



(10) **DE 10 2016 220 686 A1** 2018.04.26

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 220 686.9**

(22) Anmeldetag: **21.10.2016**

(43) Offenlegungstag: **26.04.2018**

(51) Int Cl.: **H01F 7/18 (2006.01)**

H01F 7/16 (2006.01)

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

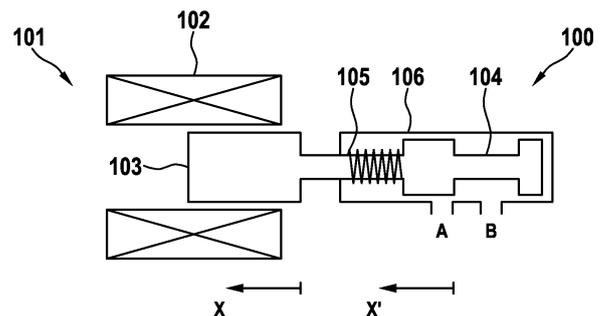
(72) Erfinder:
Kirchner, Tobias, 71642 Ludwigsburg, DE

(74) Vertreter:
Thürer, Andreas, Dipl.-Phys., 97816 Lohr, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Schaltungsanordnung zum Ermitteln einer Position eines beweglichen Ankers eines elektromagnetischen Aktors**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln einer Position eines beweglichen Ankers (103) eines elektromagnetischen Aktors (101), wobei der Anker mittels Bestromung einer Spule (102) des elektromagnetischen Aktors (101) bewegbar ist, wobei ein Halbleiterschalter (M1), eine Strommesswiderstandsschaltung (RS) und die Spule (102) in Reihe geschaltet sind, wobei die Position (x) des Ankers (103) unter Berücksichtigung einer Frequenz eines schwingenden Signals in einem schwingfähigen elektrischen System ermittelt wird, wobei die Spule (102) als ein frequenzbeeinflussendes Element des schwingfähigen elektrischen Systems verwendet wird, wobei ein Potential an einem Schaltungspunkt zwischen der Spule (102) und der Strommesswiderstandsschaltung (RS) mittels des Halbleiterschalters (M1) auf einen Sollwert geregelt wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Schaltungsanordnung zum Ermitteln einer Position eines Ankers eines elektromagnetischen Aktors, der mittels Ansteuerung einer Spule des elektromagnetischen Aktors bewegbar ist.

Stand der Technik

[0002] Elektromagnetische Aktoren mit Anker und Spule, bei denen der Anker bewegbar ist, indem die Spule bestromt wird, sind bekannt. Häufig finden solche elektromagnetischen Aktoren in Magnetventilen, bspw. für hydraulische Anwendungen, Verwendung. Dabei können solche Magnetventile als Proportionalventile verwendet werden, indem die Spule bspw. pulswertenmoduliert angesteuert wird. Dabei stellt sich aufgrund der Induktivität ein mittlerer Strom in der Spule ein. Als Gegenkraft zur Magnetkraft kann dabei eine Feder vorgesehen sein, jedoch ist bspw. auch eine weitere Spule denkbar.

[0003] Die tatsächliche Position des Ankers und somit eines bspw. an den Anker angebondenen Steuerschiebers oder dergleichen stimmt dabei jedoch oftmals nicht mit der aufgrund der Ansteuerung theoretisch vorgegebenen Position überein. Grund hierfür können bspw. Verschmutzungen oder unterschiedliche Drücke in den Hydraulikleitungen, die auf den Anker zurück wirken, sein.

[0004] In der nicht vorveröffentlichten DE10 2015 213 206.4 werden ein Verfahren sowie eine Schaltungsanordnung zum Ermitteln einer Position eines beweglichen Ankers eines elektromagnetischen Aktors vorgeschlagen, wobei die die Position des Ankers aus einer Frequenzmessung eines Lade- und Entladestromverlaufs des Elektromagneten bestimmt wird. Beispielsweise wird der Spulenstrom mittels eines Shuntwiderstands gemessen.

[0005] Es hat sich gezeigt, dass die Messung bei Verwendung einer typischen Verstärkerschaltung mit Operationsverstärkern sowohl rauschbehaftet als auch nicht sonderlich temperaturstabil ist. Bei nicht invertierenden Operationsverstärkerschaltungen geht z.B. die (temperaturabhängige) Offset Spannung multiplikativ in das Ergebnis ein. Bei invertierenden Verstärkern zumindest noch additiv. Beide Verstärkertypen besitzen ein inhärentes Rauschen. Zusätzlich wird Rauschen der Messgröße aufgenommen und verstärkt. Die beschriebene Abhängigkeit von der Offset Spannung erzeugt in der Schwingungsschaltung eine Temperaturabhängigkeit der Frequenz. Das Rauschen erzeugt Jitter des Ausgangssignals, welches zu Lasten der Dynamik z.B. mittels Mittelung der Frequenzmessung kompensiert werden kann.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Erfindungsgemäß werden ein Verfahren sowie eine Schaltungsanordnung zum Ermitteln einer Position eines beweglichen Ankers eines elektromagnetischen Aktors mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0007] Ein erfindungsgemäßes Verfahren dient zum Ermitteln einer Position eines Ankers eines elektromagnetischen Aktors, der mittels Bestromung einer Spule des elektromagnetischen Aktors bewegbar ist. Dazu wird die Position des Ankers unter Berücksichtigung einer Frequenz eines schwingenden Signals in einem schwingfähigen elektrischen System ermittelt, wobei die Spule als ein frequenzbeeinflussendes Element des schwingfähigen elektrischen Systems verwendet wird.

