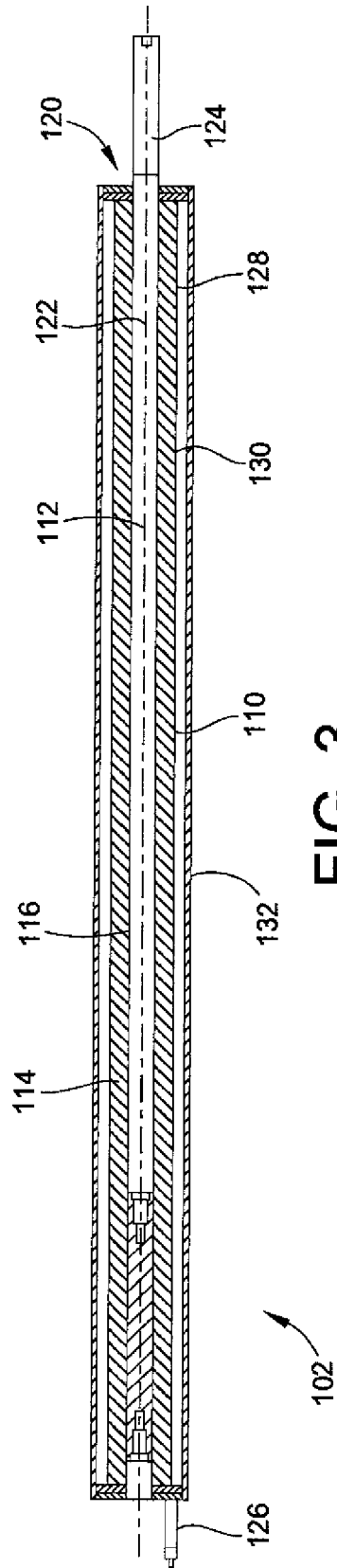


FIG. 3

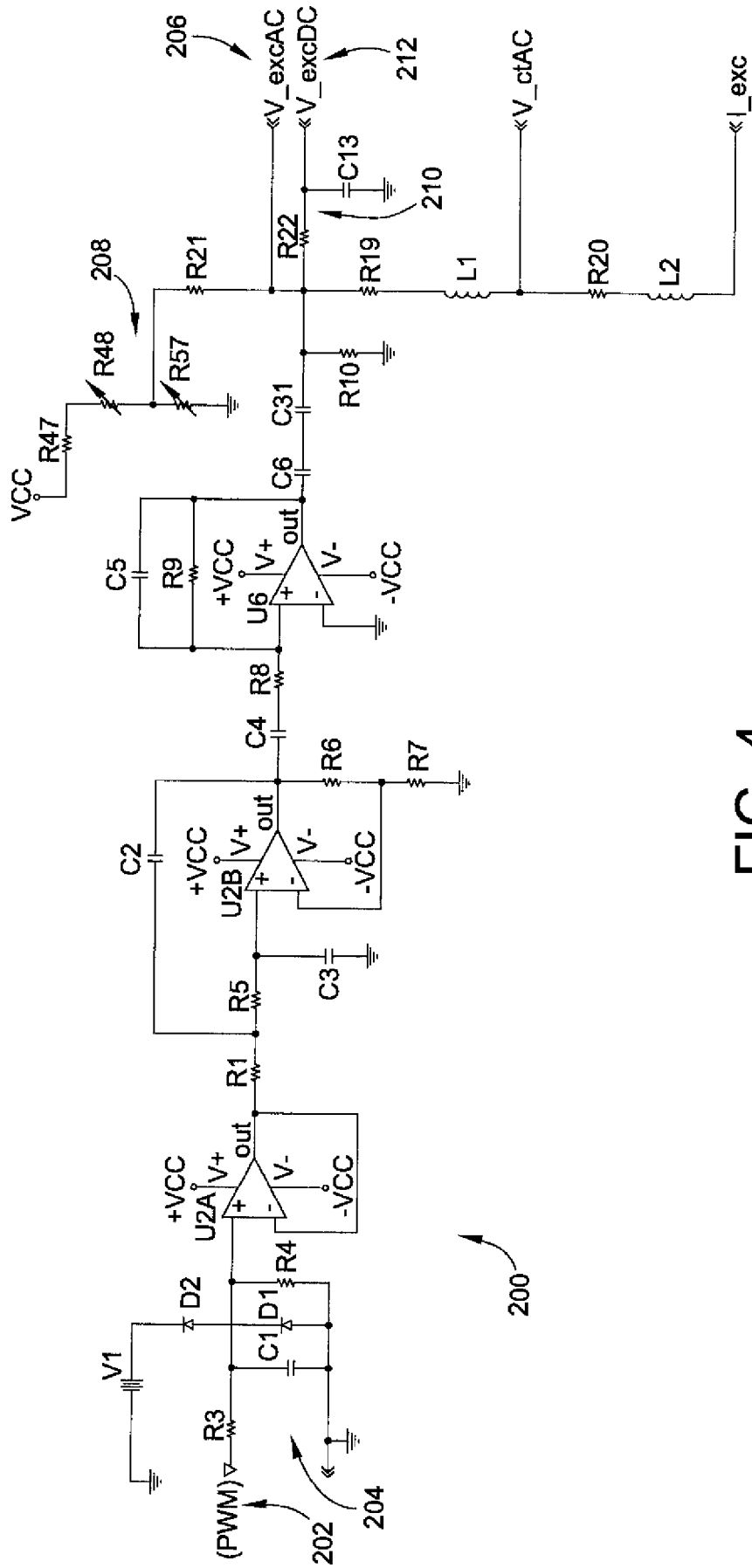


