

Instrumentation

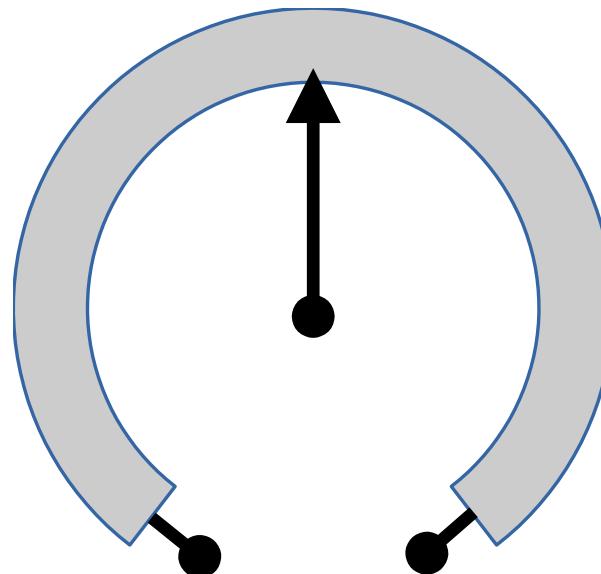
Marc Nicollerat

5 Positions- und Winkelsensor

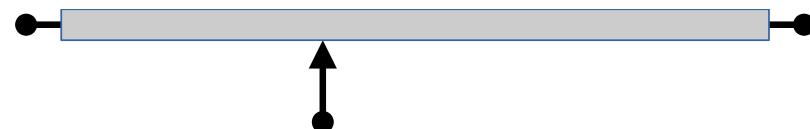
- Dreh- und Linearpotentiometer
- Messungen in einem Feld

5.1 Potentiometer

Das Prinzip des Potentiometers ist ein gleichmäßiges Widerstandsband. Ein Cursor bewegt sich über das Widerstandsband.

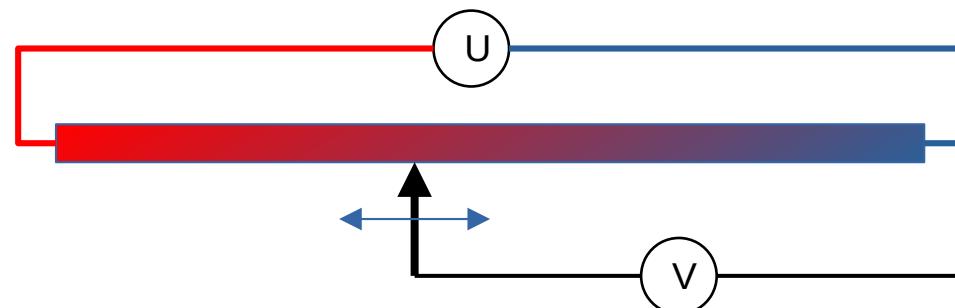


Drehpotentiometer



lineares Potentiometer

Wenn eine Spannung an das Potentiometer angelegt wird, hat der Widerstandsstreifen eine Spannung, die proportional zur Position ist.



Verwendung des Potentiometers

Der Schieber reibt über den leitenden Streifen. Die Position bestimmt die Spannung.
Die@eq-potentiometre zeigt den Zusammenhang für ein Drehpotentiometer.

$$U_{curseur} = U_0 * \frac{\Theta}{\Theta_{max}}$$

{#eq-potentiometre}

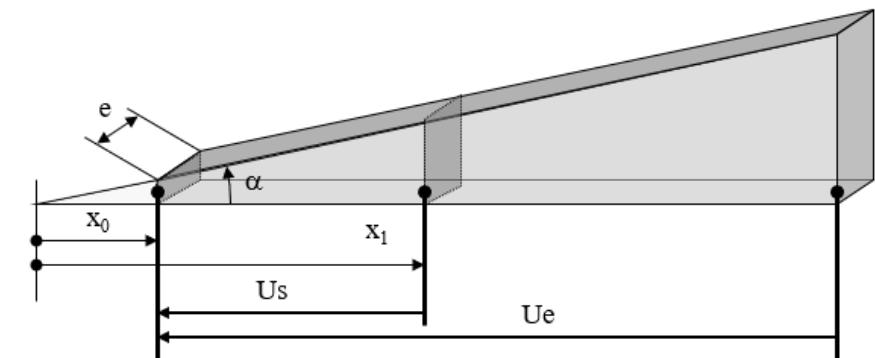
5.2 Spezielle Potentiometer

Es ist möglich, ein Potenziometer mit einer logarithmischen Veränderung des Widerstands herzustellen. Dies wird mit einem dreieckig geformten Widerstandsband erreicht.

