



(10) **DE 10 2004 020 978 B4** 2011.06.16

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2004 020 978.2**
(22) Anmeldetag: **22.04.2004**
(43) Offenlegungstag: **17.11.2005**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **16.06.2011**

(51) Int Cl.: **G01V 3/08 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
BALLUFF GmbH, 73765 Neuhausen, DE

(74) Vertreter:
HOEGER, STELLRECHT & PARTNER
Patentanwälte, 70182 Stuttgart

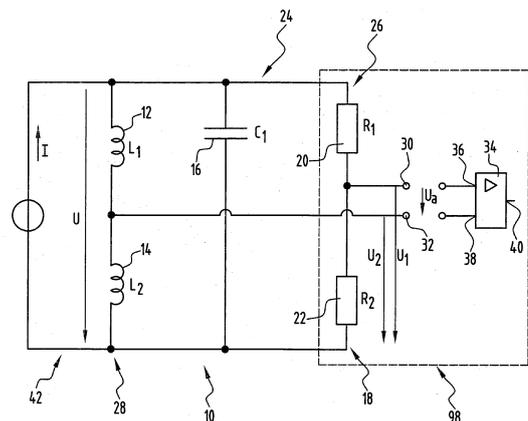
(72) Erfinder:
Hnyk, Lubomir, 70567 Stuttgart, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	195 38 575	C2
DE	43 30 140	C2
DE	199 47 380	A1
DE	101 37 091	A1
DE	44 29 314	A1
DE	44 27 990	A1
WO	99/10 981	A1

(54) Bezeichnung: **Induktiver Näherungssensor und Verfahren zur Signalgewinnung bei einem induktiven Näherungssensor**

(57) Hauptanspruch: Induktiver Näherungssensor, umfassend einen durch Annäherung eines metallischen Gegenstandes beeinflussbaren Schwingkreis (10; 66) und eine Auswerteeinrichtung (80) zur Erzeugung eines Sensorsignals, wobei der Schwingkreis (10; 66) einen Spulenzweig (28) mit einer Senserspule (12; 92) und einer Referenzspule (14; 94), welche in Reihe geschaltet sind, umfaßt und einen Widerstandselementenzweig (26) mit Widerstandselementen (20, 22; 54, 56) umfaßt, daß die Senserspule (12; 92) und die Referenzspule (14; 94) mit Widerstandselementen (20, 22; 54, 56) in einer L-R-Brückenschaltung (24) angeordnet sind und daß ein Spannungsabgriff (30; 32) jeweils im Spulenzweig (28) und im Widerstandselementenzweig (26) der L-R-Brückenschaltung (24) vorgesehen ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen induktiven Näherungssensor, umfassend einen durch Annäherung eines metallischen Gegenstandes beeinflussbaren Schwingkreis und eine Auswerteeinrichtung zur Erzeugung eines Sensorsignals.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Signalgewinnung bei einem induktiven Näherungssensor, welcher einen Schwingkreis mit einer Senserspule und einer Referenzspule umfaßt.

[0003] Bei induktiven Näherungssensoren ist die Beeinflussung des Schwingkreises abhängig von den elektromagnetischen Eigenschaften des Gegenstandes, welcher zu detektieren ist. Beispielsweise bedämpfen ferromagnetische Metalle den Schwingkreis stärker, da zusätzliche Energieverluste durch die Umpolung des remanenten Magnetfeldes entstehen. Bei paramagnetischen Metallen wird der Schwingkreis weniger stark bedämpft, jedoch wird die Schwingkreisinduktivität wesentlich stärker verändert (insbesondere reduziert) als bei ferromagnetischen Metallen.

[0004] Aus der DE 196 11 810 C2 ist ein berührungslos arbeitender Näherungsschalter mit einem durch von außen herangeführte Gegenstände beeinflussten Schwingkreis und mit einer Auswerteeinrichtung zur Gewinnung eines Schaltsignals aus einem die Änderung des Schwingungszustandes des Schwingkreises beschreibenden Ausgangssignal bekannt, wobei der Schwingkreis eine Schwingkreisbrücke mit wenigstens zwei Kondensatoren und wenigstens zwei durch die von außen herangeführten Gegenstände unterschiedlich beeinflussbaren Spulen ist. In der Auswerteeinrichtung wird aus der Brückendiagonalspannung und der Eingangsspannung der Schwingkreisbrücke die Brückenübertragungsfunktion gebildet, deren Realteil unabhängig vom Imaginärteil zur Gewinnung des Schaltsignals dient.

[0005] Aus der DE 199 47 380 A1 ist ein Näherungssensor zur Zusammenwirkung mit einem Auslöser, mit einem Schwingkreis und einem Frequenzgeber bekannt, wobei eine Auswerteschaltung zur Bestimmung einer auslösermaterialunabhängigen Komponente einer von der Position und dem Material des Auslösers abhängigen komplexen Systemgröße vorhanden ist.

[0006] Aus der WO 99/10981 A1 ist ein Näherungssensor bekannt, welcher einen Schwingkreis mit einer reaktiven Induktivität mit Lastwiderstand umfaßt, wobei primäre Windungen und sekundäre Windungen so angeordnet sind, daß der gegenseitige Fluß zwischen den zwei Windungen wesentlich schwächer ist als der Fluß jeder Windung.

[0007] Aus der DE 44 29 314 A1 ist ein induktiver Näherungsschalter mit einem Oszillator mit einer Auswerteschaltung zur Gewinnung eines Schaltsignals aus der Änderung des Schwingungszustands des Oszillators bekannt, wobei in einem Wechselfeld einer Sendespule zwei Senserspulen in unmittelbarer Differenzschaltung zur Erfassung der Differenz der in den beiden Senserspulen induzierten Spannungen angeordnet sind. Eine Differenzwechselspannung ist an den Eingang eines Oszillatorverstärkers derart geführt, daß bei einem Nulldurchgang der Differenzwechselspannung der Oszillator seinen Schwingungszustand sprunghaft ändert.

[0008] Aus der DE 44 27 990 A1 ist ein induktiver Näherungssensor zur materialunabhängigen Messung des Abstands eines Meßobjekts bekannt, wobei ein elektrischer oder elektronischer Frequenz-Wandler oder Frequenzumsetzer vorhanden ist, um die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises zu messen, so daß die Resonanzfrequenz des Schwingkreises in ein frequenzproportionales Signal überführt wird.

[0009] Aus der DE 43 30 140 C2 ist ein induktiver Näherungsschalter mit einem von außen beeinflussbaren, einen Sensorschwingkreis und einen Referenzschwingkreis aufweisenden Oszillator und mit einem von dem Oszillator steuerbaren elektronischen Schalter bekannt, wobei der Sensorschwingkreis eine Sensorschwingkreisinduktivität und eine Sensorschwingkreis Kapazität sowie der Referenzschwingkreis eine Referenzschwingkreisinduktivität und eine Referenzschwingkreis Kapazität aufweisen und wobei der Sensorschwingkreis und der Referenzschwingkreis parallel geschaltet über einen in Reihe geschalteten Kupplungswiderstand galvanisch gekoppelt sind. Der Sensorschwingkreis und der Referenzschwingkreis sind zusätzlich transformatorisch gekoppelt. Die Sensorschwingkreisinduktivität und die Referenzschwingkreisinduktivität sind als Luftspulen ausgebildet.

[0010] Aus der DE 195 38 575 C2 ist ein induktiver Näherungssensor zum Messen des Abstandes eines Meßobjekts als Steuerfahne bekannt, wobei elektronische Mittel vorhanden sind, um eine Pulsfolge zu erzeugen, deren Frequenz gleich der Frequenz oder der doppelten Frequenz eines Meßspulen-Wechselstroms oder einer Meßspulen-Wechselspannung ist und deren Pulsbreite proportional zu der Phasenverschiebung ist, die zwischen der Meßspulen-Wechselspannung und dem Meßspulen-Wechselstrom unmittelbar während jeder Halbperiode oder einem Vielfachen jeder Halbperiode des Stroms und der Spannung gemessen wird.

[0011] Aus der DE 101 37 091 A1 ist ein induktiver Näherungssensor mit einem elektrischen Schwingkreis und einer hiermit gekoppelten elektrischen Energiequelle zum Ausgleich der Verluste im Schwing-

kreis bekannt, wobei die Energiequelle voll differentiell mit dem Schwingkreis gekoppelt ist.

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen berührungslos arbeitenden Näherungssensor der eingangs genannten Art bereitzustellen, welcher bezüglich des Signalhubs auf einfache Weise einstellbar ist.

[0013] Diese Aufgabe wird bei dem eingangs genannten induktiven Näherungssensor erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Schwingkreis einen Spulenzweig mit einer Senserspule und einer Referenzspule, welche in Reihe geschaltet sind, umfaßt und einen Widerstandselementenzweig mit Widerstandselementen umfaßt, daß die Senserspule und die Referenzspule mit Widerstandselementen in einer L-R-Brückenschaltung angeordnet sind und daß ein Spannungsabgriff jeweils im Spulenzweig und im Widerstandselementenzweig der L-R-Brückenschaltung vorgesehen ist.

