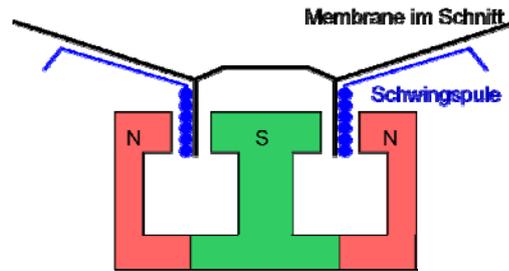


Seismograf und dynamisches Mikrofon

Das gemeinsame Prinzip lässt sich mit Spule und Dauermagnet leicht nachbauen.

Die Bewegung von Permanentmagnet oder Induktionsspule führt zu einer Änderung des magnetischen Feldes in der Spule und damit zu einer Induktionsspannung.

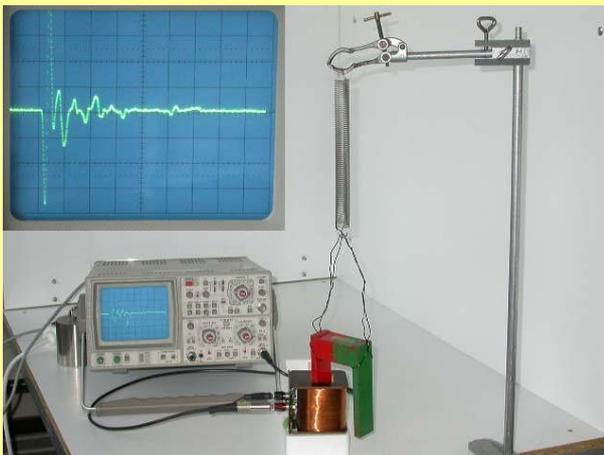


Prinzipieller Aufbau eines Tauchspulenmikrofons

Beim Seismographen ist ein Bauteil fest mit der Erde verbunden, das andere hingegen schwingungsfähig gelagert, am einfachsten an einer Schraubenfeder aufgehängt. Im Idealfall bleibt dann z.B. der Magnet auf Grund seiner Trägheit in Ruhe, während Erschütterungen der Erde direkt an die Spule weitergegeben werden.

Induktionsmikrophone werden heute üblicherweise als Tauchspulenmikrophone ausgeführt. Eine Membran folgt den Druckschwankungen der Luft und führt dabei eine Spule durch ein Magnetfeld. Die induzierte Spannung hängt von der Bewegungsgeschwindigkeit der Membran ab. Der Aufbau ist vom Prinzip her ähnlich wie bei einem Lautsprecher; technische Unterschiede gibt es aber vor allem hinsichtlich Membrandurchmesser, Spulengröße und dem elektrischen Ausgangswiderstand.

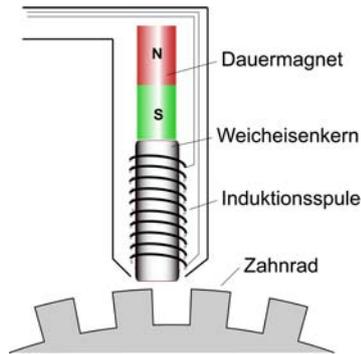
Versuche zu Seismograf und Mikrofon



Aufbau für einen Sensor, der Erschütterungen der Tischplatte erfasst.

Mögliche Aufgabenstellung: Bau eines Geräts, das Erschütterungen registriert. Schläge auf die Tischplatte, Verschieben des Tisches oder der Aufprall von verschiedenen Gegenständen auf eine Holzplatte sollen erkannt werden. Eine Aufgabe könnte beispielsweise sein, über den Signalverlauf zu identifizieren, welcher Körper aus welchen Höhen gefallen ist.

Induktive Drehzahlsensoren und Zündsteuerung



technische Anordnung

Induktive Drehzahlsensoren überwachen die Winkelgeschwindigkeit von Rädern und werden z.B. in ABS-Systemen verwendet. Ihr Aufbau ist relativ einfach und mit der Schulphysik erklärbar.