[0008] Eine nur geringe Verschiebung der Position des Ankers im elektromagnetischen Aktor erzeugt eine auch nur geringe Änderung des Stroms bzw. dessen Verlaufs in der Spule. Eine solche geringe Änderung ist zwar theoretisch messbar, jedoch ist dies praktisch kaum durchzuführen, da eine Auflösung von geeigneten Abtastungsvorrichtungen in der Regel hierzu nicht ausreicht. Die Erfindung macht sich nun zunutze, dass sich eine solche geringe Änderung des Stroms jedoch in der Frequenz des Stromverlaufs und somit der Frequenz des schwingfähigen Systems bemerkbar macht, da sich die Änderungen jeder Periode aufaddieren und somit leichter messbar sind. Insbesondere kann auf diese Weise auch die Spule des elektromagnetischen Aktors selbst zur Bestimmung der Position des Ankers verwendet werden und es ist keine zusätzliche Messvorrichtung nötig. Dadurch werden Kosten eingespart.

[0009] Die Erfindung bildet nun diesen Gegenstand der DE10 2015 213 206.4 dahingehend weiter, dass die Höhe der Spannung an der Spule mittels eines in Reihe mit der Spule geschalteten Halbleiterschalters, ins-

besondere Transistor, auf eine Sollspannung geregelt wird. Wird nun der Spule eine Strommesswiderstandsschaltung, wie z.B. ein einfacher Shuntwiderstand, vorgeschaltet, ist die Spannung (gegen Masse) an deren spulenseitigem Pol bekannt, nämlich die Sollspannung. Die Spannung (gegen Masse) an ihrem halbleiterschalterseitigen Pol entspricht der Summe aus der Sollspannung und der an der Strommesswiderstandsschaltung abfallenden Spannung, welche wiederum durch den elektrischen Widerstand der Strommesswiderstandsschaltung und den durch diese fließenden Strom charakterisiert ist. Der Strom wiederum entspricht dem Strom durch die Spule.

[0010] So kann einfach durch Regeln des Potentials an dem Schaltungspunkt zwischen der Spule und der Strommesswiderstandsschaltung auf einen Sollwert und Erfassen der Spannung bzw. des Potentials an dem halbleiterschalterseitigen Pol der Strommesswiderstandsschaltung der Strom durch die Spule ermittelt und zur Bestimmung der Frequenz und daraus der Ankerposition ermittelt werden. Da sich ein elektrischer Widerstand der Strommesswiderstandsschaltung aufgrund der Regelung nicht mehr auf die Stromstärke durch die Spule auswirkt, kann der Widerstandswert optimal für die Messung ausgewählt werden. Es muss kein Transimpedanzverstärker o.ä. für die Messung eingesetzt werden.

[0011] Das Potential an dem Schaltungspunkt zwischen der Spule und der Strommesswiderstandsschaltung wird einer Regelschaltung zugeführt, deren Ausgang mit dem Steuereingang (Gate, Basis) des Halbleiterschalters verbunden ist. Die Regelschaltung kann einen Operationsverstärker aufweisen, um Unzulänglichkeiten des Transistors, wie z.B. die Temperatur- und Bauteilabhängigkeit der Basis-Emitter-Spannung oder die Stromverstärkung bei Bipolartransistoren oder die Threshold-Spannung bei MOSFET, auszugleichen. Dieser wird jedoch nicht für die Messung verwendet.

[0012] Die Erfindung bietet den Vorteil, dass die Messung ohne Einsatz von Operationsverstärkern stattfinden kann. Dadurch wird der Temperaturgang deutlich verbessert, d.h. die Temperaturabhängigkeit nimmt ab, und Jitter wird wesentlich reduziert. Die Schaltung wird kostengünstiger und zudem weniger stör anfällig, d.h. robust gegen Störungen. Weiter vorteilhaft liegt ein Spulenanschluss auf Masse, so dass die Spule zusätzlich zur Messung auch extern bestromt werden kann.

[0013] Vorteilhafterweise wird zur Bestimmung der Frequenz des schwingenden Signals in dem schwingfähigen elektrischen System die Spannung an dem Schaltungspunkt zwischen der Spule und der Strommesswiderstandsschaltung abwechselnd zwischen zwei Werten hin und her bzw. umgeschaltet, wenn ein sich daraus ergebender Spulenstrom jeweils einen oberen bzw. unteren Schwellwert erreicht, und als Frequenz des schwingenden Signals die Schaltfrequenz verwendet. Als die beiden Werte können dabei im einfachsten Fall die Sollspannung und Null bzw. eine getrennte Spannungsversorgung verwendet werden. Dies stellt eine besonders einfache Möglichkeit dar, ein solches schwingfähiges System zu realisieren.

[0014] Es ist von Vorteil, wenn eine dem Spulenstrom entsprechende Messspannung und eine Referenzspannung einem Komparator zugeführt werden, und wobei der Komparator zum Umschalten der Spannung an der Spule durch Ansteuern des Halbleiterschalters verwendet wird. Dies ist eine einfache Möglichkeit, die alternierende Spannung zu erzeugen. Die Messspannung wird durch die Strommesswiderstandsschaltung erzeugt.