[0014] Bei der erfindungsgemäßen Lösung wird eine L-R-Brückenschaltung eingesetzt, um ein Sensorsignal direkt oder indirekt zu generieren. Über die Brückenschaltung lassen sich die Schwingkreisspannung und eine Spannung am Abgriff zwischen Senserspule und Referenzspule auf einfache Weise vergleichen. Durch die Verwendung einer L-R-Brückenschaltung kann die Empfindlichkeit des Signalhubs bei Annäherung eines Gegenstands aus einem nicht-ferromagnetischen Material in Relation zu einem Gegenstand aus einem ferromagnetischen Material auf einfache Weise durch Anpassung von Widerstandselementen eingestellt werden. Insbesondere kann dadurch ein Näherungssensor bzw. ein Näherungsschalter realisiert werden, welcher die gleiche Empfindlichkeit gegenüber einem Gegenstand aus einem ferromagnetischen Material und nicht-ferromagnetischen Material aufweist ("Faktor 1"-Näherungssensor). Die Anpassung mittels Widerstandselementen ist einfacher und kostengünstiger durchführbar als die Anpassung über Kondensatoren, wie sie bei aus dem Stand der Technik bekannten Schaltungen notwendig ist. Widerstandselemente sind in der Regel platzsparender. Die entsprechende Schaltung läßt sich dann mit geringerem Platzbedarf aufbauen. Über die L-R-Brücke wird der Einfluß von Schwingkreis-kondensatoren verringert. Insbesondere lassen sich Einflußfaktoren entkoppeln, da bei der Schaltungsdimensionierung bezüglich der Signalhubempfindlichkeit die Schwingkreiskondensatoren nicht mehr berücksichtigt werden müssen. Dadurch ergibt sich auch ein definierteres Resonanzverhalten als bei Schaltungen, bei denen eine Kapazitätseinstellung notwendig ist; insbesondere sind Nebenresonanzen weitgehend vermieden.

[0015] Der Platzbedarf läßt sich auch dadurch geringer halten, da weniger Kondensatoren verwendet werden müssen.

[0016] Durch Anordnung der Senserspule und der Referenzspule relativ zueinander, Dimensionierung der Spulen und Dimensionierung der Widerstände kann die Empfindlichkeit auf Buntmetalle in Relation zu der Empfindlichkeit auf ferromagnetische Metalle eingestellt werden.

[0017] Insbesondere ist über die Widerstandselemente ein Spannungsteiler für die Schwingkreisspannung gebildet. Es läßt sich dann eine auf einfach einstellbare Weise verstärkte (insbesondere untersetzte) Schwingkreisspannung auskoppeln, um mit dieser ein Sensorsignal und oder ein Verstärkungssignal zu generieren.

[0018] Günstigerweise erfolgt ein Abgriff einer Brückendiagonalspannung. Über die Parameter der L-R-Brückenschaltung läßt sich der Signalhub für die Brückendiagonalspannung auf einfache Weise einstellen.

[0019] Günstigerweise ist ein Signal in den Schwingkreis eingekoppelt, welches mittels der aus dem Schwingkreis abgegriffenen Spannungen generiert ist. Es läßt sich dadurch ein Oszillator ausbilden, dessen Amplitude sich bei der Bedämpfung verringert, wobei dann aus diesem Amplitudenwert ein Abstandssignal generierbar ist. Bei entsprechender Einstellung der Parameter der L-R-Brückenschaltung wiederum kann so ein Oszillator hergestellt werden, dessen Amplitude sich unabhängig von der Art des metallischen Gegenstandes bei der Bedämpfung um den gleichen Wert ändert.

[0020] Insbesondere entspricht das Einkopplungssignal einer verstärkten Brückendiagonalspannung.

[0021] Wenn das Einkopplungssignal phasenrichtig in den Schwingkreis eingekoppelt wird, läßt sich ein Oszillator bereitstellen, der auch bei der Bedämpfung noch schwingt. Dadurch ist beispielsweise eine einfache Frequenzanpaßbarkeit realisiert.

[0022] Das Einkopplungssignal kann auf verschiedene Weise eingekoppelt werden, beispielsweise über Kapazitätsteiler (Colpitts-Oszillator), Anzapfung (Hartley-Oszillator), induktive Ankopplung mittels eines separaten Wickels (Meißner-Oszillator) oder Direkteinkopplung aus einer Quelle mit hohem Ausgangswiderstand.

[0023] Günstig ist es insbesondere bei Verstärkern mit niedriger Ausgangsimpedanz, wenn das Einkopplungssignal über einen Kapazitätsteiler eingekoppelt ist. Es läßt sich dadurch eine Impedanzanpassung bei der Einkopplung des Einkopplungssignals errei-

chen. Es braucht dann auch keine Anzapfung "auf Spule" vorgesehen werden. Ein entsprechender Oszillator wird als Colpitts-Oszillator bezeichnet.

[0024] Insbesondere umfaßt der Kapazitätsteiler Schwingkreiskondensatoren. Dadurch läßt sich die entsprechende Schaltung einfach gestalten mit verringertem Platzbedarf.

[0025] Es kann beispielsweise auch vorgesehen sein, daß das Einkopplungssignal über einen Transformator eingekoppelt ist (Meißner-Schaltung).

[0026] Eine weitere Möglichkeit ist die Einkopplung des Einkopplungssignals (Rückkopplungssignal) über Anzapfung einer Spule (Hartley-Schaltung; induktive Dreipunktschaltung).

[0027] Günstigerweise ist die Spannung im Spulenzweig zwischen Sensorspule und Referenzspule abgegriffen. Über Anordnung und Dimensionierung von Sensorspule und Referenzspule ist dadurch eine Einstellung der Empfindlichkeit des Signalhubs möglich.

[0028] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die Spannungsabgriffe an die Eingänge eines Verstärkers gekoppelt sind. Über den Verstärker läßt sich eine modifizierte Differenzspannung generieren, über die beispielsweise ein Schaltsignal erzeugbar ist. Es ist auch möglich, die modifizierte Differenzspannung in den Schwingkreis rückzukoppeln. Bei dem Verstärker kann es sich um einen subtrahierenden Verstärker handeln. Ein solcher Verstärker läßt sich auf einfache Weise mittels eines Operationsverstärkers realisieren. Es ergibt sich dadurch ein einfacher Schaltungsaufbau.

[0029] Es ist dann besonders günstig, wenn ein Ausgang des Verstärkers an den Schwingkreis gekoppelt ist. Dadurch ist eben eine Rückkopplung möglich, beispielsweise über eine Colpitts-, Meißner- oder Hartley-Schaltung.

[0030] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die abgegriffenen Spannungen im wesentlichen unabhängig von Schwingkreis Kapazitäten sind; dies ist dadurch erreichbar, daß sie an der L-R-Brückenschaltung abgegriffen werden. Dadurch läßt sich der Einfluß von Schwingkreiskondensatoren gering halten und insbesondere lassen sich Einflußgrößen entkoppeln. Es genügt dann grundsätzlich, nur eine einzige Schwingkreis Kapazität vorzusehen. Dadurch läßt sich der Platzbedarf minimieren und das Resonanzverhalten wird verbessert.

[0031] Insbesondere ist mit Hilfe der Elemente der L-R-Brückenschaltung der Signalhub bei durch Annäherung des Gegenstandes bedämpftem Schwingkreis in Relation zu dem unbedämpften Schwingkreis eingestellt. Diese Einstellung des Signalhubs bezieht

sich dabei auf die Situation, bei welcher der Gegenstand in einem festen Abstand ist. Durch Modifikation der entsprechenden Elemente der L-R-Brückenschaltung kann bei festem Abstand der Signalhub erhöht oder erniedrigt werden.

[0032] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn über die Elemente der L-R-Brückenschaltung die Empfindlichkeit des Näherungssensors auf die Annäherung eines metallischen Gegenstandes aus einem nicht-ferromagnetischen Material im Vergleich zu einem Gegenstand aus ferromagnetischem Material eingestellt ist. Es ist dadurch möglich, die Empfindlichkeit des Näherungssensors auf Buntmetalle zu steuern, wobei es grundsätzlich möglich ist, die Empfindlichkeit im Bereich zwischen deutlich größer als die Empfindlichkeit für ferromagnetische Metalle und deutlich kleiner gegenüber dieser Empfindlichkeit für ferromagnetische Metalle einzustellen.

[0033] Insbesondere sind die Parameter der L-R-Brückenschaltung so eingestellt, daß der Signalhub bei Annäherung eines Gegenstandes im wesentlichen unabhängig vom Material des Gegenstandes ist. Es ist dadurch ein "Faktor 1"-Näherungssensor realisiert, welcher ein Sensorsignal und insbesondere ein Schaltsignal liefert, wenn ein Gegenstand einen bestimmten Abstand erreicht, unabhängig davon, aus welchem Metall der Gegenstand hergestellt ist.

[0034] Insbesondere sind die Widerstandselemente in dem Widerstandselementenzweig so dimensioniert angeordnet und/oder sind die Sensorspule und die Referenzspule so dimensioniert und angeordnet, daß der Signalhub bei Annäherung eines Gegenstandes im wesentlichen unabhängig vom Material des Gegenstandes ist.

[0035] Vorzugsweise ist die Einstellung derart, daß diese sich auf einen weiten Abstandsbereich der Gegenstände bezieht. Wenn mittels eines entsprechenden Näherungssensors (oder Näherungsschalters) nur ein bestimmter Schaltabstand überwacht werden soll, dann ist es günstig, wenn die Einstellung sich auf einen bestimmten Schaltabstand oder einen bestimmten Schaltabstandsbereich bezieht. Innerhalb dieses Bereichs kann dann eine Unabhängigkeit von der Art des metallischen Gegenstandes gewährleistet werden.