FIG. 4

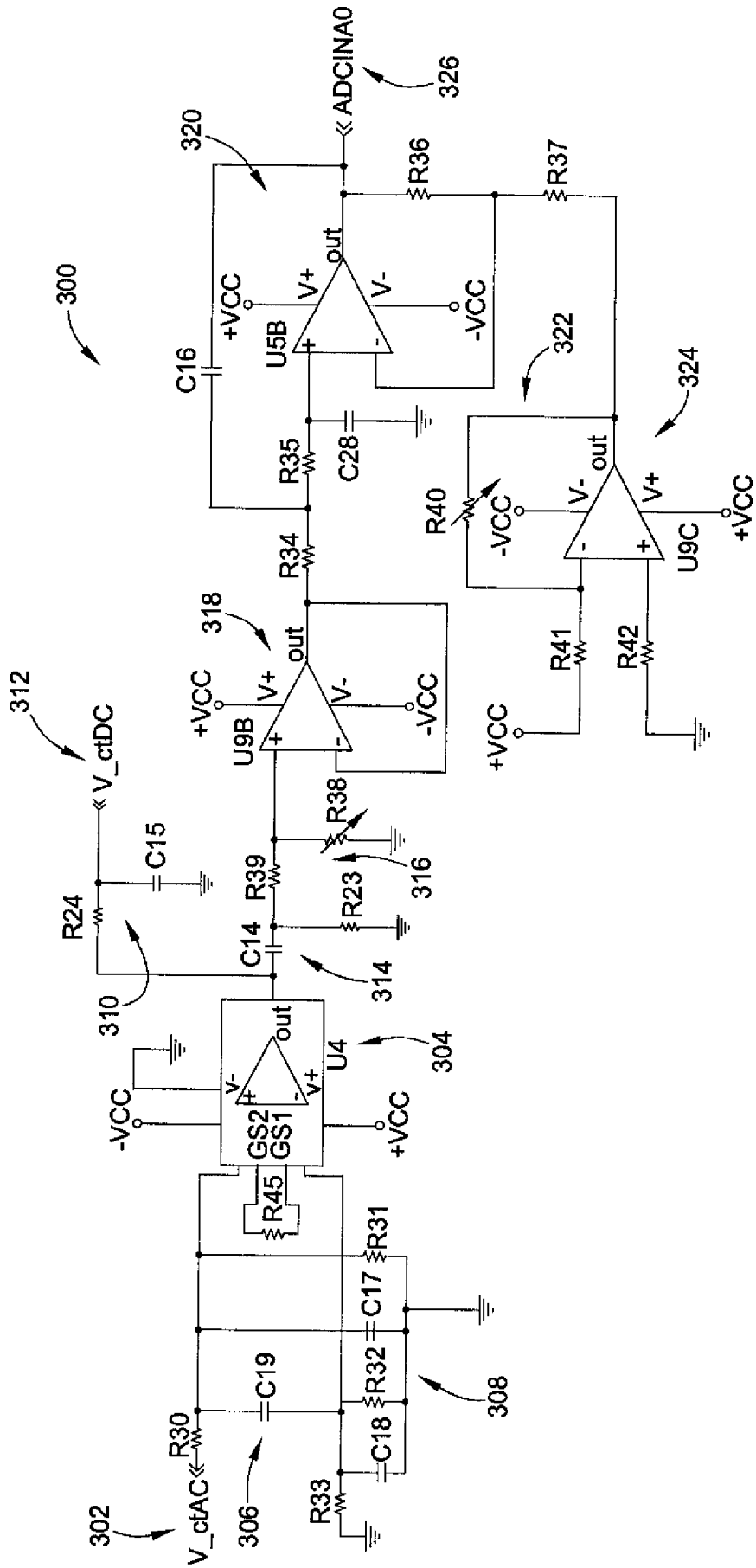


FIG. 5A