[0015] Alternativ zum Komparator erfolgt das Umschalten der Spannung an der Spule mittels einer durch den Spulenstrom gesteuerten Kippschaltung. Hierzu können Schalter wie bspw. Transistoren verwendet werden, mit denen durch Kondensatoren, die durch den ansteigenden und abfallenden Spulenstrom abwechselnd geladen und entladen werden, die alternierende Spannung erzeugt wird. Auch hiermit können auf einfache Weise eine alternierende Spannung erzeugt und die Frequenz des Spulenstroms abgegriffen werden.

[0016] Vorzugsweise wird aus der Frequenz die Position des Ankers ermittelt, indem aus der Frequenz unter Berücksichtigung eines ohmschen Widerstands der Spule eine Induktivität der Spule und aus dieser die Position ermittelt wird. Dies ist insbesondere möglich, wenn die Spule als einziges frequenzbeeinflussendes Bauteil verwendet wird und/oder die Frequenzbeeinflussung durch andere Bauteile bekannt ist. Der Anstieg des Stroms in der Spule bei anliegender Spannung und der Abfall des Stroms bei Spannung Null bzw. getrennter Spannungsversorgung sind dabei nur vom ohmschen bzw. Gleichstromwiderstand und der Induktivität der Spule und dem Gleichstromwiderstand der Strommesswiderstandsschaltung abhängig. Insbesondere ist das Verfahren somit auch unabhängig von Schwankungen in der Versorgungsspannung. Je höher die Induktivität ist, desto langsamer ist bspw. der Anstieg. Über die Frequenz kann somit, bei bekanntem ohmschem Widerstand, auf die Induktivität der Spule geschlossen werden. Die Induktivität wiederum ist abhängig von der Position des Ankers relativ zur Spule. Der Zusammenhang zwischen Induktivität und Position des Ankers kann dabei bspw. in einer entsprechenden Tabelle hinterlegt sein. Dies stellt somit eine einfache Möglichkeit zur

Ermittlung der Position des Ankers dar. Für eine detaillierte Erläuterung sei an dieser Stelle auf die Figurenbeschreibung verwiesen.

[0017] Vorzugsweise ist die Strommesswiderstandsschaltung wenigstens zwei unterschiedliche elektrische Widerstandswerte aufweisend betreibbar. Insbesondere nach dem Abschalten des Stroms wird zum erneuten Einschalten auf einen Stromwert nahe Null gewartet. Der zeitliche Verlauf des Spulenstroms ist in diesem Bereich besonders flach, so dass Rauschen in der Schaltung einen relativ großen Einfluss auf den Zeitpunkt des Auslösens des Komparators hat. In diesem Fall, wenn also kleine Ströme gemessen werden sollen, ist der Einsatz einer Strommesswiderstandsschaltung mit besonders großem Widerstand zweckmäßig, um einen entsprechend großen Messspannungsabfall zu erreichen. Dies erhöht die Präzision der Schwingungsschaltung durch geringeren zeitlichen Jitter und verringert die Abhängigkeit von Toleranzen (auch über Temperatur) des Messwiderstands. Die Schwingung ist auch am unteren Umschaltunkt (nahe Null) noch stabil. Die Auslegung des Komparators wird vereinfacht.

[0018] Vorzugsweise wird die Strommesswiderstandsschaltung mit einem ersten (kleineren) der wenigstens zwei unterschiedlichen elektrischen Widerstandswerte betrieben, während der Spulenstrom den oberen Schwellwert erreicht, und mit einem zweiten (größeren) der wenigstens zwei unterschiedlichen elektrischen Widerstandswerte betrieben wird, während der Spulenstrom den unteren Schwellwert erreicht.

[0019] Die Umschaltung zwischen den Widerstandswerten kann z.B. preisgünstig durch Überbrücken eines Widerstands mit einem zweiten Halbleiterschalter, z.B. MOSFET erfolgen, dessen Steuerungseingang mit dem Steuerungseingang des im Hauptstrompfad angeordneten Halbleiterschalters verbunden sein kann.

[0020] Vorteilhafterweise umfasst die Position des Ankers eine Position, die einer Endstellung des Ankers ohne eine den Anker bewegend Bestromung der Spule entspricht. Ohne eine solche, den Anker bewegend Bestromung, wird die Spannung, deren Frequenz ermittelt wird, nicht beeinflusst, wodurch eine genauere Messung möglich ist. Auf diese Weise kann sehr einfach eine Endstellung des Ankers überprüft werden. Zudem kann hier aus der Frequenz die Position des Ankers sehr einfach dadurch ermittelt werden, dass eine gemessene Frequenz mit einer Frequenz, die einer Endstellung des Ankers im unbestromten Zustand entspricht, verglichen wird. Die dieser Endstellung des Ankers entsprechende Frequenz kann dabei bspw. für ein Magnetventil einmalig ermittelt und hinterlegt werden. Weiterhin kann auch eine Frequenz einer Endstellung bei bestromtem Zustand herangezogen werden. Dabei sei angemerkt, dass hierfür keine Magnetventile in Frage kommen, deren sicherer Zustand (bspw. geschlossen) bei voll bestromter Spule vorliegt. Dies ist jedoch für die allermeisten Anwendungsfälle nicht der Fall, da der sichere Zustand in der Regel der unbestromte Zustand ist.