[0036] Beispielsweise ist es vorgesehen, daß das erzeugte Sensorsignal ein Schaltsignal ist, welches eben anzeigt, daß der Gegenstand beispielsweise einen bestimmten Mindestabstand erreicht bzw. überschritten oder unterschritten hat.

[0037] Günstigerweise sind die Sensorspule und die Referenzspule so angeordnet, daß sie bei Annäherung des Gegenstandes unterschiedlich bedämpft

sind. Es ist dann auch möglich, über die Anordnung der Spulen die Empfindlichkeit einzustellen.

[0038] Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß eine möglichst weitgehende Entkopplung von Einflußfaktoren erreicht ist.

[0039] Diese Aufgabe wird bei dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß ein Schwingkreisspannungssignal und ein Spulenspannungssignal, welches zwischen der Sensorspule und der Referenzspule abgegriffen wird, einem subtrahierenden Verstärker zugeführt werden.

[0040] Bei dieser Lösung ist eine Frequenzanpassung auf einfache Weise möglich. Es ist ferner möglich, einen Faktor 1-Näherungsschalter zu realisieren, wobei die Realisierung über Verstärkungsfaktoren des subtrahierenden Verstärkers möglich ist. Insbesondere lassen sich Verstärkungsfaktoren über stabile Widerstandselemente einstellen (und nicht über Kondensatoren). Weiterhin läßt sich die Anzahl an Kondensatoren verringern, so daß der Platzbedarf verringert ist.

[0041] Durch die Entkopplung von Einflußfaktoren aufgrund der Reduzierung des Einflusses von Kondensatoren läßt sich auch ein definierteres Resonanzverhalten des Schwingkreises erreichen.

[0042] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens wurden bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Näherungssensor erläutert.

[0043] Insbesondere weist der subtrahierende Verstärker einen invertierenden und einen nichtinvertierenden Zweig auf. Es läßt sich dann eine Differenzspannung bilden, welche auf einfache Weise auswertbar ist bzw. welche auf einfache Weise verstärkbar ist und in den Schwingkreis rückkoppelbar ist.

[0044] Günstigerweise weisen die beiden Zweige bestimmte eingestellte Verstärkungsfaktoren auf. Über Einstellung der Verstärkungsfaktoren läßt sich dann die Empfindlichkeit des Signalhubs einstellen, um so beispielsweise einen Faktor 1-Näherungssensor zu realisieren. Ein Verstärkungsfaktor kann dabei auch einen Wert größer Eins annehmen.

[0045] Günstig ist es, wenn zur Einstellung eines Verstärkungsfaktors mindestens ein Verstärkungselement in dem entsprechenden Zweig vorgesehen wird. Es kann dabei in beiden Zweigen ein solches Verstärkungselement vorgesehen sein oder nur in einem Zweig ein solches Verstärkungselement. (In dem anderen Zweig ist dann der Verstärkungsfaktor Eins.) Es ist dadurch beispielsweise möglich, den Verstärker durch einen digitalen Signalprozes-

sor (DSP) zu realisieren. Die Verstärkungselemente können dabei Teile eines solchen Prozessors sein. Beispielsweise wird für den invertierenden Zweig und den nichtinvertierenden Zweig jeweils ein Analog-Digital-Wandler vorgesehen, so daß die entsprechenden Spannungen in digitale Signale wandelbar sind, die dann entsprechend von dem Prozessor weiterverarbeitet werden können.

[0046] In diesem Zusammenhang ist es insbesondere günstig, wenn die Einstellung des oder der Verstärkungsfaktoren softwaremäßig erfolgt. Dadurch läßt sich die Empfindlichkeit eines induktiven Näherungssensors auf Buntmetalle bezogen auf die Empfindlichkeit gegenüber ferromagnetische Metalle in einem weiten Bereich variieren bzw. einstellen.

[0047] Es kann auch vorgesehen sein, daß der Verstärkungsfaktor des einen Zweigs mit Hilfe eines Widerstandsnetzwerkes eingestellt wird. Es handelt sich dabei insbesondere um den nichtinvertierten Zweig. Widerstandselemente sind stabil und weisen im Vergleich zu Kondensatoren kleinere Bauformen auf. Es läßt sich dadurch eine Schaltung mit geringerem Platzbedarf realisieren. Es ist aber auch grundsätzlich möglich, den Verstärkungsfaktor bei einem entsprechenden Bauteil softwaremäßig einzustellen.

[0048] Es kann vorgesehen sein, daß ein effektiver Verstärkungsfaktor des anderen Zweigs mit Hilfe der Anordnung und Dimensionierung von Sensorspule und Referenzspule eingestellt wird. Der effektive Verstärkungsfaktor ist dabei derjenige Verstärkungsfaktor, welcher zusammen mit dem Verstärkungsfaktor des anderen Zweigs den Signalhub bei Bedämpfung bestimmt. Auch eine softwaremäßige Einstellung ist grundsätzlich möglich.

[0049] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn das Ausgangssignal des subtrahierenden Verstärkers in den Schwingkreis rückgekoppelt wird. Es läßt sich dadurch erreichen, daß der Schwingkreis auch bei Bedämpfung schwingt.

[0050] Insbesondere wird der subtrahierende Verstärker im wesentlichen nicht von einer Schwingkreis-kapazität beeinflusst. Es lassen sich dadurch Einflußfaktoren entkoppeln. Insbesondere ergibt sich ein definierteres Resonanzverhalten.

[0051] Insbesondere wird der subtrahierende Verstärker an eine L-R-Brückenschaltung gekoppelt, bei welcher der Spulenzweig die Sensorspule und die Referenzspule umfaßt. Dadurch läßt sich auf einfache Weise eine Verstärkung und insbesondere Untersetzung der Schwingkreisspannung realisieren.

[0052] Die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen dient im Zusammenhang mit der Zeichnung der näheren Erläuterung der Erfindung.

[0053] Es zeigen:

[0054] [Fig. 1](#) eine schematische Schaltungsanordnung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen induktiven Näherungssensors mit einer L-R-Brückenschaltung;

[0055] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels;

[0056] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels für die Signalrückkopplung mittels einer Meißner-Schaltung;

[0057] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels für die Signalrückkopplung mittels einer Hartley-Schaltung;

[0058] [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung einer Verallgemeinerung des Ausführungsbeispiels gemäß [Fig. 1](#); und

[0059] [Fig. 6](#) eine Variante des Ausführungsbeispiels gemäß [Fig. 5](#) in schematischer Darstellung.

[0060] Ein erfindungsgemäßer induktiver Näherungssensor umfaßt einen Schwingkreis, welcher in einem ersten Ausführungsbeispiel in [Fig. 1](#) mit seinen wesentlichen Elementen gezeigt und als Ganzes mit dem Bezugszeichen **10** bezeichnet ist. Der Schwingkreis **10** umfaßt eine Sensorspule **12** mit Induktivität L_1 und eine in Reihe geschaltete Referenzspule **14** mit Induktivität L_2 . Die beiden Spulen **12** und **14** sind so angeordnet, daß bei Annäherung eines metallischen Gegenstandes an den entsprechenden induktiven Näherungssensor die beiden Spulen **12**, **14** unterschiedlich bedämpft werden.

[0061] Der Schwingkreis **10** weist ferner einen Schwingkreiskondensator **16** mit Kapazität C_1 auf. Dieser Schwingkreiskondensator **16** ist parallel zu der Reihenschaltung der Spulen **12** und **14** angeordnet.

[0062] Weiterhin ist zu der Reihenschaltung der Spulen **12** und **14** ein Widerstandsnetzwerk **18** parallel geschaltet, welches insbesondere als Spannungsteiler ausgebildet ist. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel umfaßt das Widerstandsnetzwerk **18** ein erstes Widerstandselement **20** mit Widerstandswert R_1 und ein zweites Widerstandselement **22** mit Widerstandswert R_2 .

[0063] Die Sensorspule **12** und die Referenzspule **14** sind mit den Widerstandselementen **20**, **22** in einer L-R-Brückenschaltung **24** angeordnet. Das Widerstandsnetzwerk **18** bildet dabei den Widerstandselementenzweig **26** der L-R-Brückenschaltung **24**, und die Sensorspule **12** und die Referenzspule **14** bil-

den den Spulenzweig **28** der L-R-Brückenschaltung **24**.

[0064] Der Widerstandselementenzweig **26** ist als Spannungsteiler ausgebildet. An ihm läßt sich eine Schwingkreisspannung U (Oszillatorspannung) entsprechend dem Verhältnis der Widerstandswerte R_1 und R_2 untersetzt abgreifen. Zum Abgriff dieser Spannung U_1 ist ein Spannungsabgriff **30** vorgesehen, welcher galvanisch an eine Leitung zwischen den Widerstandselementen **20** und **22** gekoppelt ist.

[0065] Ferner ist ein Spannungsabgriff **32** vorgesehen, welcher galvanisch an eine Leitung zwischen der Sensorspule **12** und der Referenzspule **14** gekoppelt ist.

[0066] Die Differenzspannung $U_a = U_1 - U_2$ (Querspannung) zwischen den Spannungsabgriffen **30** und **32** ist eine Brückendiagonalspannung der L-R-Brückenschaltung **24**.