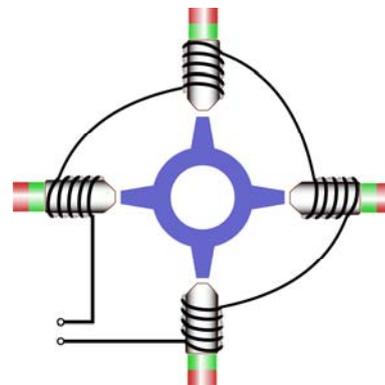
Das Magnetfeld durch eine Spule hängt davon ab, ob sie vor weichmagnetischem Material eines Rades steht oder vor einer Lücke. Das Eisen bündelt das Magnetfeld, während die Aufstreuung bei einer Lücke größer ist. Die Änderungen bei Drehung des Rades führen zu Spannungsimpulsen.

In der Fahrzeugtechnik sind besondere Vorteile induktiver Sensoren die robuste Bauweise und eine geringe Störungsempfindlichkeit (vor allem gegenüber Temperatureinflüssen). Allerdings hängt die Spannung des Signals von der Drehzahl ab. Dies ist beim ABS-Sensor speziell bei geringen Drehzahlen nachteilig.

Im Zündverteiler besteht der ruhende Teil (Stator) aus Dauermagneten und Spulen mit Eisenkern, die im Kreis angeordnet sind. Die Spulen sind in Reihe geschaltet.

In der Regel entspricht die Spulenzahl der Anzahl der Zylinder im Motor. Der Rotor sitzt auf der Zündverteilerwelle und dreht beim 4-Takt-Motor mit halber Drehzahl der Kurbelwelle.

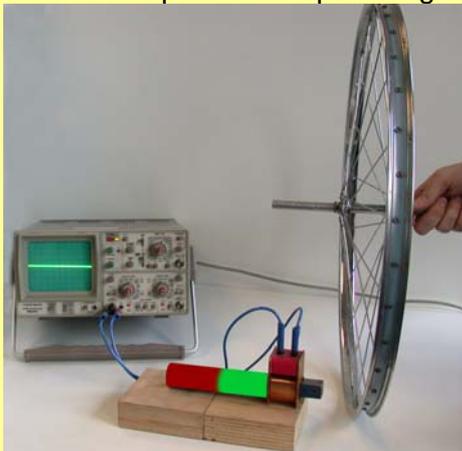
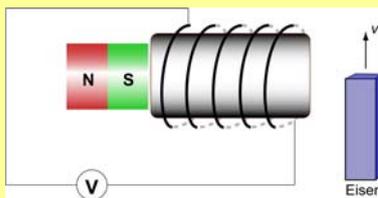
Mit der Drehung des sternförmigen Rotors ändert sich das Magnetfeld in den Spulen und induziert ein wechselndes Spannungssignal zur Steuerung der Zündung.



Schemaskizze zur Zündsteuerung

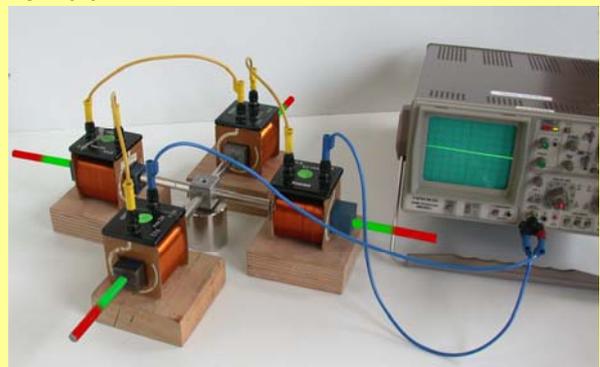
Versuch

Ein Dauermagnet sitzt vor einer Spule mit Weicheisenkern. Das Magnetfeld in der Spule ändert sich, wenn magnetische Materialien vor der Anordnung vorbeigeführt werden. Dann wird in der Spule eine Spannung induziert.



Modellversuch zur Zündsteuerung

Vier Spulen mit Eisenkernen und angesetzten Magneten sind in Reihe geschaltet und kreuzförmig angeordnet. Der Rotor ist aus vier Stativstangen und einer Kreuzmuffe zusammengesetzt; als Lager dient ein Tonnenfuß.



Metalldetektoren



Hier gibt je nach Einsatz verschiedene Verfahren:

Das erste Verfahren arbeitet mit einer Sendespule, die ein magnetisches Wechselfeld erzeugt und einer Empfängerspule, über die Veränderungen des Ausgangsfeldes erfasst werden. Das Wechselfeld verursacht Wirbelströme in metallischen Gegenständen, die wiederum das Feld verändern. Das Verfahren wird auch VLF-Verfahren („very low frequency“) genannt. Verwendet werden Frequenzen von ca. 1 – 20 kHz, in Suchgeräten für kleine Goldkörner („nuggets“) 60-70 kHz.