[0021] Vorzugsweise wird aus der Position des Ankers eine Position einer mit dem Anker verbundenen Komponente ermittelt. Insbesondere wird der elektromagnetische Aktor zum Steuern eines Magnetventils, insbesondere eines Proportional-Magnetventils, weiter insbesondere für hydraulische Anwendungen, wobei der Anker mit einem Steuerschieber verbunden ist, verwendet, und dabei aus der Position des Ankers eine Position des Steuerschiebers ermittelt. Wie bereits eingangs erwähnt, ist bei solchen Magnetventilen oftmals die genaue Position des Steuerschiebers von Interesse. Aus der Position des Ankers kann sehr einfach auf die Position der Komponente oder des Steuerschiebers geschlossen werden, indem die geometrischen Abmessungen berücksichtigt werden.

[0022] Eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung dient zum Ermitteln einer Position eines Ankers eines elektromagnetischen Aktors, der mittels Bestromung einer Spule des elektromagnetischen Aktors bewegbar ist. Die Schaltungsanordnung weist dabei Ansteuermittel, die dazu eingerichtet sind, ein die Spule als ein frequenzbeeinflussendes Element aufweisendes schwingfähiges System anzusteuern, Frequenzerfassungsmittel, die dazu eingerichtet sind, eine Frequenz, mit der ein Signal in dem schwingfähigen System schwingt, zu ermitteln, und Auswertemittel, die dazu eingerichtet sind, aus der Frequenz eine Position des Ankers zu ermitteln, auf. Insbesondere kann die Schaltungsanordnung derart aufgebaut sein, dass die Spule das einzige frequenzbeeinflussende Element des schwingfähigen elektrischen Systems ist.

[0023] Es ist von Vorteil, wenn die Ansteuermittel weiterhin dazu eingerichtet sind, unter Berücksichtigung eines Spulenstroms eine Spannung an der Spule abwechselnd zwischen zwei Werten hin und her bzw. umzuschalten. Bei einer solchen Schaltungsanordnung handelt es sich somit um eine Art Oszillatorbeschaltung, bei der die Spule als zeitbestimmendes Element dient.

[0024] Vorzugsweise weist die Schaltungsanordnung auch Mittel auf, um ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0025] Bzgl. der Vorteile einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung und deren erfindungsgemäßer Verwendung sei zur Vermeidung von Wiederholungen auf die obigen Ausführungen zum erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen.

[0026] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0027] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0028] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt schematisch ein Magnetventil, bei dem ein erfindungsgemäßes Verfahren durchführbar ist.

Fig. 2 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung in einer bevorzugten Ausführungsform.

Fig. 3 zeigt anhand von rein schematischen Spannungsverläufen die Erzeugung einer Spannung an einer Spule nach einem erfindungsgemäßen Verfahren in einer bevorzugten Ausführungsform.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnung

[0029] In **Fig. 1** ist schematisch ein Magnetventil **101** gezeigt, bei dem ein erfindungsgemäßes Verfahren durchführbar ist. Das Magnetventil **101**, das vorliegend als Proportionalventil ausgebildet ist, weist einen elektromagnetischen Aktor **101** auf, welcher wiederum eine Spule **102** und einen darin beweglichen Anker **103** aufweist.

[0030] Mit dem Anker **103** ist ein Steuerschieber **104** verbunden, der in einem Ventilgehäuse **106** hin und her bewegt werden kann. Der Steuerschieber **104** ist mittels einer Feder **105** gegen ein Ende des Ventilgehäuses **106** abgestützt. Durch Ansteuerung des elektromagnetischen Aktors **101** wird der Anker **103** bewegt und somit der Ventilschieber **104** gegen die Feder **105** gedrückt. Auf diese Weise lässt sich die Position x des Ankers **103** bzw. des Ventilschiebers **104** verändern. Dazu kann die Ansteuerung der Spule **102** bspw. (über hier nicht gezeigte Anschlüsse) pulsweitenmoduliert erfolgen.

[0031] Durch die Bewegung des Ventilschiebers **104** wird ein Durchfluss durch das Ventilgehäuse **106** von einem Anschluss A zu einem Anschluss B eingestellt. Es versteht sich, dass die Anschlüsse eines solchen Ventils auch anders ausgestaltet sein können. Ebenso können mehr Anschlüsse, die von einem Ventilschieber gesteuert werden, vorhanden sein.

[0032] In **Fig. 2** ist schematisch eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung **200** in einer bevorzugten Ausführungsform dargestellt. Für die Spule **102** ist vorliegend deren Induktivität L und deren ohmscher bzw. Gleichstromwiderstand R_L dargestellt. Die Spule **102** ist mit einer Strommesswiderstandsschaltung RS und einem Halbleiterschalter (z.B. Bipolartransistor) $M1$ in Reihe geschaltet und mit einem Versorgungsspannungsanschluss $V+$ verbunden. Eine Diode $D3$ dient zur Verhinderung einer Rückspeisung in die Versorgungsspannung bei Bestromung der Spule. An die Spule **102** wird mittels des Halbleiterschalters $M1$ eine Spannung $V2$ angelegt, die zwischen zwei Werten hin und her wechseln bzw. umgeschaltet werden kann.