[0067] Diese Differenzspannung ist beispielsweise einem Differenzverstärker **34** (subtrahierenden Verstärker) zugeführt. Dazu sind die Spannungsabgriffe **30** und **32** an entsprechende Eingänge **36**, **38** des Verstärkers **34** gekoppelt. Die Verwendung eines subtrahierenden Verstärkers ist jedoch nicht zwingend.

[0068] Ein Ausgang **40** des Verstärkers **34** stellt ein verstärktes (Differenz-)Signal bereit. Dieses läßt sich, wie unten noch näher erläutert wird, in den Schwingkreis **10** rückkoppeln, um einen Oszillator zu bilden.

[0069] Wenn sich ein metallischer Gegenstand dem induktiven Näherungssensor mit dem Schwingkreis **10** nähert, dann führt dies zu einer Bedämpfung der Spulen **12**, **14**, wobei aufgrund deren entsprechender Anordnung und Ausbildung die Bedämpfung der beiden Spulen **12**, **14** unterschiedlich ist. Aus einem entsprechenden Signal des Schwingkreises **10** kann der Abstand und insbesondere ein Schaltabstand des bedämpften Gegenstandes ermittelt werden. Dadurch wiederum läßt sich ein Sensorsignal und insbesondere ein Schaltsignal generieren, beispielsweise in der Art, daß bei Erreichen eines bestimmten Abstandswertes ein digitales Schaltsignal ausgegeben wird.

[0070] Die Beeinflussung des Schwingkreises **10** durch den angenäherten Gegenstand hängt grundsätzlich davon ab, aus welchem (metallischen) Material der Gegenstand hergestellt ist. Ferromagnetische Metalle verursachen in der Regel starke Güteänderungen (Änderungen im Q-Wert) und geringe Induktivitätsänderungen. Buntmetalle verursachen schwächere Güteänderungen und stärkere Induktivitätsänderungen als ferromagnetische Metalle.

[0071] Bei Normschaltabständen und erhöhten Schaltabständen ist die Güteänderung größer als die Induktivitätsänderung. Die erwähnten Änderungen gelten mindestens bei Schwingungsfrequenzen des Schwingkreises **10**, welche zwischen einigen Hundert kHz und einigen MHz liegen.

[0072] In der EP 0 537 747 A2 sind Diagramme mit entsprechenden Materialabhängigkeiten gezeigt.

[0073] Wenn der Schwingkreis **10** mit einem Strom I mit einer Frequenz entsprechend der Resonanzfrequenz des Schwingkreises **10** gespeist wird, dann haben die Spannungen U_1 , U_2 und U die gleiche Phase. Diese Speisung des Schwingkreises **10** ist in **Fig. 1** durch den Zweig mit dem Bezugszeichen **42** symbolisch angedeutet. (Eine solche Speisung läßt sich durch die Rückkopplung eines verstärkten Differenz-Ausgangssignals erzielen. Dies wird unten im Zusammenhang mit **Fig. 2** noch näher beschrieben.)

[0074] Es gilt dann folgende Beziehung zwischen der Schwingkreisspannung U , dem Strom I , der Kennimpedanz Z des Schwingkreises **10** und der Gesamtgüte Q :

$$U = I \cdot Z \cdot Q(L_1, L_2).$$

[0075] Die Gesamtgüte Q ist dabei bestimmt durch die Gesamtinduktivität und den Gesamtverlustwiderstand des Schwingkreises **10**, das heißt durch die Reihenschaltung der Sensorspule **12** und der Referenzspule **14**.

[0076] Die Spannung U_1 ergibt sich als $U_1 = k_1 \cdot U$, wobei

$$k_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)^{-1}.$$

[0077] Auf ähnliche Weise ergibt sich die Spannung U_2 als $U_2 = k_2 \cdot U$, wobei

$$k_2 = \frac{L_2}{L_1 + L_2} = \left(1 + \frac{L_1}{L_2}\right)^{-1}.$$

[0078] Wenn bei Annäherung eines Gegenstands mindestens eine der Spulen **12**, **14** bedämpft wird als die andere, dann ergibt sich eine neue Gesamtgüte $Q' = a \cdot Q$. Der Faktor a bestimmt den Dämpfungseinfluß des angenäherten metallischen Gegenstandes, d. h. gibt das Maß der Änderung der Gesamtgüte an. Für einen bestimmten Gegenstand ist der Faktor a abhängig von dem Abstand zwischen dem Gegenstand und den Spulen **12**, **14**.

[0079] Bei bedämpftem Schwingkreis ist die Schwingkreisspannung, $U' = I \cdot Z \cdot Q' = I \cdot Z \cdot a \cdot Q = a \cdot U$. In

diesem Fall ergibt sich dann bei angenähertem Gegenstand die Spannung U_1' zu $U_1' = k_1 \cdot U' = k_1 \cdot a \cdot U$. Die Induktivitäten L_1 und L_2 ändern sich bei angenähertem Gegenstand in L_1' und L_2' , so daß sich ein modifizierter Parameter

$$k_2' = \frac{L_2'}{L_1' + L_2'} = b \cdot k_2$$

ergibt.

[0080] Die Spannung U_2' ergibt sich dann zu $U_2' = k_2' \cdot U' = k_2 \cdot b \cdot U' = k_2 \cdot a \cdot b \cdot U$.

[0081] Der Signalhub, das heißt das Verhältnis der Brückendiagonalspannungen im bedämpften Zustand (U_a') und im unbedämpften Zustand (U_a) ergibt sich dann zu

$$U_a' / U_a = \frac{U_1' - U_2'}{U_1 - U_2} = \frac{k_1 - k_2 \cdot b}{k_1 - k_2} \cdot a.$$

[0082] Der Faktor b ist ein Maß der Veränderung des Verhältnisses $L_1/(L_1 + L_2)$ durch Induktivitätsänderung der Spulen **12**, **14** bei Annäherung des metallischen Gegenstands und damit ein Maß für die Änderung des Parameters k_2 . Wenn die Spulen **12** und **14** ungleich bedämpft werden, dann ändert sich das Verhältnis der Induktivitäten L_1 und L_2 . b ist insbesondere ein Maß der Änderung des Verhältnisses $L_1/(L_1 + L_2)$ durch Induktivitätsveränderung der Spulen **12**, **14** bei Annäherung des metallischen Gegenstandes und damit ein Maß für die Änderung des Faktors k_2 .

[0083] Die Parameter k_1 und k_2 der L-R-Brückenschaltung **24** sind unabhängig voneinander. k_1 wird durch den Spannungsteiler **26** (das Widerstandsnetzwerk **18**) eingestellt. Dieser Parameter läßt sich also über Dimensionierung von Widerstandselementen **20**, **22** einstellen.

[0084] Der Parameter k_2 wird über das Verhältnis der Induktivitäten L_1 und L_2 von Sensorspule **12** und Referenzspule **14** eingestellt.

[0085] Über die Parameter k_1 und k_2 läßt sich der Signalhub einstellen. Insbesondere läßt sich die Empfindlichkeit des induktiven Näherungssensors bei Annäherung eines Gegenstandes aus einem nicht-ferromagnetischen Metall bezüglich des Vergleichsfalles eines ferromagnetischen Metalls einstellen.

[0086] Da ferromagnetische Metalle keine oder nur eine sehr kleine Induktivitätsänderung bewirken, ist in diesem Fall der Faktor b in der obigen Formel für den Signalhub dicht bei Eins. Dementsprechend ist der Signalhub bei ferromagnetischen Metallen im wesentlichen durch den Faktor a bestimmt.

[0087] Für Metalle, bei denen b (das heißt die Induktivitätsänderung) nicht mehr vernachlässigbar ist (d. h. sich deutlich von Eins unterscheidet), kann durch Wahl der Parameter k_1 und k_2 und Anordnung der Sensorspule **12** und Referenzspule **14** relativ zueinander (einschließlich der Wahl, welche der Spulen **12**, **14** als Referenzspule und als Sensorspule dienen soll) der Signalhub im Vergleich zu einem ferromagnetischen Material (bei gleichem Abstand zu dem Schwingkreis **10**) verstärkt oder abgeschwächt werden. Beispielsweise wird die Auswirkung der Induktivitätsänderung (ausgedrückt durch den Faktor b) um so stärker wirken, je weniger die Parameter k_1 und k_2 sich unterscheiden.

[0088] Es ist nun möglich, die Parameter k_1 und k_2 unter Berücksichtigung von a und b so zu wählen, daß der Signalhub für Buntmetalle und ferromagnetische Metalle bezogen auf den gleichen Abstand im wesentlichen gleich ist. Man erhält dann einen sogenannten "Faktor 1"-Näherungssensor, welcher ein Schaltsignal bei Erreichen eines bestimmten Abstands durch den Gegenstand generiert, welches unabhängig von dem Material des Gegenstands ist. Durch entsprechende Wahl der Parameter k_1 und k_2 insbesondere in Zusammenhang mit einer entsprechenden Anordnung der Sensorspule **12** und der Referenzspule **14** zueinander (was den Faktor a und b beeinflusst), läßt sich somit ein "Faktor 1"-Näherungsschalter realisieren. Insbesondere erfolgt die Einstellung auf einen bestimmten Schaltabstand. (Die Faktoren a und b sind grundsätzlich abhängig von dem Abstand des Gegenstands zu dem Schwingkreis **10**.)

