

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 464/2005 (51) Int. Cl.<sup>8</sup>: **G01R 19/252** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 2005-03-18  
(43) Veröffentlicht am: 2007-11-15

(56) Entgegenhaltungen:  
US 4567874  
HEISSELMANN HENDRIK,  
KAUERT MAXIMILIAN,  
"ELEKTROMAGNETISCHER  
SCHWINGKREIS"  
US 4233949

(73) Patentanmelder:  
HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.  
A-2351 WR. NEUDORF (AT)

(72) Erfinder:  
HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.  
WR. NEUDORF (AT)  
EDELMOSEER KARL DIPL.ING. DR.  
WIEN (AT)

### (54) STROMERFASSUNG MIT OSZILLATOR

(57) Verfahren zur Bestimmung von Strömen mit einem LC-Oszillator, bei dem die Frequenz eines Oszillators durch den Strom verändert und die Frequenzänderung entsprechend ausgewertet wird. Dies geschieht dadurch, dass auf der Spule des Oszillators eine weitere magnetisch gekoppelte Wicklung angebracht oder eine Leitung durch den Magnetkern, auf dem die Oszillatorspule aufgebracht ist, ein oder mehrmals gesteckt wird und die Veränderung der Frequenz gemessen wird. Ein zweites Verfahren ergibt sich, wenn auf dem Magnetkern eine zweite Wicklung aufgebracht ist und durch diese ein dem Messstrom proportionaler Strom so eingepreßt wird, dass die Frequenz des Oszillators wieder dem ursprünglichen Wert ohne Messstrom entspricht.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Strömen mit einem LC-Oszillator bzw. eine Vorrichtung zur Stromerfassung, bestehend aus einem Magnetkreis mit stark arbeitpunkt-  
abhängigem Magnetmaterial, auf dem die Wicklung einer Spule aufgebracht ist, wobei die  
Leitung, durch die der zu erfassende Strom fließt, durch den Magnetkern ein- oder mehrmals  
gesteckt wird bzw. der zu erfassende Strom durch eine weitere, auf den Kern aufgebrachte  
Wicklung, fließt.

LC Oszillatoren dienen zum Erzeugen einer Sinusschwingung. Das Prinzip ist seit langem  
bekannt. Sie bestehen grob gesagt aus einem Verstärkervierpol und einem Rückkoppelvierpol.  
Durch richtige Dimensionierung kommt es zum Entstehen einer von der Resonanzfrequenz des  
LC Kreises, typischerweise als Parallelschwingkreis ausgeführt, abhängigen Schwingfrequenz.  
Führt man nun auf der Schwingspule L eine weitere Wicklung ein - das kann auch nur das  
Durchstecken einer Leitung bei einer auf einem Ringkern gewickelten Spule sein - und schickt  
über diese Wicklung Strom, so verändert sich die Schwingfrequenz. Die Frequenz des Oszilla-  
tors wird im Wesentlichen durch die wirksame Kapazität und die verwendete Induktivität gemäß

$$f(i) = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L(i) \cdot C}} \text{ festgelegt. Man kann so recht einfach niederfrequente oder sogar Gleichströ-}$$

me erfassen, indem man die Frequenzveränderung analysiert. Der niederfrequente Strom  
verursacht eine Frequenzmodulation. Die Amplitude beeinflusst den auftretenden Frequenzhub.  
Die Auswertung kann durch eine Frequenzdemodulation mit einer PLL erfolgen.

Der Ausdruck „mehrfach gesteckt“ soll im folgenden erläutert werden. Die Spule, die die Fre-  
quenz des Oszillators festlegt, ist auf einem Eisenkern, typisch einem Ferritkern, gewickelt.  
Diese Spule ist die Induktivität eines Oszillators. Der Arbeitspunkt stellt sich im Zentrum der  
Magnetisierungskennlinie (Fluss-Feldstärke/magn. Erregung) ein, da der Oszillator eine reine  
Wechselspannung produziert. Wickelt man nun einen stromdurchflossenen Leiter um den Mag-  
netkern, so erzeugt der durch diese eine Windung fließende Strom eine magnetische Durchflut-  
ung (Feldstärke), die den Arbeitspunkt des Magnetkreises verschiebt. Dadurch kommt es zu  
einer Veränderung der Induktivität der Oszillatorspule und daher zu einer Frequenz. Je größer  
der Strom durch diese Zusatzwindung ist, umso größer ist die Durchflutung und umso größer ist  
die Verschiebung des magnetischen Arbeitspunkts vom Nullpunkt. Man kann also, um eine  
größere Wirkung des Stroms zu erzielen, die vom Strom durchflossene Leitung mehrmals durch  
den Kern fädeln, d.h. mehrere Windungen aufbringen. Die dadurch erzeugte Durchflutung ist  
dann um die Windungszahl größer. Im Rahmen der gegenständlichen Erfindung soll der Strom  
in einem Leiter erfasst werden. Daher ist der Leiter ein oder mehrfach über den Magnetkreis zu  
wickeln oder der zu bestimmende Strom muss durch eine mit der Oszillatorspule magnetisch  
verkoppelte (auf dem selben Kern aufgebrachte) Wicklung fließen.