[0033] Die Spannung $V2$ wird vorliegend durch den Halbleiterschalter $M1$ zu- und weggeschaltet. Ein Steuerungseingang des Halbleiterschalters $M1$ ist dazu mit einer Regelschaltung **230** verbunden. Die Regelschaltung **230** wirkt für eine von den Ansteuermitteln **210** bereitgestellte Spannung (Schaltsignal) spannungsstabilisierend, insbesondere auch über der Temperatur, und weist einen Operationsverstärker $K5$ auf. Ein Regeleingang der Schaltung **230** ist mit einem Schaltungspunkt zwischen der Spule und der Strommesswiderstandsschaltung RS verbunden, um dort die Höhe der Spannung $V2$ einzuregeln.

[0034] Die Widerstandsschaltung RS weist vorliegend eine Reihenschaltung von zwei Widerständen $R23$ und $R10$ auf, wobei der Widerstand $R10$ mittels eines Halbleiterschalters (z.B. MOSFET) $M2$ überbrückt werden

kann. Der Steuereingang des Halbleiterschalters M2 ist ebenfalls mit dem Ausgang der Regelschaltung **230** verbunden.

[0035] Zwischen Strommesswiderstandsschaltung RS und Halbleiterschalter M1 wird eine Messspannung U_1 abgegriffen und den Ansteuermitteln **210** zugeführt. Die Ansteuermittel **210** weisen einen Komparator oder Vergleicher K2 auf, der über eine Versorgungsspannung $V+$ versorgt wird und an dessen nicht invertierendem Eingang eine Referenzspannung U_R anliegt, die über einen Spannungsteiler mit den Widerständen R2 und R3 von einer Versorgungsspannung $V+$ erzeugt wird und über einen Widerstand R1 mit seiner eigenen Ausgangsspannung rückgekoppelt ist.

[0036] Am invertierenden Eingang des Komparators K2 liegt über einen Widerstand R37 die Messspannung U_1 an, die einem Strom, der in der Spule **102** fließt entspricht. Auf diese Weise erzeugen die Ansteuermittel **210** in Art eines Schmitt-Triggers ein Rechtecksignal, mit dem letztlich der Halbleiterschalter M1 ein- und ausgeschaltet wird.

[0037] Die übrigen in der **Fig. 2** gezeigten und noch nicht erwähnten Widerstände und Kondensatoren, die nicht mit einem Bezugszeichen versehen sind, können dabei geeignet gewählt werden. Dabei ist insbesondere hervorzuheben, dass die in der Schaltungsanordnung **200** gezeigten Kondensatoren lediglich einer Begrenzung der Bandbreite der Operationsverstärker oder Komparatoren dienen und nicht die Frequenz des oszillierenden Spulenstromes beeinflussen.

[0038] Die Ansteuermittel **210** steuern den Halbleiterschalter M1 (hier als Längstransistor) so, dass er die Spule **102** mit einem Rechtecksignal mit bekannter Spannung beaufschlagt, die somit an dem Schaltungspunkt zwischen Spule **102** und Strommesswiderstandsschaltung RS anliegt. Der die Spule **102** durchfließende Strom durchfließt auch die Strommesswiderstandsschaltung RS. Die Spannung über der Strommesswiderstandsschaltung wird ausgewertet. Eine Differenzmessung ist nicht erforderlich, da die Spannung an dem Schaltungspunkt zwischen Spule **102** und Strommesswiderstandsschaltung RS ja bekannt ist, nämlich die geregelte Rechteckspannung.

[0039] Die Spannung am oberen Anschluss der Strommesswiderstandsschaltung RS setzt sich zusammen aus der geregelten Rechteckspannung und dem durch den Strom verursachten Spannungsanteil. Dieses Signal kann direkt wieder auf den Komparator K2 gegeben werden. Die Dimensionierung der Schaltschwellen wird zweckmäßigerweise so angepasst, dass ein Offset durch die Rechteckspannung berücksichtigt wird. Im Unterschied zu einer reinen Shuntspannungsmessung, bei welcher die Spannung dem Strom entspricht und daher direkt verglichen werden kann, wird bei der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung auf der Spulenseite der Strommesswiderstandsschaltung das Rechtecksignal durch den OP K5 eingeregelt. Der durch den Strom verursachte Spannungsabfall an der Strommesswiderstandsschaltung erscheint als Offset auf diesem Rechtecksignal. Bei der Wahl der Komparatorschwellen wird somit zweckmäßigerweise das mitgemessene Rechtecksignal berücksichtigt.

[0040] In **Fig. 3** ist die Erzeugung der Spannung V_2 anhand von rein schematischen Spannungsverläufen dargestellt. Dabei sind in zwei Diagrammen jeweils eine Spannung U gegen die Zeit t aufgetragen.

[0041] Die Messspannung U_1 , die dem Spulenstrom in der Spule **102** entspricht, wird dabei wie erläutert, ermittelt.