[0089] Die Einstellbarkeit ist im wesentlichen unabhängig von der Frequenz des Schwingkreises **10**. Der Signalhub läßt sich anpassen, ohne daß ein Kondensatorelement angepaßt wird; die Einstellbarkeit ist über die Einstellung von Widerstandswerten von Widerstandselementen **20**, **22** erreichbar. Dadurch wird der Einfluß der Schwingkreiskapazität auf den Signalgang erniedrigt. Eine entsprechende Schaltung läßt sich im Vergleich zu bekannten Schaltungen kleiner ausgestalten, da Widerstandselemente in kleinerer Bauform und auch mit niedrigerem Temperaturbeiwert erhältlich sind als Kondensatoren. Es genügt auch, nur einen Schwingkreiskondensator vorzusehen. Es hat sich auch gezeigt, daß die Brückenschaltung **24** dem Schwingkreis **10** ein definierteres Resonanzverhalten gibt mit weniger Nebenresonanzen im Vergleich zu einer L-C-Brückenschaltung. Aufgrund des definierten Resonanzverhaltens lassen sich auch externe Störungseinflüsse minimieren.

[0090] Über das Widerstandsnetzwerk **18** läßt sich auch die Eingangsimpedanz für den Verstärker **34** anpassen.

[0091] Insgesamt ergibt sich durch die Entkopplung von Einflußfaktoren eine bessere Vorhersagbarkeit

für das Verhalten des Schwingkreises **10** und insbesondere ein definierteres Resonanzverhalten.

[0092] Es ist grundsätzlich vorgesehen, daß an dem Ausgang **40** eine verstärkte Differenzspannung U_q bereitgestellt wird und diese phasenrichtig dem Schwingkreis **10** zugeführt wird. Diese Rückkopplung mit der "richtigen" Frequenz und "richtigen" Phase hat die gleiche Wirkung wie der Zweig **42**. Bei Einstellung eines "Faktor 1" verringert sich die Amplitude des Schwingkreises **10** bei der Rückkopplung bei der Bedämpfung unabhängig von dem angenäherten Gegenstand um den gleichen Betrag.

[0093] In **Fig. 2** ist eine Schaltungsanordnung **44** gezeigt, welche im Grundprinzip der Schaltungsanordnung gemäß **Fig. 1** entspricht:

Eine Sensorspule **46** (entsprechend der Spule **12** gemäß **Fig. 1**) und eine Referenzspule **48** (entsprechend der Referenzspule **14**) sind in Reihe gehalten. Diese beiden Spulen **46**, **48** bilden einen Spulenzweig **50** einer L-R-Brückenschaltung. Die L-R-Brückenschaltung umfaßt ferner einen Widerstandselementenzweig **52** mit einem ersten Widerstandselement **54** und einem zweiten Widerstandselement **56**; diese Widerstandselemente **54**, **56** entsprechen den Widerstandselementen **20** und **22**.

[0094] Ferner ist eine als Ganzes mit **58** bezeichnete Schwingkreiskapazität vorgesehen. In dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** umfaßt die Schwingkreiskapazität einen ersten Kondensator **60** und einen zweiten Kondensator **62**, welche in Reihe geschaltet sind. Durch diese beiden Kondensatoren **60**, **62** ist ein Kapazitätsteiler **64** gebildet. Es läßt sich über diesen Kapazitätsteiler **64** eine verstärkte Differenz-Ausgangsspannung in den entsprechenden Schwingkreis **66** unter Impedanzanpassung einkoppeln.

[0095] Es ist ferner ein subtrahierender Verstärker **67** (entsprechend dem Verstärker **34**) vorgesehen. Dieser weist einen nichtinvertierenden Zweig **68** und einen invertierenden Zweig **70** auf. Der nichtinvertierende Zweig **68** ist galvanisch an den Widerstandselementenzweig **52** (den Spannungsteiler) gekoppelt, das heißt er empfängt die Spannung U_1 als Eingangssignal.

[0096] Der invertierende Zweig **70** ist galvanisch an die Sensorspule **46** gekoppelt, das heißt der Verstärker **67** empfängt als Eingangssignal im invertierenden Zweig **70** die Spannung U_2 .

[0097] Einen entsprechenden Eingang **72** des Verstärkers **67**, welcher beispielsweise als Operationsverstärker ausgebildet ist, kann dabei ein Widerstandselement **74** vorgeschaltet sein.

[0098] Ein Ausgang **76** des Verstärkers **67** ist an den Kapazitätsteiler **64** gekoppelt (Colpitts-Schaltung). Dadurch ist eine kapazitive Dreipunktschaltung bereitgestellt. Es können dabei ein oder mehrere Widerstandselemente **78** vorgesehen sein. Es läßt sich dann ein verstärktes Ausgangssignal in den Schwingkreis **66** rückkoppeln, um so insbesondere einen Abreißoszillator bereitzustellen, bei welchem eine Frequenzanpassung auf einfache Weise möglich ist; insbesondere muß kein Verstimmungskondensator vorgesehen werden. Die Einkopplung erfolgt dabei zwischen den Kondensatoren **60** und **62**. Dadurch ist eine Impedanzanpassung für die Einkopplung möglich.

[0099] Eine Auswerteeinrichtung **80** ist an den Schwingkreis **66** beispielsweise über Widerstandselemente **82**, **84** sowie eine Diode **86** eingangseitig gekoppelt. Die Auswerteeinrichtung **80** empfängt ein Amplitudensignal des Schwingkreises **66** und kann daraus beispielsweise ein Schaltsignal generieren, welches an einem Ausgang **88** bereitgestellt ist. Durch entsprechende Einstellung der Parameter k_1 und k_2 sowie durch Anordnung und Dimensionierung der Spulen **46** und **48** relativ zueinander kann, wie oben beschrieben, ein "Faktor 1"-Näherungsschalter realisiert werden, bei dem sich die Amplitude des Schwingkreises **66** bei der Dämpfung mittels eines angenäherten Gegenstandes im wesentlichen um den gleichen Betrag verändert, unabhängig davon, ob der Gegenstand aus einem ferromagnetischen Metall oder aus einem Buntmetall hergestellt ist.

[0100] Die Schaltungsanordnung gemäß **Fig. 2** weist die bereits oben im Zusammenhang mit der Schaltungsanordnung gemäß **Fig. 1** erläuterten Vorteile auf.

[0101] Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** ist ein Colpitts-Oszillator gebildet, bei dem die Rückkopplung über eine kapazitive Dreipunktschaltung erfolgt. Der Kapazitätsteiler **64** (kapazitiver Spannungsteiler) bestimmt den Bruchteil der mitgekoppelten Spannung.

[0102] Es ist beispielsweise auch möglich, das Einkopplungssignal (Rückkopplungssignal) transformatorisch einzukoppeln, so daß ein Meißner-Oszillator gebildet ist. Dies ist schematisch in **Fig. 3** gezeigt: Die in der Schaltung gemäß **Fig. 3** gezeigten Massensymbole beziehen sich auf Signalmassen, die mit der Gleichstrommasse der Schaltung nicht identisch sein müssen. Ein Schwingkreis **150** umfaßt eine Sensorspule **152** und eine Referenzspule **154** sowie eine Schwingkreis Kapazität **156**. Die Spulen **152**, **154** sind mit Widerstandselementen **158**, **159** wie oben beschrieben in einer L-R-Brückenschaltung angeordnet, wobei ein Spannungsabgriff im Spulenzweig und im Widerstandselementenzweig der L-R-Brückenschaltung vorgesehen ist. Die Spannungsab-

griffe sind an die jeweiligen Eingänge eines Verstärkers und insbesondere subtrahierenden Verstärkers **160** gekoppelt. Ein Ausgang **162** des Verstärkers **162** ist an eine Spule **164** gekoppelt. Diese wiederum kann induktiv an den Schwingkreis **150** über die Sensorspule **152** und/oder Referenzspule **154** koppeln.

[0103] Es ist beispielsweise auch möglich, wie in **Fig. 4** schematisch gezeigt, die Rückkopplung über Anzapfung der Sensorspule **152** oder Referenzspule **154** zu bewirken. (Bei der Schaltung gemäß **Fig. 4** sind die gleichen Bauelemente wie bei der Schaltung gemäß **Fig. 3** mit dem gleichen Bezugszeichen versehen.)

[0104] Der Ausgang **162** des Verstärkers **160** führt zu der entsprechenden Spule **152**, **154**, das heißt der Rückkopplungssignal-Übertrager ist die entsprechende Spule mit Anzapfung. Die entsprechende Schaltung ist eine induktive Dreipunktschaltung und wird auch als Hartley-Schaltung bezeichnet.

[0105] Wie erwähnt, kann die Anzapfung an der Sensorspule **152** oder der Referenzspule **154** erfolgen. (In **Fig. 4** ist die Anzapfung anhand der Spule **154** gezeigt.)

[0106] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung, welche in **Fig. 5** als Ganzes mit **90** bezeichnet ist, ist wiederum eine Sensorspule **92** und eine Referenzspule **94** vorgesehen. Zu der Reihenschaltung dieser beiden Spulen **92**, **94** ist ein Schwingkreis Kondensator **96** parallel geschaltet.