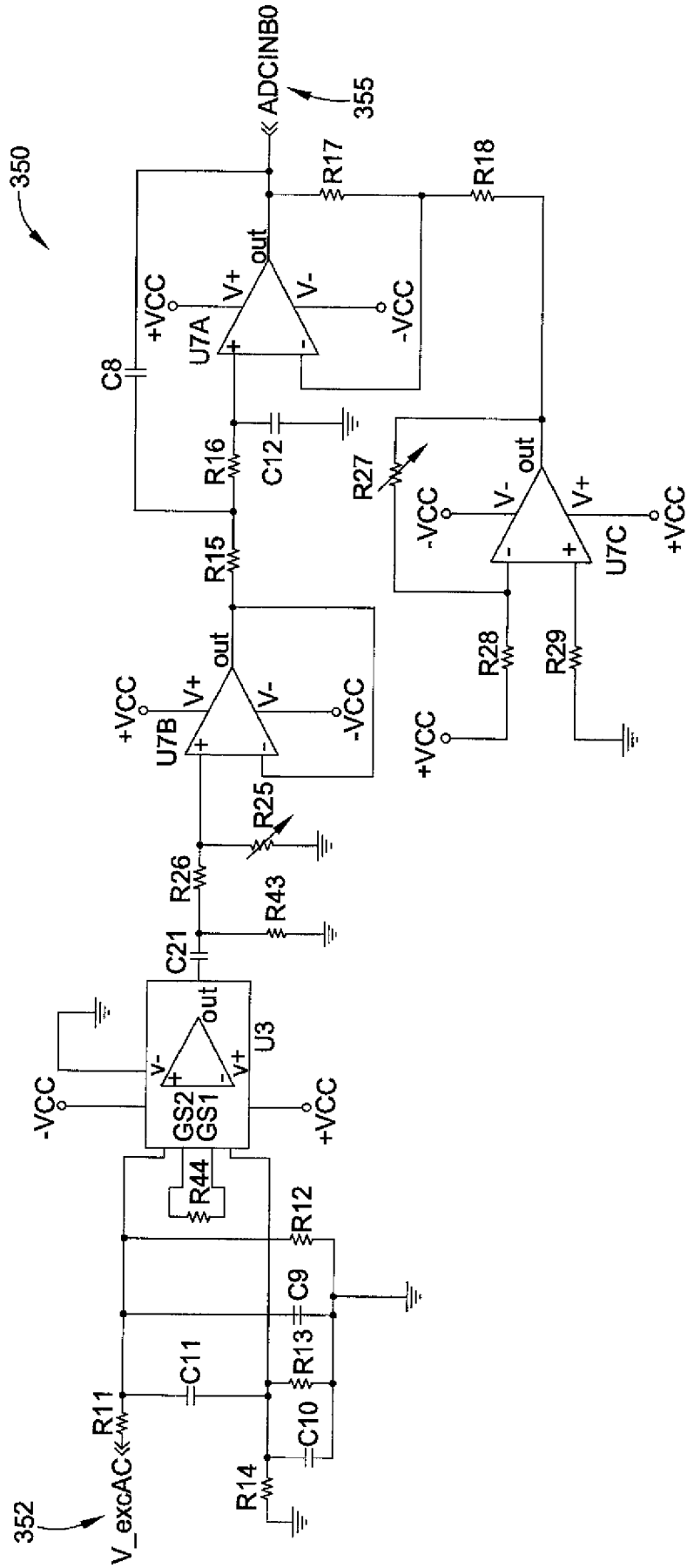


FIG. 5B

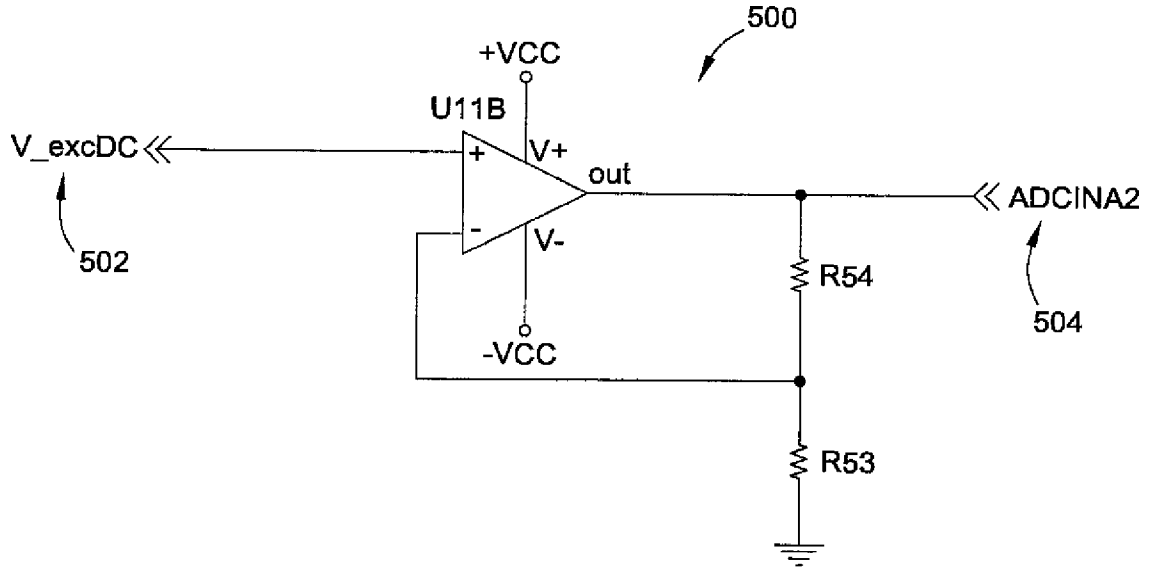