[0042] Wenn nun bspw. initial zu einem Zeitpunkt t_0 eine Spannung U an die Spule **102** angelegt wird, so steigt der Spulenstrom I gemäß der Formel

$$I(t) \frac{U}{R_L} \left(1 - \exp \left[- \frac{t \cdot R_L}{L} \right] \right)$$

über die Zeit t an. R_L bezeichnet dabei den ohmschen Widerstand der Spule **102**. Erreicht der Spulenstrom I bzw. die diesem entsprechende Messspannung U_1 nun bspw. zu einem Zeitpunkt t_1 einen oberen Schwellwert $U_{R,2}$ und übersteigt somit die Messspannung U_1 die Referenzspannung, wie im oberen Diagramm der **Fig. 3** gezeigt, so wird die Spannung an der Spule durch den Komparator K2 bspw. auf Null bzw. Masse geschaltet und der Spulenstrom I fällt ab gemäß der Formel

$$I(t) \frac{U}{R_L} \exp\left[-\frac{t \cdot R_L}{L}\right].$$

[0043] Nachdem der Spulenstrom I bzw. die diesem entsprechende Messspannung U_I nun bspw. zu einem Zeitpunkt t_2 einen unteren Schwellwert $U_{R,1}$ erreicht hat und somit die Messspannung U_I die nun niedrigere Referenzspannung (die Referenzspannung hängt von der Ausgangsspannung des Komparators ab) unterschreitet, so wird die Spannung V_2 an der Spule durch den Komparator K_2 wieder auf die vorher anliegende Spannung geschaltet. Zur **Fig. 3** sei angemerkt, dass die Referenzspannung U_R mit den beiden Grenzwerten $U_{R,1}$ und $U_{R,2}$ hier um die halbe Versorgungsspannung V_+ pendelt, wenn die beiden Widerstände R_2 und R_3 gleich groß gewählt werden und der Operationsverstärker ein Rail-to-Rail-Typ ist. Die Größe der Hysterese des Schmitt-Triggers wird durch R_1 definiert.

[0044] Die Frequenz, mit der der Spulenstrom I bzw. mit der die an der Spule anliegende Spannung V_2 hin und her geschaltet wird, kann bspw. mit Frequenzerfassungsmitteln **260** am Ausgang der Ansteuermittel **210** bzw. des Komparators K_2 abgegriffen und Auswertemitteln **270** zugeführt werden. In den Auswertemitteln kann nun aus der Frequenz mittelbar (z.B. über die Induktivität L der Spule **102**) oder unmittelbar (z.B. durch Vergleich mit Referenzwerten) die Position x des Ankers **103** ermittelt werden.

[0045] Die Frequenz oder eine Größenordnung der Frequenz kann dabei durch geeignete Wahl der Größen der an der Schaltungsanordnung beteiligten Bauteile in etwa auf einen gewünschten Wert eingestellt werden. Der letztlich gemessene, genaue Wert der Frequenz hängt dabei natürlich von der Induktivität der Spule bzw. der Ankerposition ab.

[0046] Insbesondere nach dem Abschalten des Stroms wird zum erneuten Einschalten auf einen Stromwert nahe Null gewartet. Der zeitliche Verlauf des Spulenstroms ist in diesem Bereich besonders flach, so dass Rauschen in der Schaltung einen relativ großen Einfluss auf den Zeitpunkt des Auslösens des Komparators hat. In diesem Fall, wenn also kleine Ströme gemessen werden sollen, ist der Einsatz einer Strommesswiderstandsschaltung mit besonders großem Widerstand zweckmäßig, um einen entsprechend großen Messspannungsabfall zu erreichen. Dies erhöht die Präzision der Schwingung durch geringeren zeitlichen Jitter und verringert die Abhängigkeit von Toleranzen (auch über Temperatur) des Messwiderstands. Die Schwingung ist auch am unteren Umschaltunkt (nahe Null) noch stabil. Die Auslegung des Komparators K_2 wird vereinfacht.

[0047] Daher weist die Widerstandsschaltung RS vorliegend eine Reihenschaltung von zwei Widerständen R_{23} und R_{10} auf, wobei der Widerstand R_{10} mittels eines Halbleiterschalters (z.B. MOSFET) M_2 überbrückt werden kann. Dadurch kann ein großer Widerstand ($R_{23} + R_{10}$) bei kleinen Strömen und ein kleiner Widerstand (nur R_{23}) bei großen Strömen verwendet werden. Zumindest während des Erreichens des jeweiligen Umschaltpunkts sollte entsprechend der gewünschte Widerstand vorliegen.