Die Aufgabe der Erfindung ist die relativ einfache Realisierung eines Stromsensors wie er bei-  
spielhaft für Überwachungs-, Steuer- und Regelaufgaben in der Antriebstechnik und bei leis-  
tungselektronischen Konvertern erforderlich ist. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß so gelöst,  
dass auf der Spule des Oszillators eine weitere magnetisch gekoppelte Wicklung angebracht  
oder eine Leitung durch den Magnetkern, auf dem die Oszillatorspule aufgebracht ist, ein oder  
mehrmals gesteckt wird und die Veränderung der Frequenz gemessen wird, bzw. die Spule als  
frequenzbestimmende Induktivität eines LC-Oszillators dient und die Frequenz des Oszillators  
gemessen wird.

Eine etwas andere Methode ist im folgenden geschildert. Der Strom durch die Messwicklung  
verursacht eine Frequenzänderung des Oszillators. Über eine Hilfswicklung mit deutlich mehr  
Windungen als die Messwicklung, die ja auch nur aus der durchgesteckten Leitung mit dem zu  
messenden Strom bestehen kann, wird ein entsprechend kleinerer gegensinniger Strom in der  
Größe eingespeist, dass die Frequenz gleich der ursprünglichen ohne Messstrom ist. Die Größe  
dieses Kompensationsstroms ist proportional dem zu messenden Strom. Dazu ist als Referenz-  
frequenz die Oszillatorfrequenz, die ohne Stromfluss durch die Messwindung/en auftritt, zu

verwenden. Die Frequenzdifferenz zur Referenzfrequenz wird durch einen Phasendetektor erfasst, dessen Ausgangssignal wird einem Regler mit integrierendem Anteil zugeführt, dessen Ausgangssignal nach einer eventuellen Leistungsverstärkung in die Hilfswicklung gespeist wird. US 4 567 874 (ROUANES) behandelt eine Zündvorrichtung für Verbrennungskraftmaschinen. 5 Dazu wird mindestens ein Transformator zur Erzeugung der Zündspannung verwendet. Um die Spannungserhöhung von Resonanzkreisen zu nutzen, kann man Kondensatoren parallel zu den Transformatorwicklungen schalten. Es entstehen dadurch Schwingungen, deren Frequenz indirekt proportional der Wurzel aus dem Produkt von Kapazitäts- mit Induktivitätswert ist. Ange- 10 regt durch ein Steuersignal kommt es zu Schwingungen. Schaltungstechnisch kann man den so entstehenden Oszillator als *single ended oscillator*, wie er zur Erzeugung von Schwingungen im Hoch- und Höchsthochfrequenzbereich verwendet wird, bezeichnen.

US 4 233 949 (POIRIER D' ANGE D'ORSAY) behandelt eine Vorrichtung zur Verteilung von Hochspannung an die Zündkerzen eines Verbrennungsmotors. Dazu werden magnetisch mit- 15 einander gekoppelte Spulen verwendet.

In der gegenständlichen Erfindung wird aber ein Verfahren und abgeleitet davon eine Vorrichtung zur Strommessung vorgestellt. Es soll damit ein einfacher Stromsensor zum Einsatz in zahlreichen Anwendungen in der Industrie und bei Energieverteilungsaufgaben ermöglicht 20 werden. Der Bezug auf die obigen Dokumente besteht nur in der Verwendung der magnetischen Kopplung. Durch den Internetlink <http://www.student.uni-oldenburg.de/hendrik.heisselmann/private/apr01/schwingkreise.pdf> wird auf eine Quelle verwiesen, bei der Schwingkreise erklärt werden. Wenn man die Wirkung eines Schwingkreises bei harmonischer Anregung untersucht, zeigt sich, dass der Strom durch den Schwingkreis stark frequenzabhängig ist. 25 Das ist grundsätzlich durch die frequenzabhängige Impedanz gegeben. Der durch den Schwingkreis fließende Strom wird durch die angelegte Spannung bestimmt. Eine Messung eines durch eine Leitung oder in eine Maschine fließenden Stroms ist dadurch nicht möglich. Die Strommessung soll möglichst ohne Beeinflussung des zu messenden Stroms und auch ohne genaue Kenntnis des Frequenzspektrums desselben auskommen.