FIG. 7A

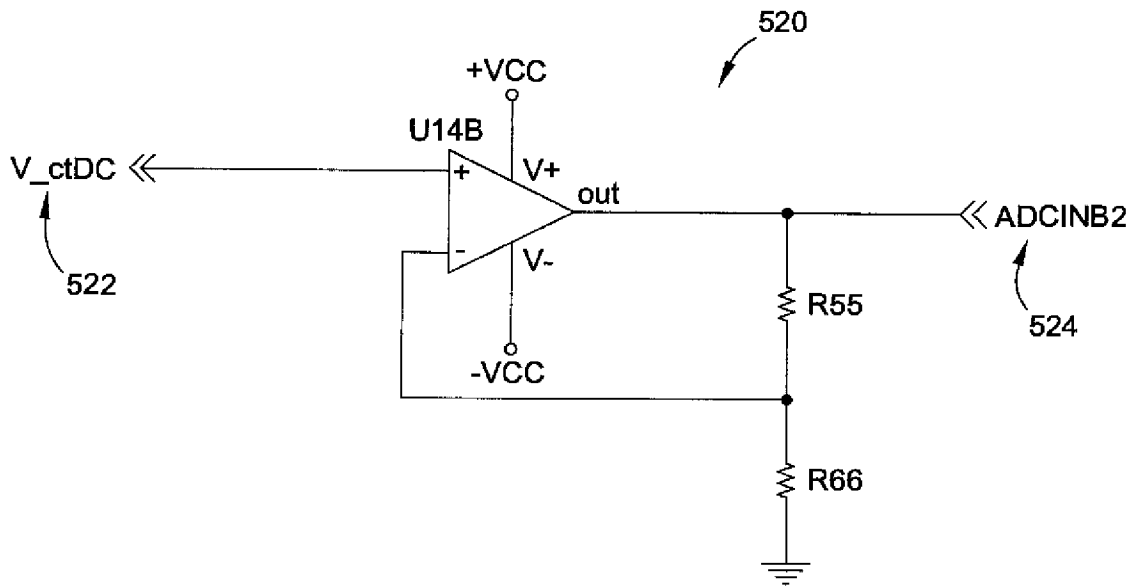


FIG. 7B