[0048] Der Halbleiterschalter M_2 schaltet in der gezeigten bevorzugten Ausführungsform immer dann, wenn die Spannung am Widerstand R_{23} die Threshold-Spannung von M_2 übersteigt. Komparatorschwellen, R_{23} und M_2 sollten daher zweckmäßigerweise so dimensioniert sein, dass die Umschaltung gerade dann nicht stattfindet, wenn der Spulenstrom (und damit die Spannung U_I) in der Nähe der Komparatorschwellen ist. Dann gilt: An der oberen Komparatorschwelle wird mit einem Messwiderstand bestehend aus R_{23} gemessen (Komparatorschwelle berücksichtigt Offset durch Rechtecksignal). An der unteren Komparatorschwelle wird mit einem Messwiderstand bestehend aus R_{23} und R_{10} gemessen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102015213206 [0004, 0009]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln einer Position eines beweglichen Ankers (103) eines elektromagnetischen Aktors (101), wobei der Anker mittels Bestromung einer Spule (102) des elektromagnetischen Aktors (101) bewegbar ist, wobei ein Halbleiterschalter (M1), eine Strommesswiderstandsschaltung (RS) und die Spule (102) in Reihe geschaltet sind, wobei die Position (x) des Ankers (103) unter Berücksichtigung einer Frequenz eines schwingenden Signals in einem schwingfähigen elektrischen System ermittelt wird, wobei die Spule (102) als ein frequenzbeeinflussendes Element des schwingfähigen elektrischen Systems verwendet wird, wobei ein Potential an einem Schaltungspunkt zwischen der Spule (102) und der Strommesswiderstandsschaltung (RS) mittels des Halbleiterschalters (M1) auf einen Sollwert geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zur Bestimmung der Frequenz des schwingenden Signals in dem schwingfähigen elektrischen System eine Spannung an der Spule (102) abwechselnd zwischen zwei Werten hin und her geschaltet wird, wenn ein sich daraus ergebender Spulenstrom (I) jeweils einen oberen bzw. unteren Schwellwert erreicht, und als Frequenz des schwingenden Signals die Schaltfrequenz verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei eine dem Spulenstrom (I) entsprechende Messspannung (U_I) und eine Referenzspannung (U_R) einem Komparator (K2) zugeführt werden, und wobei der Komparator (K2) zum Umschalten der Spannung an der Spule (102) verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei das Umschalten der Spannung an der Spule (102) mittels einer durch den Spulenstrom (I) gesteuerte Kippschaltung (310) erfolgt.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei aus der Frequenz die Position (x) des Ankers (103) ermittelt wird, indem aus der Frequenz unter Berücksichtigung eines ohmschen Widerstands (R_L) der Spule eine Induktivität (L) der Spule ermittelt wird, und aus der Induktivität (L) der Spule die Position (x) des Ankers (103) ermittelt wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Strommesswiderstandsschaltung (RS) wenigstens zwei unterschiedliche elektrische Widerstandswerte aufweisend betrieben wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6 in Rückbezug zumindest auf Anspruch 2, wobei die Widerstandsschaltung (RS) mit einem ersten der wenigstens zwei unterschiedlichen elektrischen Widerstandswerte betrieben wird, während der Spulenstrom (I) den oberen Schwellwert erreicht, und wobei die Widerstandsschaltung (RS) mit einem zweiten der wenigstens zwei unterschiedlichen elektrischen Widerstandswerte betrieben wird, während der Spulenstrom (I) den unteren Schwellwert erreicht.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Position (x) des Ankers (103) eine Position umfasst, die einer Endstellung des Ankers (103) ohne eine den Anker (103) bewegende Bestromung der Spule (102) entspricht.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei aus der Position (x) des Ankers (103) eine Position (x') einer mit dem Anker (103) verbundenen Komponente (104) ermittelt wird.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der elektromagnetische Aktor (101) zum Steuern eines Magnetventils (100), insbesondere eines Proportional-Magnetventils, weiter insbesondere für hydraulische Anwendungen, bei dem der Anker (103) mit einem Steuerschieber (104) verbunden ist, verwendet wird, und wobei aus der Position (x) des Ankers (103) eine Position (x') des Steuerschiebers (104) ermittelt wird.
11. Schaltungsanordnung (200) zum Ermitteln einer Position (x) eines beweglichen Ankers (103) eines elektromagnetischen Aktors (101), der mittels Bestromung einer Spule (102) des elektromagnetischen Aktors (101) bewegbar ist, wobei ein Halbleiterschalter (M1), eine Strommesswiderstandsschaltung (RS) und die Spule (102) in Reihe geschaltet sind, mit Ansteuermitteln (210, 230), die dazu eingerichtet sind, ein die Spule (102) als ein frequenzbeeinflussendes Element aufweisendes schwingfähiges elektrisches System anzusteuern und ein Potential an einem Schaltungspunkt zwischen Spule (102) und Strommesswiderstandsschaltung (RS) auf einen Sollwert zu regeln, Frequenzerfassungsmitteln (260), die dazu eingerichtet sind, eine Frequenz, mit der ein Signal in dem schwingfähigen System schwingt, zu ermitteln, und

Auswertemitteln (270), die dazu eingerichtet sind, aus der Frequenz eine Position (x) des Ankers (102) zu ermitteln.

12. Schaltungsanordnung (200) nach Anspruch 11, wobei die Ansteuermittel (210, 230) weiterhin dazu eingerichtet sind, unter Berücksichtigung eines Spulenstromes (I) eine Spannung (V2) an der Spule (102) abwechselnd zwischen zwei Werten hin und her zu schalten.

13. Schaltungsanordnung (200) nach Anspruch 12, wobei die Ansteuermittel (210, 230) einen Komparator (K2) umfassen, der zur Berücksichtigung des Spulenstromes (I) mit einem invertierenden Eingang an die Strommesswiderstandsschaltung (RS) angeschlossen ist und an dem an einem nicht invertierenden Eingang eine Referenzspannung (U_R) anliegt.