Sensoren nach dem PI-Verfahren („pulse-induction“) kommen dagegen mit einer einzigen Spule aus. Kurze starke Stromstöße werden durch die Spule geschickt. Vor allem der Ausschaltvorgang bewirkt eine große Änderung und einen entsprechenden Spannungsstoß. Aufgrund der Lenzschen Regel ist die Flussänderung aber kleiner, wenn Wirbelströme in nahe positionierten metallischen Leitern auftreten.

BFO-Systeme („beat-frequency oscillator“) werten Schwebungsfrequenzen aus. Die Spulen werden im Radiofrequenzbereich betrieben. Durch Metallstücke hervorgerufene Frequenzunterschiede zwischen Such- und Empfängerspule führen zu Schwebungen im Tonfrequenzbereich.

Versuche

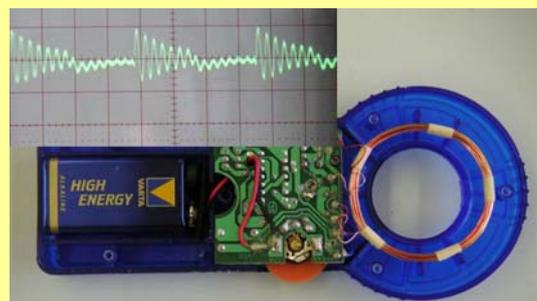
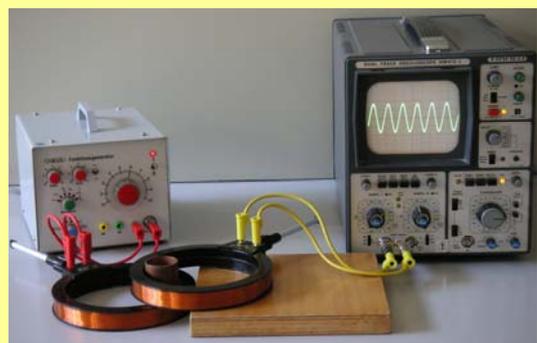
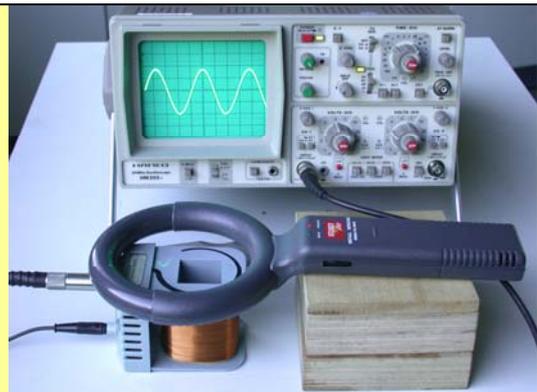
Der Aufbau ist vom Transformatorprinzip her bekannt.

Metalle verändern das Signal. Damit wird das Sensorprinzip deutlich und kann durch Induktion und Wirbelströme erklärt werden.

Besonders eindrucksvoll kann die Wirkung des Metalldetektors auf eine Spule demonstriert werden.

Bei der Untersuchung verschiedener Materialien lassen sich zwei Effekte unterscheiden: Während ein (geblätterter) Transformator Kern den magnetischen Fluss und damit das Induktionssignal verstärkt, führt z. B. ein Kupferrohr aufgrund von Wirbelströmen zu einer Abschwächung. Bei einem Eisenrohr konkurrieren beide Effekte, die Abschwächung ist gering.

Das Signal ist nicht immer sinusförmig, wie bei dem oben gezeigten Metalldetektor. Bei einigen Geräten findet man eine gedämpfte Schwingung.



Fahrzeugdetektor

Vor Ampelanlagen, beschränkten Ausfahrten von Parkplätzen oder mittlerweile auch schon an privaten Toreinfahrten gibt es in den Boden verlegte Induktionsschleifen für die Anlagensteuerung.

vereinfachter Modellversuch



Die linke Spule wird über einen Funktionsgenerator mit Wechselspannung versorgt, die rechte Spule liegt am Oszilloskop. Die Amplitude des Signals ändert sich je nach Kopplungsgrad zwischen den beiden Spulen, der durch die Metallkarosserie beeinflusst werden kann. Ein Eisenkern in den Spulen ist nicht nötig, allerdings sollte dann die Frequenz hoch genug gewählt werden; in der gezeigten Versuchsanordnung betrug sie 60 kHz.