Genau das wird in der gegenständlichen Erfindung erreicht. Die für einen Schwingkreis verwendete Spule ist mit einem Eisenkern versehen. Der zu messende Strom wird ebenfalls (geführt in einer isolierten Leitung) durch den Eisenkreis geführt. Dadurch erzeugt der zu messende Strom eine Durchflutung, die den Arbeitspunkt in der Magnetisierungskurve verschiebt. Dies 35 führt zu einer Änderung der Induktivität der für den Schwingkreis verwendeten Spule. Dieser Schwingkreis wird als frequenzbestimmendes Element eines Oszillators verwendet. Eine Änderung des zu messenden Stroms führt also zu einer Änderung der Induktivität des Schwingkreises und daher zu einer Änderung der Resonanzfrequenz des Kreises. Da die Resonanzfrequenz frequenzbestimmend für einen LC-Oszillator (es gibt zahlreiche LC Oszillatorschaltungen, die oft schon seit den Anfängen der Rundfunktechnik bekannt sind) ist, stellt die sich im Oszillator einstellende Frequenz eine dem zu messenden Strom (der ja den Arbeitspunkt des Magnetkreises verschiebt) proportionale Größe dar. Die auftretende Frequenz ist daher das 40 Maß für den zu messenden Strom. Die Auswertung des Frequenzsignals liefert letztlich den Stromwert, der z.B. angezeigt werden oder als Istgrößensignal für eine Regelung verwendet werden kann. Die eigentliche Auswertung ist problemlos mit den heute vorhandenen Mitteln möglich und benötigt keiner weiteren Erläuterung. Diese Methoden sind vorhanden.

Um eine starke Abhängigkeit der Induktivität und daher der Frequenz vom Messstrom zu erzielen, kann man einen entsprechend geformten Luftspalt in den Magnetkreis einbauen. Die 50 Kernmaterialien haben einen über den Querschnitt konstanten Luftspalt. Dadurch bleibt der Induktivitätswert unabhängig vom durchfließenden Strom annähernd konstant (solange die Spule nicht in Sättigung kommt). Macht man jedoch den Luftspalt nicht gleichmäßig, sondern über den Querschnitt veränderlich, so wird bei kleinen Strömen der magnetische Fluss sich über dem Eisenkreis schließen, ohne wesentlich über den Luftspaltbereich zu fließen. Der AL-Wert des Kernmaterials ist daher hoch und der Induktivitätswert der Spule groß. Mit steigendem 55

Strom wird der entstehende Fluss immer mehr auch über den Luftbereich fließen, der Kernbereich in unmittelbarer Nähe dieses Luftbereichs wird sich zu sättigen beginnen und das vom magnetischen Fluss durchflossene Luftvolumen wird größer. Mit der Vergrößerung des Luftspalts kommt es zu einer Verringerung des AL-Werts und damit zu einer Verringerung des Induktivitätswertes. Durch die Veränderung der Luftspaltform erreicht man für kleine Ströme einen größeren Induktivitätswert, der sich mit zunehmendem Strom verringert. Es sei hier jedoch noch angemerkt, dass bedingt durch die Sättigungscharakteristik des Magnetkreises, eine Veränderung der Frequenz des Oszillators auch dann auftritt, wenn der Luftspalt nicht speziell ausgeformt wird. Man muss dann die Betriebsspannung des Oszillators so hoch wählen, dass der Oszillator die Spule auf jeden Fall in die Sättigung treibt.

Der Luftspalt des Eisenkerns hat also keine konstante Luftspalllänge. Das Kernmaterial wird im Bereich des Luftspalts in Form eines Kegels, eines Kegelstumpfs, einer Pyramide, eines Pyramidenstumpfs, beliebiger Bombierungen, mehrerer Kegel, mehrerer Kegelstümpfe, mehrerer Pyramiden, mehrerer Pyramidenstümpfe, schräg oder in Dachform ausgeführt. Das Kernmaterial kann dabei im Bereich des Luftspalts auf beiden Seiten oder nur auf einer Seite ungleichmäßig ausgeführt sein.