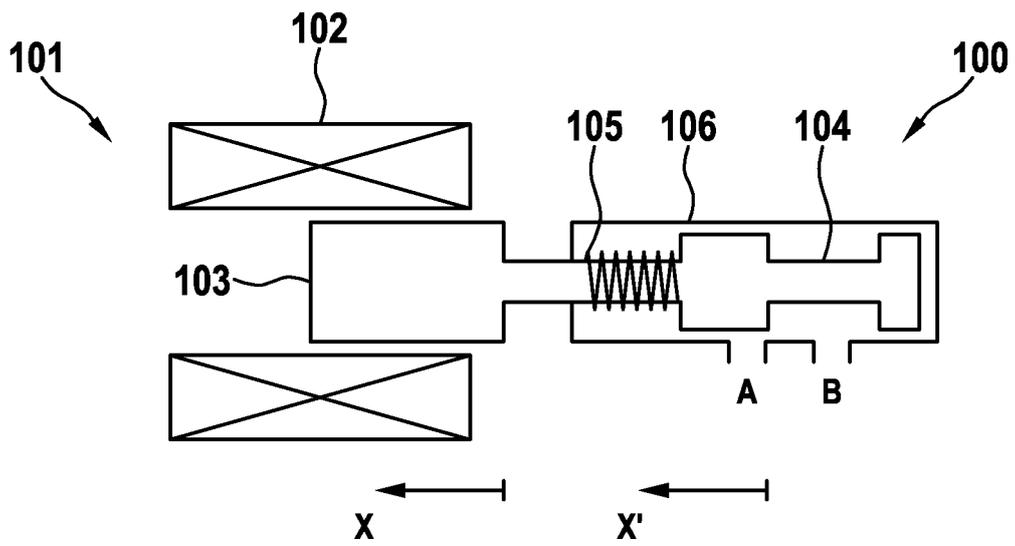
14. Schaltungsanordnung (300) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei die Strommesswiderstandsschaltung (RS) wenigstens zwei unterschiedliche elektrische Widerstandswerte aufweisend betreibbar ist.

15. Verwendung einer Schaltungsanordnung (200) nach einem der Ansprüche 11 bis 14 zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1



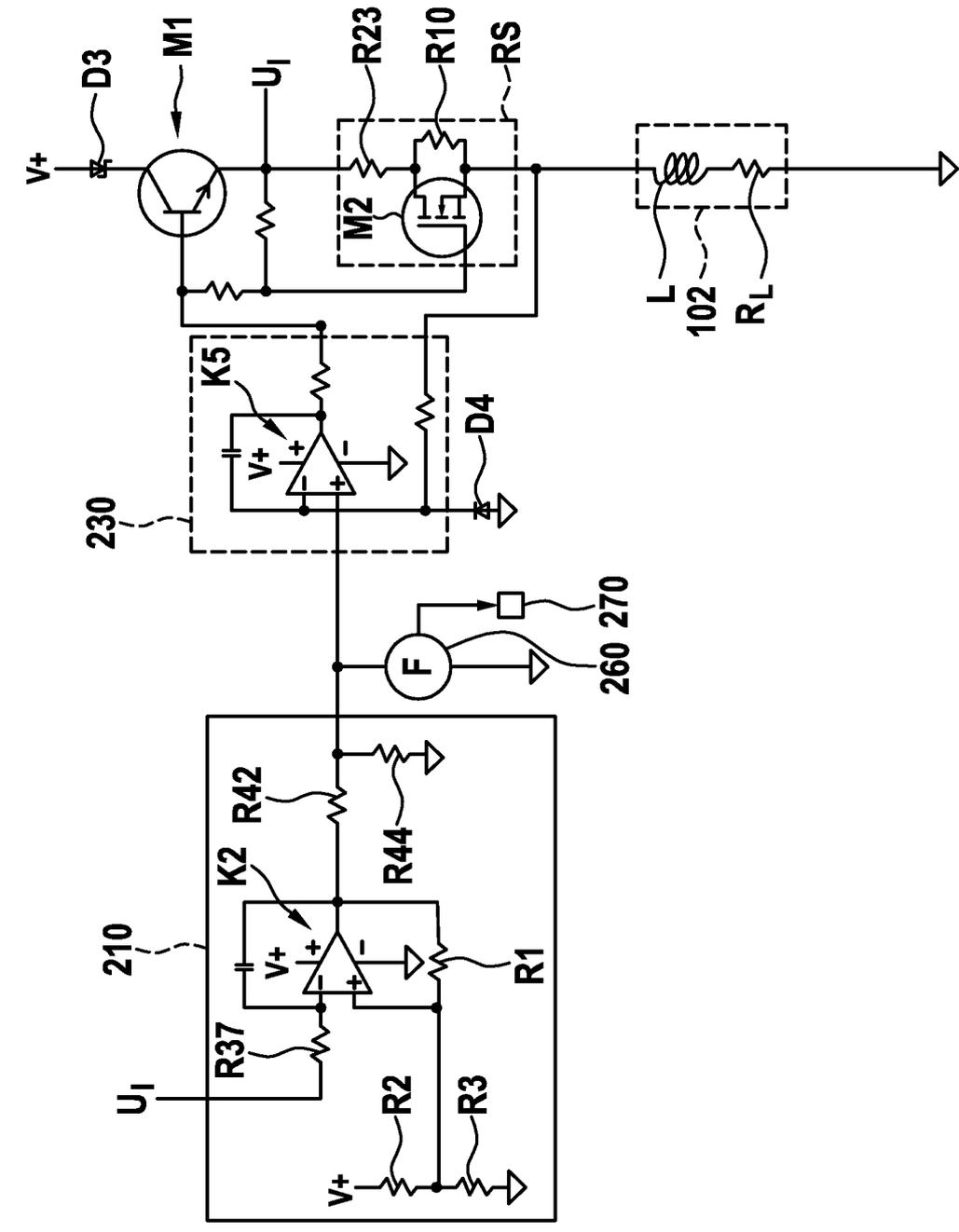


Fig. 2

Fig. 3