[0107] Es ist ein als Ganzes mit **98** bezeichneter subtrahierender Verstärker vorgesehen. Dieser subtrahierende Verstärker **98** weist einen nichtinvertierenden Zweig **100** und einen invertierenden Zweig **102** auf. Der nichtinvertierende Zweig **100** empfängt die Oszillatorspannung U gewichtet, und insbesondere gewichtet um einen Faktor k_1^* (siehe unten) bzw. gewichtet die Oszillatorspannung. Dazu ist ein Verstärkungselement **104** vorgesehen.

[0108] Der invertierende Zweig **102** ist zwischen den Spulen **92** und **94** angeschlossen und weist ein Verstärkungselement **106** (mit Verstärkungsfaktor k_2^*) auf.

[0109] Das Verstärkungselement **104** im nichtinvertierenden Zweig **100** bewirkt eine Verstärkung um den Faktor k_1^* und das Verstärkungselement **106** im invertierenden Zweig bewirkt eine Verstärkung um den Faktor k_2^* . Demgemäß ergibt sich als Differenzspannung $U_a = k_1^* U_1 - k_2^* U_2$.

[0110] Wenn wiederum davon ausgegangen wird, daß der Schwingkreis mit einem Strom I mit einer Frequenz entsprechend der Resonanzfrequenz des

Schwingkreises gespeist wird, dann haben die Spannungen U , U_1 und U_2 die gleiche Phase. Es gilt dann

$$U_1 = I \cdot Z \cdot Q$$

und

$$U_2 = U_1 \frac{L_2}{L_1 + L_2} = k_2 \cdot U_1.$$

[0111] Bei Annäherung eines Gegenstandes und Bedämpfung des Schwingkreises gilt

$$U_1' = I \cdot Z \cdot Q \cdot a = a \cdot U_1$$

und

$$U_2' = k_2 \cdot a \cdot b \cdot U_1.$$

[0112] Der Faktor a erfährt dabei die Änderung der Gesamtgüte aufgrund Annäherung des Gegenstandes und der Faktor b erfährt die Änderung des Verhältnisses L_1/L_2 aufgrund unterschiedlicher Bedämpfung der Spulen **92** und **94**.

[0113] Als Signalhub

$$\frac{U_a'}{U_a}$$

ergibt sich dann

$$\frac{U_a'}{U_a} = \frac{k_1^* U_1' - k_2^* U_2'}{k_1^* U_1 - k_2^* U_2} = a \frac{k_1^* - b \cdot k_2^* \cdot k_2}{k_1^* - k_2^* \cdot k_2}.$$

[0114] Wenn als effektive Verstärkungsfaktoren $k_1^* = k_1$ und $k_2^* = 1$ gewählt werden, dann ergeben sich die oben im Zusammenhang mit **Fig. 1** aufgestellten Formeln. Das Widerstandsnetzwerk **18** ist demnach eine spezielle Realisierung eines Spannungsabgriffs der Oszillatorspannung U mit Verstärkungsfaktor k_1 und die Verbindung zwischen dem Abgriff **32** und den Spulen **12**, **14** eine spezielle Realisierung eines Spannungsabgriffs mit Verstärkungsfaktor **1**. Der dem subtrahierenden Verstärker **98** gemäß **Fig. 5** entsprechende Funktionsteil ist in **Fig. 1** mit gestrichelten Linien gezeigt und dort ebenfalls mit **98** bezeichnet, sofern ein subtrahierender Verstärker bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 1** eingesetzt wird.

[0115] Das Verstärkungselement **104** des subtrahierenden Verstärkers **98** entspricht dem Widerstandsnetzwerk **18**. Das Verstärkungselement **106** ist bei der Schaltungsanordnung gemäß **Fig. 1** nicht realisiert.

[0116] Wie oben erwähnt, ist es günstig, wenn die verstärkte Differenzspannung U_a phasengleich in den

Schwingkreis zurückgekoppelt wird, um so einen Abreißoszillator bereitzustellen.

[0117] Ansonsten funktioniert die Schaltungsanordnung gemäß **Fig. 5** wie oben beschrieben.

[0118] Der Verstärker **98** kann beispielsweise auch durch einen digitalen Signalprozessor (DSP) realisiert sein. In ihm lassen sich dann beispielsweise die Verstärkungsfaktoren k_1^* und k_2^* softwaremäßig einstellen. Dazu sind beispielsweise jedem Zweig **100**, **102** A/D-Wandler zugeordnet, welche die entsprechenden analogen Spannungssignale in digitale Signale wandeln, die dann von dem DSP weiterverarbeitet werden können.

[0119] Es ist auch grundsätzlich möglich, daß anstatt getrennter A/D-Wandler für jeden Zweig ein einziger A/D-Wandler **108**, wie in **Fig. 6** schematisch gezeigt, vorgesehen ist. Dieser ist einem DSP **110** vorgeschaltet. Der A/D-Wandler **108** wiederum ist an einen Umschalter **112** gekoppelt, mittels welchem zwischen den beiden Spannungsabgriffen (Spannung U_1 und U_2) umschaltbar ist. Der Umschalter **112** ist an den DSP gekoppelt (angedeutet durch die Verbindung **114**), so daß der DSP **110** die Umschaltung bewirken kann.

[0120] Bei dieser Lösung lassen sich Fehler, die sich aus den Toleranzen zweier A/D-Wandler ergeben können, vermeiden, da nur noch ein einziger A/D-Wandler, nämlich der A/D-Wandler **108**, vorgesehen werden muß. Der elektronische Umschalter **112** schaltet zwischen den beiden Spannungen um. Dadurch läßt sich das Schwingkreisspannungssignal und das Spulenspannungssignal alternierend in dem A/D-Wandler **108** digitalisieren.

[0121] Durch die Digitalisierung des Schwingkreisspannungssignals und des Spulenspannungssignals über den A/D-Wandler **108** oder über getrennte A/D-Wandler kann ein entsprechend programmierter DSP als Verstärker und insbesondere als subtrahierender Verstärker eingesetzt werden, durch welchen dann die digitalisierten Signale verarbeitbar sind.

Patentansprüche

1. Induktiver Näherungssensor, umfassend einen durch Annäherung eines metallischen Gegenstandes beeinflussbaren Schwingkreis (**10**; **66**) und eine Auswerteeinrichtung (**80**) zur Erzeugung eines Sensorsignals, wobei der Schwingkreis (**10**; **66**) einen Spulenzweig (**28**) mit einer Senserspule (**12**; **92**) und einer Referenzspule (**14**; **94**), welche in Reihe geschaltet sind, umfaßt und einen Widerstandselementenzweig (**26**) mit Widerstandselementen (**20**, **22**; **54**, **56**) umfaßt, daß die Senserspule (**12**; **92**) und die Referenzspule (**14**; **94**) mit Widerstandselementen (**20**, **22**; **54**, **56**) in einer L-R-Brückenschaltung (**24**) angeordnet

sind und daß ein Spannungsabgriff (**30; 32**) jeweils im Spulenzweig (**28**) und im Widerstandselementenzweig (**26**) der L-R-Brückenschaltung (**24**) vorgesehen ist.

2. Induktiver Näherungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß über die Widerstandselemente (**20, 22; 54, 56**) ein Spannungsteiler für die Schwingkreisspannung gebildet ist.

3. Induktiver Näherungssensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Abgriff einer Brückendiagonalspannung (U_a) erfolgt.

4. Induktiver Näherungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Signal in den Schwingkreis (**10; 66**) eingekoppelt ist, welches mittels der aus dem Schwingkreis (**10; 66**) abgegriffenen Spannungen (U_1, U_2) generiert ist.

5. Induktiver Näherungssensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Einkopplungssignal einer verstärkten Brückendiagonalspannung entspricht.

6. Induktiver Näherungssensor nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Einkopplungssignal phasenrichtig in den Schwingkreis (**10; 66**) eingekoppelt ist.

7. Induktiver Näherungssensor nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Einkopplungssignal über einen Kapazitätsteiler (**64**) eingekoppelt ist.

8. Induktiver Näherungssensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Kapazitätsteiler (**64**) Schwingkreiskondensatoren (**60, 62**) umfaßt.

9. Induktiver Näherungssensor nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Einkopplungssignal über einen Transformator eingekoppelt ist.

10. Induktiver Näherungssensor nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Einkopplungssignal über Anzapfung einer Spule (**154**) eingekoppelt ist.

11. Induktiver Näherungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannung im Spulenzweig (**28**) zwischen Sensorspule (**12**) und Referenzspule (**14**) abgegriffen ist.

12. Induktiver Näherungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungsabgriffe an die Eingänge eines Verstärkers (**34; 67**) gekoppelt sind.

13. Induktiver Näherungssensor nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ausgang (**40; 76**) des Verstärkers (**34; 67**) an den Schwingkreis (**10; 66**) gekoppelt ist.

14. Induktiver Näherungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die abgegriffenen Spannungen U_1, U_2 im wesentlichen unabhängig von den Schwingkreis Kapazitäten sind.

15. Induktiver Näherungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mit Hilfe der Elemente (**12, 14, 20, 22**) der L-R-Brückenschaltung (**24**) der Signalhub (U_a'/U_a) bei durch Annäherung des Gegenstandes bedämpftem Schwingkreis (**10; 66**) in Relation zu dem unbedämpften Schwingkreis (**10; 66**) eingestellt ist.