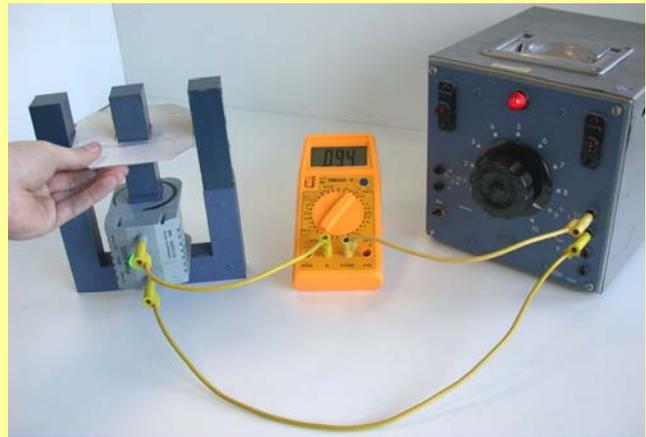
Bemerkung: Technisch werden die Spulen in der Fahrbahndecke koaxial verlegt. (Der Aufbau mit zwei Spulen entspricht prinzipiell dem eines Metalldetektors.)

Bei neuen Verfahren wird nur eine Schleife von 2 – 5 Windungen in die Fahrbahn verlegt. Sie wirkt wie eine Drosselspule. Ihre Impedanz (aufgrund Induktivität und Verlustfaktor durch Wirbelströme) ändert sich stark durch ein darüber stehendes oder bewegtes Fahrzeug.

Positionssensoren

Spule mit Kurzschlussring

Eine Spule steckt über dem mittleren Teil eines E-förmigen Weicheisenkerns. Ein Wechselstrom durch die Spule erzeugt ein magnetisches Wechselfeld. In einem Kurzschlussring (Kupfer oder Aluminium) induziert dies einen Wirbelstrom, der nach der Lenzschen Regel ein Gegenfeld erzeugt und so den Strom durch die Spule verändert.



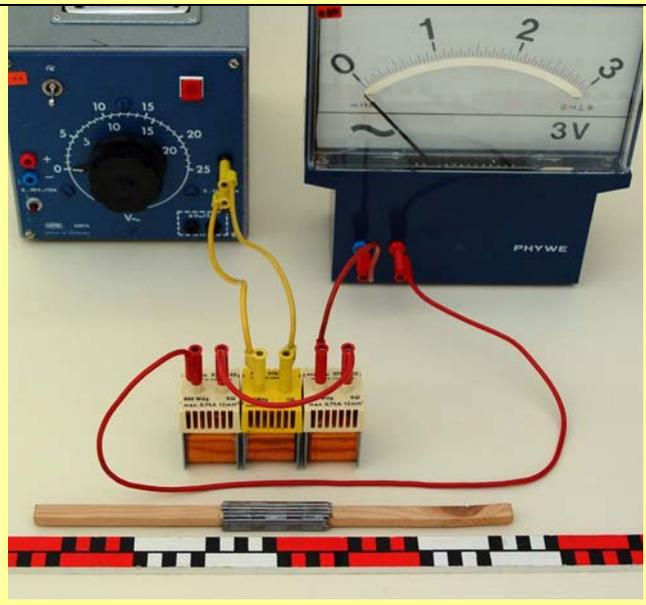
Spule mit Tauchanker

Die Spule ist von einem ferromagnetischen Mantel umgeben. Das Joch reicht nur eine variable Strecke x in das Spuleninnere hinein. Mit zunehmender Eintauchtiefe x steigt die Induktivität, die sich, z. B. über die Verstimmung eines Schwingkreises, messen lässt.

Differentialtransformator

Die Position des Transformator-kerns ändert den Kopplungsgrad zwischen Primär- und Sekundärspule.