Die dargestellten Methoden sind sehr einfach und ermöglichen die Herstellung einfacher Stromsensoren für Regel- und Überwachungsaufgaben. Eine weitere interessante Möglichkeit ist der Einsatz in Energieversorgungsnetzen. Dabei wird in gewohnter Weise mit einem Stromwandler die Trennung zum Netz durchgeführt, an der Sekundärseite des Stromwandlers wird die beschriebene Vorrichtung angeschaltet, d.h. der Sekundärkreis wird ein oder mehrmals durch den Magnetkreis, der die Oszillatorspule trägt, gesteckt.

### Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung von Strömen mit einem LC-Oszillator *dadurch gekennzeichnet*, dass auf der Spule des Oszillators eine weitere magnetisch gekoppelte Wicklung angebracht oder eine Leitung durch den Magnetkern, auf dem die Oszillatorspule aufgebracht ist, ein oder mehrmals gesteckt wird und die Veränderung der Frequenz gemessen wird.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass das Oszillatorsignal einer Frequenzdemodulation zugeführt und das Demodulationssignal als Maß für den fließenden Strom verwendet wird.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass auf dem Magnetkern eine zweite Wicklung aufgebracht ist und durch diese ein dem Messstrom proportionaler Strom so eingeprägt wird, dass die Frequenz des Oszillators wieder dem ursprünglichen Wert ohne Messstrom entspricht.
4. Vorrichtung zur Stromerfassung bestehend aus einem Magnetkreis mit stark arbeitpunktabhängigem Magnetmaterial, auf dem die Wicklung einer Spule aufgebracht ist, wobei die Leitung, durch die der zu erfassende Strom fließt, durch den Magnetkern ein- oder mehrmals gesteckt wird bzw. der zu erfassende Strom durch eine weitere auf den Kern aufgebrachte Wicklung fließt *dadurch gekennzeichnet*, dass die Spule als frequenzbestimmende Induktivität eines LC-Oszillators dient und die Frequenz des Oszillators gemessen wird.
5. Vorrichtung gemäß Anspruch 4 *dadurch gekennzeichnet*, dass das Oszillatorsignal einer Frequenzdemodulation zugeführt und das Demodulationssignal als Maß für den fließenden Strom verwendet wird.
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 5 *dadurch gekennzeichnet*, dass als Frequenzdemodulator eine PLL verwendet wird.

7. Vorrichtung zur Stromerfassung, bestehend aus einem Magnetkreis mit stark arbeitpunkt-  
abhängigem Magnetmaterial, auf dem die Wicklung einer ersten Spule aufgebracht ist, wo-  
bei die Leitung, durch die der zu erfassende Strom fließt, durch den Magnetkern ein- oder  
mehrmals gesteckt wird *dadurch gekennzeichnet*, dass die Frequenzänderung des Oszilla-  
tors, dessen Frequenz durch den Induktivitätswert der ersten Spule beeinflusst wird, ge-  
genüber der Frequenz ohne Stromfluss (Referenzfrequenz) durch einen Phasendetektor  
mit nachgeschaltetem Regler (mit integrierenden Anteil) erfasst wird und dieses Reglersig-  
nal entsprechend dem Windungsverhältnis angepasst in eine weitere auf dem Magnetkreis  
aufgebrachte zweite Spule kompensierend eingespeist wird, sodass der Oszillator wieder  
auf der Referenzfrequenz schwingt, das Reglersignal steht als Maß für den zu messenden  
Strom zur Verfügung.
8. Vorrichtung zur Stromerfassung gemäß einem der Ansprüche 4 bis 7 *dadurch gekenn-  
zeichnet*, dass der Eisenkern des Magnetkreises einen Luftspalt aufweist, der so ausge-  
formt ist, dass er keine konstante Luftspaltlänge hat.
9. Vorrichtung zur Stromerfassung gemäß einem der Ansprüche 4 bis 7 *dadurch gekenn-  
zeichnet*, dass das Kernmaterial im Bereich des Luftspalts in Form eines Kegels, eines Ke-  
gelstumpfs, einer Pyramide, eines Pyramidenstumpfs, beliebiger Bombierungen, mehrerer  
Kegel, mehrerer Kegelstümpfe, mehrerer Pyramiden, mehrerer Pyramidenstümpfe, schräg  
oder in Dachform oder in Stufen ausgeformt wird, wobei das Kernmaterial im Bereich des  
Luftspalts auf beiden Seiten oder nur auf einer Seite ungleichmäßig ausgeführt ist.

## Keine Zeichnung