16. Induktiver Näherungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß über die Elemente (**12, 14, 20, 22**) der L-R-Brückenschaltung (**24**) die Empfindlichkeit des Näherungssensors auf die Annäherung eines metallischen Gegenstandes aus einem nicht-ferromagnetischen Material im Vergleich zu einem Gegenstand aus ferromagnetischem Material eingestellt ist.

17. Induktiver Näherungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Parameter (k_1, k_2) der L-R-Brückenschaltung (**24**) so eingestellt sind, daß der Signalhub (U_a'/U_a) bei Annäherung eines Gegenstandes im wesentlichen unabhängig vom Material des Gegenstandes ist.

18. Induktiver Näherungssensor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstandselemente (**20, 22; 54, 56**) in dem Widerstandselementenzweig (**26; 52**) so dimensioniert und angeordnet sind, daß der Signalhub (U_a'/U_a) bei Annäherung eines Gegenstandes im wesentlichen unabhängig vom Material des Gegenstandes ist.

19. Induktiver Näherungssensor nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorspule (**12; 46**) und die Referenzspule (**14; 48**) so dimensioniert und angeordnet sind, daß der Signalhub (U_a'/U_a) bei Annäherung eines Gegenstandes im wesentlichen unabhängig vom Material des Gegenstandes ist.

20. Induktiver Näherungssensor nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung sich auf einen bestimmten Schaltabstand oder Schaltabstandsbereich bezieht.

21. Induktiver Näherungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

net, daß das erzeugte Sensorsignal ein Schaltsignal ist.

wird, bei welcher der Spulenzweig die Sensorspule und die Referenzspule umfaßt.

22. Induktiver Näherungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorspule (12; 46) und die Referenzspule (14; 48) so angeordnet sind, daß sie bei Annäherung des Gegenstandes unterschiedlich bedämpft sind.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

23. Verfahren zur Signalgewinnung bei einem induktiven Näherungssensor, welcher einen Schwingkreis mit einer Sensorspule und einer Referenzspule umfaßt, wobei ein Schwingkreisspannungssignal und ein Spulenspannungssignal, welches zwischen der Sensorspule und der Referenzspule abgegriffen wird, einem subtrahierenden Verstärker zugeführt werden.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der subtrahierende Verstärker einen invertierenden und einen nichtinvertierenden Zweig aufweist.

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Zweige bestimmte eingestellte Verstärkungsfaktoren aufweisen.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß zur Einstellung eines Verstärkungsfaktors mindestens ein Verstärkungselement in dem entsprechenden Zweig vorgesehen ist.

27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung des Verstärkungsfaktors softwaremäßig erfolgt.

28. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärkungsfaktor des einen Zweigs mit Hilfe eines Widerstandsnetzwerkes eingestellt wird.

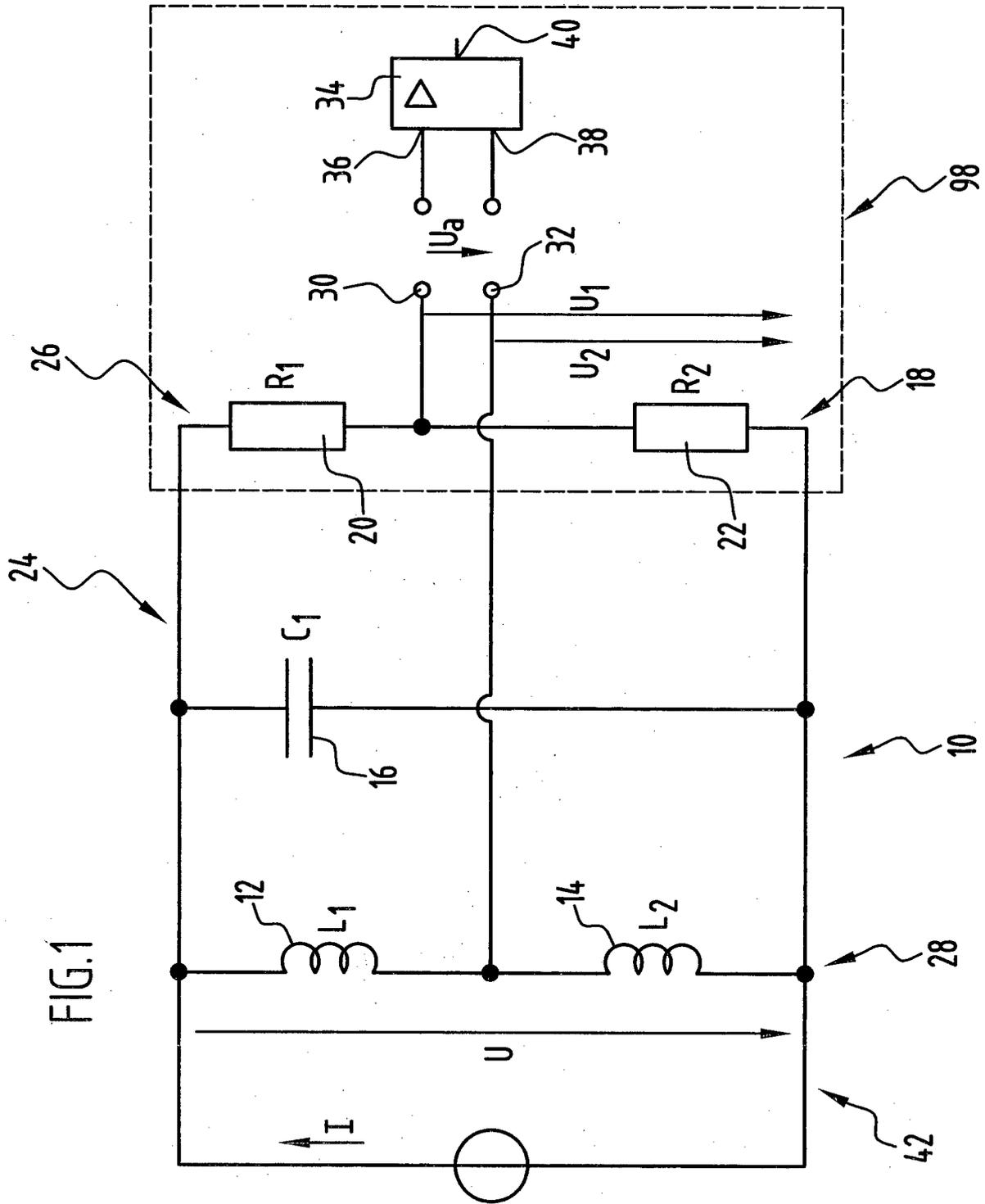
29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärkungsfaktor des nichtinvertierenden Zweigs über ein Widerstandsnetzwerk eingestellt wird.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ausgangssignal des subtrahierenden Verstärkers in den Schwingkreis rückgekoppelt wird.

31. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß der subtrahierende Verstärker im wesentlichen nicht beeinflusst wird von einer Schwingkreiskapazität.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß der subtrahierende Verstärker an eine L-R-Brückenschaltung gekoppelt