Literatur: WEIDINGER, M; WILHELM, T.: *Differenzbildung bei Sensoren - Differentialtransformator und Differenzspulensensor im Unterricht* – In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 57, Nr. 4, 2008, S. 5 - 9



Windgeschwindigkeitsmesser



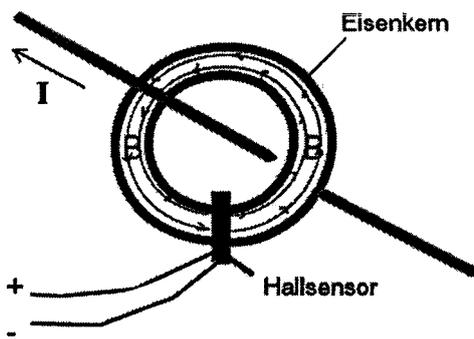
Früher wurden Tachometer verwendet, bei denen durch einen rotierenden Dauermagneten in einer Aluminiumdose Wirbelströme erzeugt wurden. Entsprechend dem Lenzschen Gesetz führt dies zu einem Drehmoment auf die Dose, die an eine Spiralfeder gekoppelt ist. Die Verdrillung der Feder ist proportional zur Winkelgeschwindigkeit, mit der sich der Magnet dreht, und lässt sich über einen Zeigerausschlag anzeigen. Heute wird das Prinzip u. a. noch bei einigen Windgeschwindigkeitsmessern verwendet.

Modellversuch

Als Dose dient der Alumantel eines Teelichts, der drehbar auf einer Spitze gelagert ist. Die Rotation des Magneten lässt sich z. B. durch Aufhängung an einer verdrillten Schnur erreichen.

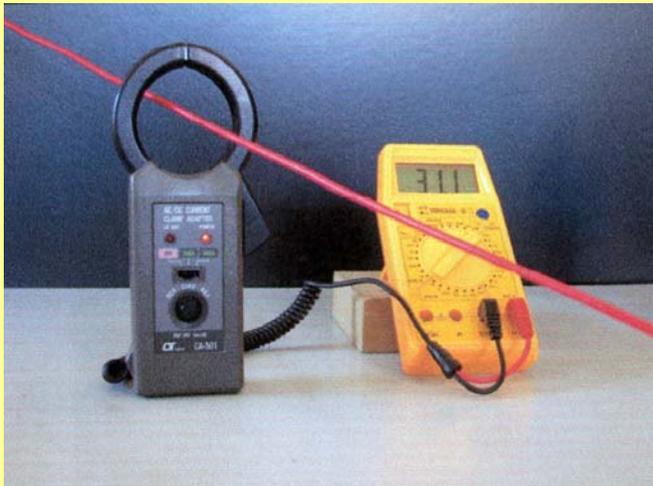


Stromzange



Funktionsprinzip

Diese Stromzange misst Gleich-, als auch Wechselströme. Die beiden Zangenteile enthalten einen Ferritkern. Der elektrische Strom erzeugt ein magnetisches Feld, das im Ferritring gebündelt wird. Daher ist es egal an welcher Stelle (innerhalb der Zange) sich der stromführende Leiter befindet. Der gebündelte magnetische Fluss wird durch einen Hall-Sensor geführt. Dieser erfasst die Stärke des magnetischen Flusses und bestimmt darüber die Stromstärke.



Stromzangen unterscheiden sich sehr stark in Ausführung und Qualität. Bereits ab 24€ sind analoge Stromzangen im Handel erhältlich. Wenn überhaupt, dann können diese Geräte nur sehr ungenau Gleichströme messen. High-End-Stromzangen bieten hingegen einen größeren Messbereich, eine bessere Auflösung und meist eine digitale Anzeige neben weiteren Zusatzfunktionen. Für die Schule erscheint uns jedoch eine Stromzange mit einem separaten Ausgang am sinnvollsten. Die Schüler messen so mit Hilfe eines Multimeters die zu bestimmende Größe. Unreflektiertes ablesen einer Anzeige am Gerät kann somit vermieden werden.

Weiterführende Literatur

Tränkler, H: R. & Obermeier, E. (1998). Sensortechnik. Handbuch für Praxis und Wissenschaft. Berlin: Springer-Verlag.

Bezugsquellen

www.conrad.de

Preis ab ca. 24€ (einfachste Ausführung)

www.reichelt.de

Preis ab ca. 199€ (Profigerät)

Besonders Empfehlenswert ist das Gerät: PR20 oder PR 620 der Firma LEM (Preis ca. 200€)