Anhängende Zeichnungen



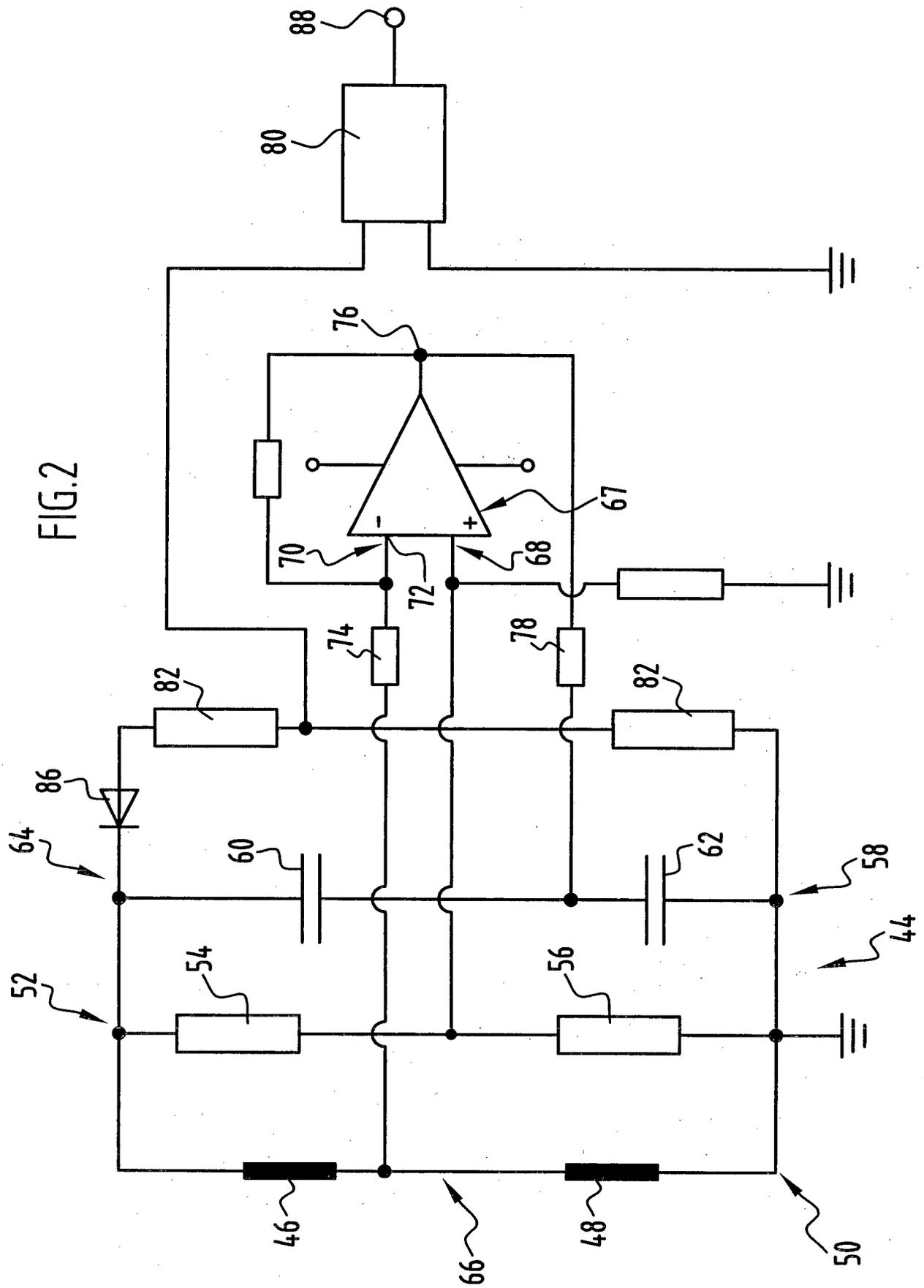


FIG.3

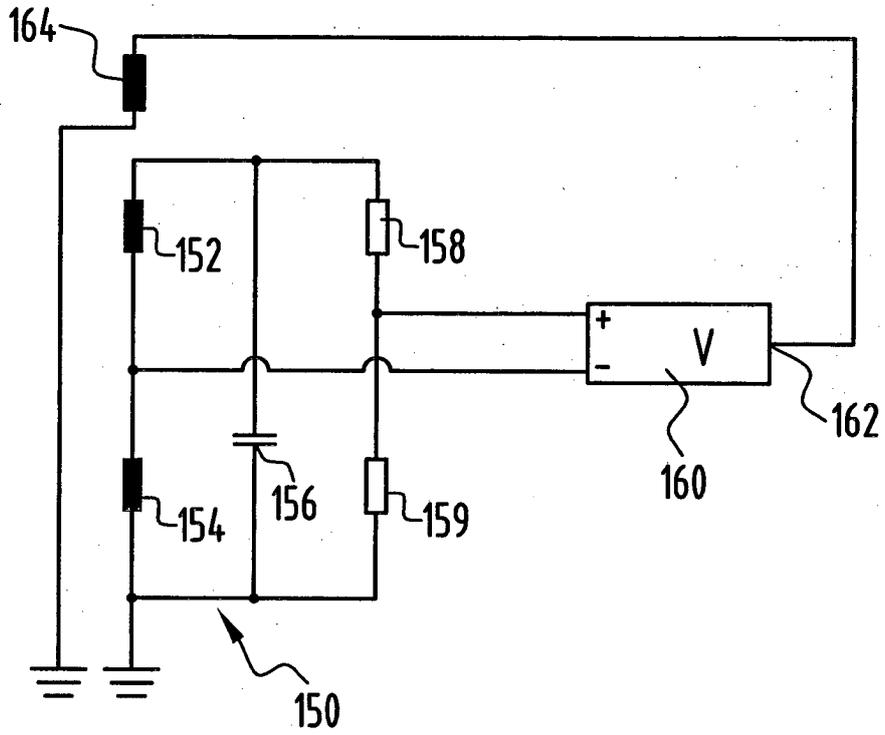
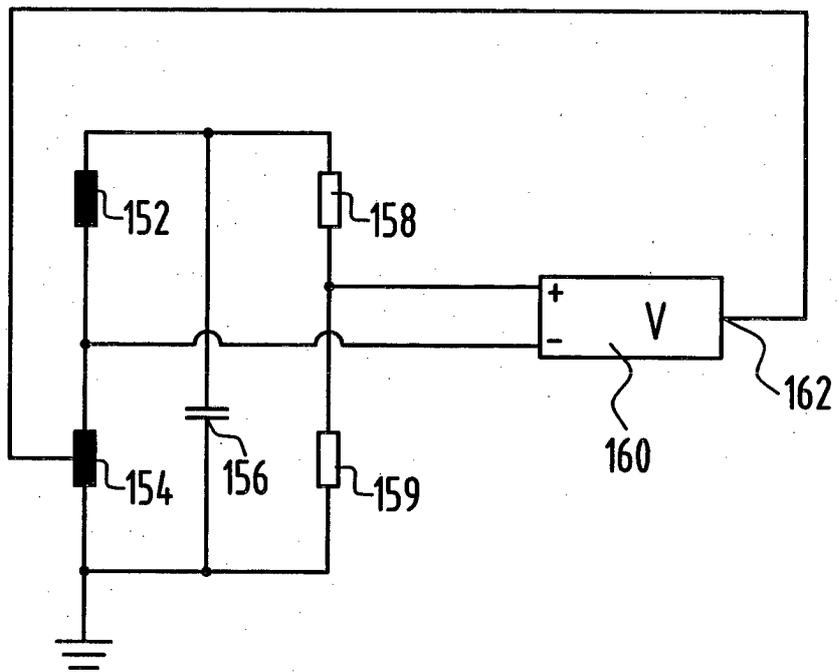


FIG.4



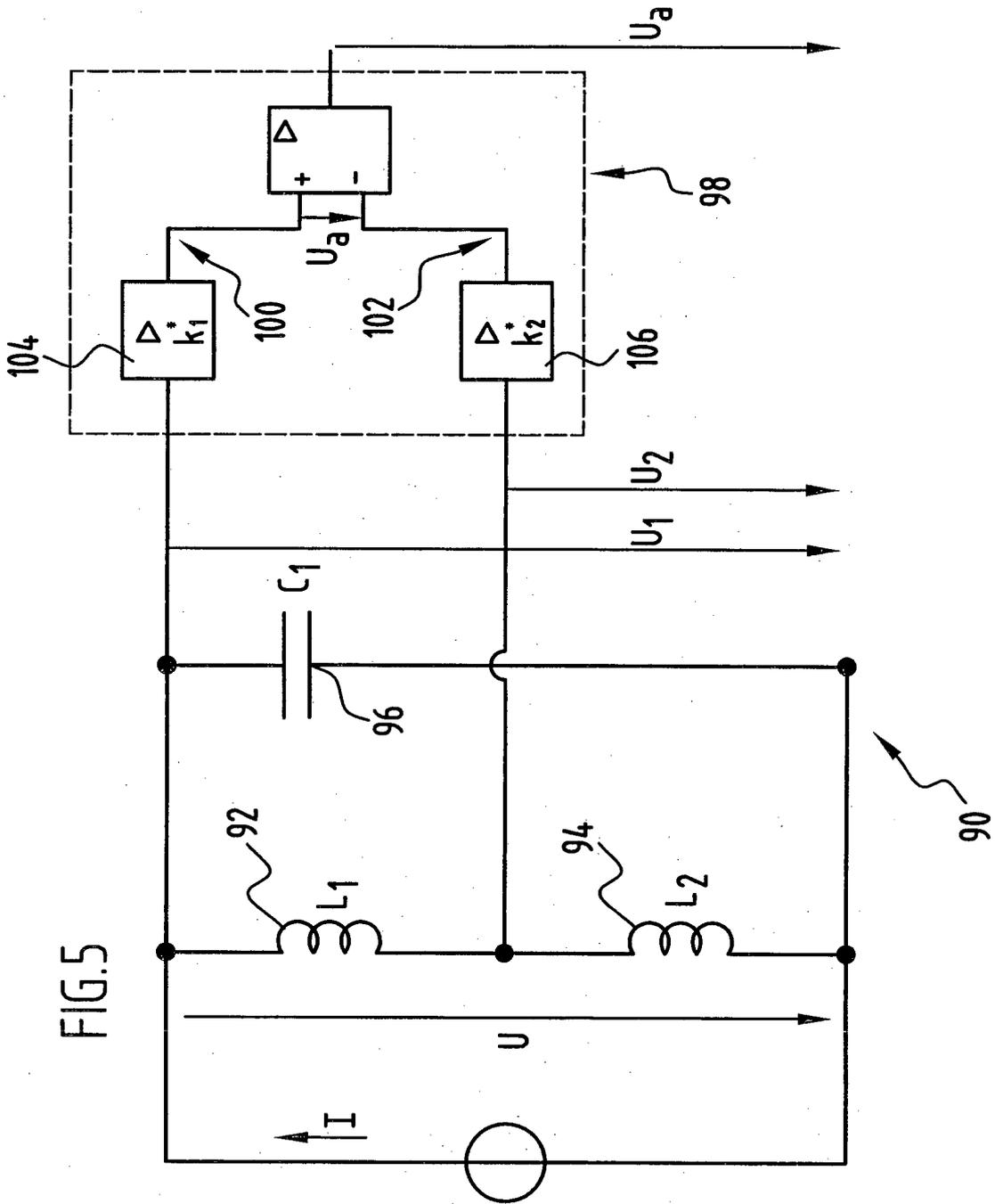


FIG. 5

FIG.6