$$h(x) = x \cdot \alpha$$

$$\Delta R = \rho_c \frac{\Delta x}{e \cdot \alpha \cdot x}$$

$$R(x_1) = R_P \cdot \frac{\log(x_0/x_1)}{\log(x_0/x_{max})}$$



Spur eines logarithmischen Potentiometers

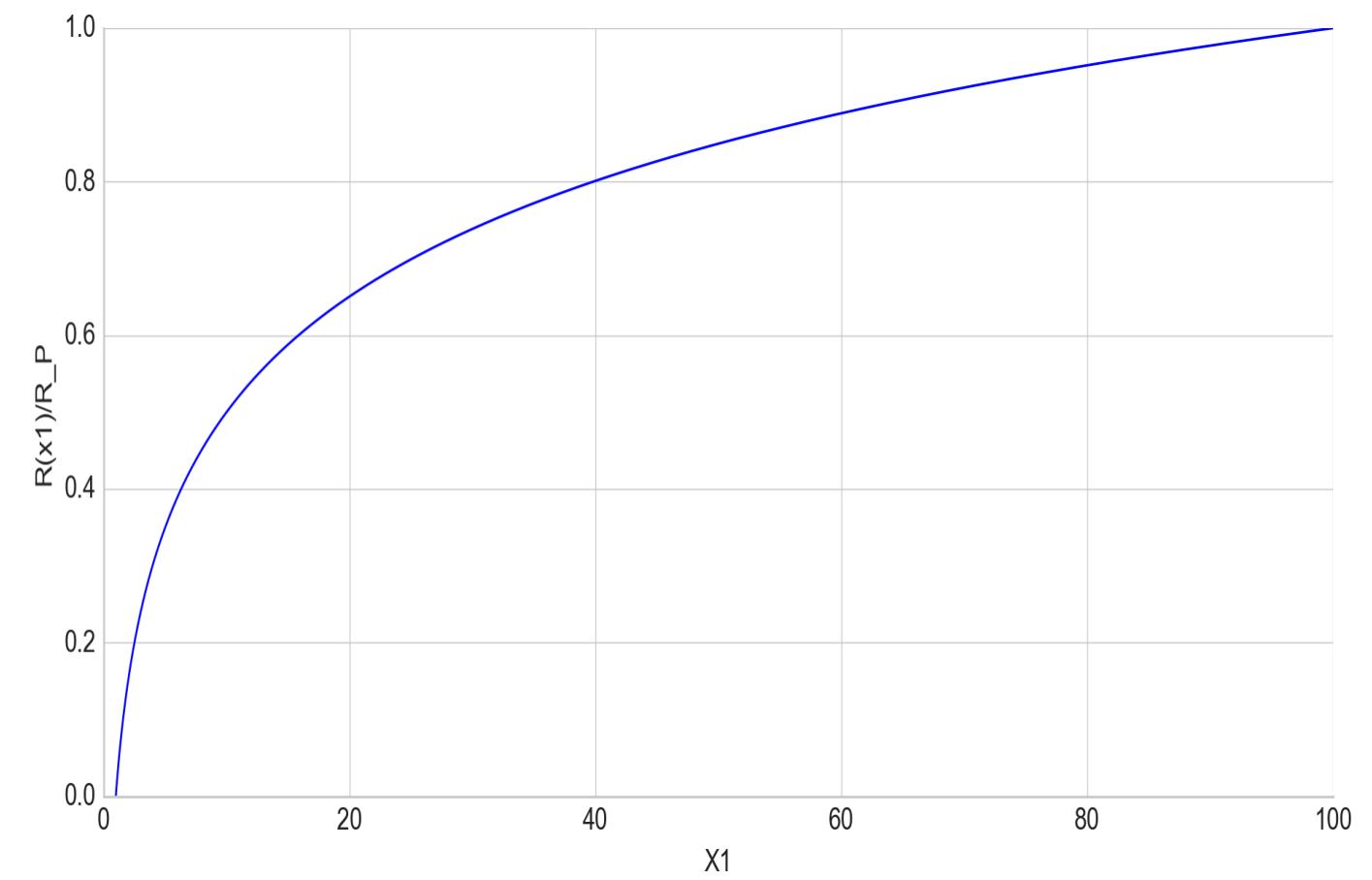


Figure 1: Caractéristique du potentiomètre logarithmique



Die Entwicklung wird in einem jupyter notebook `ex_5.1_potentiometer.ipynb` durchgeführt.

5.3 Beispiele für Potentiometer

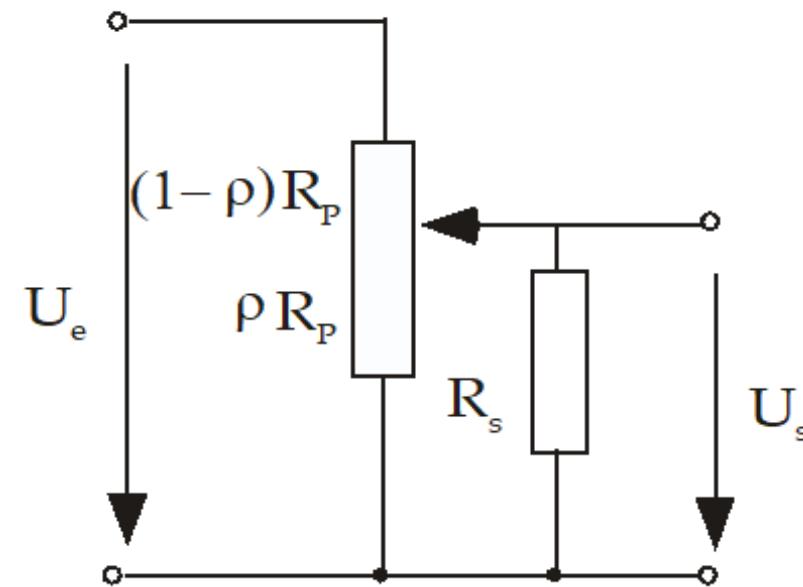
Einige Potentiometer in Bildern :



Das Multiturn-Potentiometer ermöglicht eine bessere Auflösung bei der Einstellung des Wertes.

5.4 Ladungseffekt

Wenn ein vom Messsystem verursachter Parallelwiderstand vorhanden ist, wird die Kennlinie verfälscht.



Lastwiderstand R_s

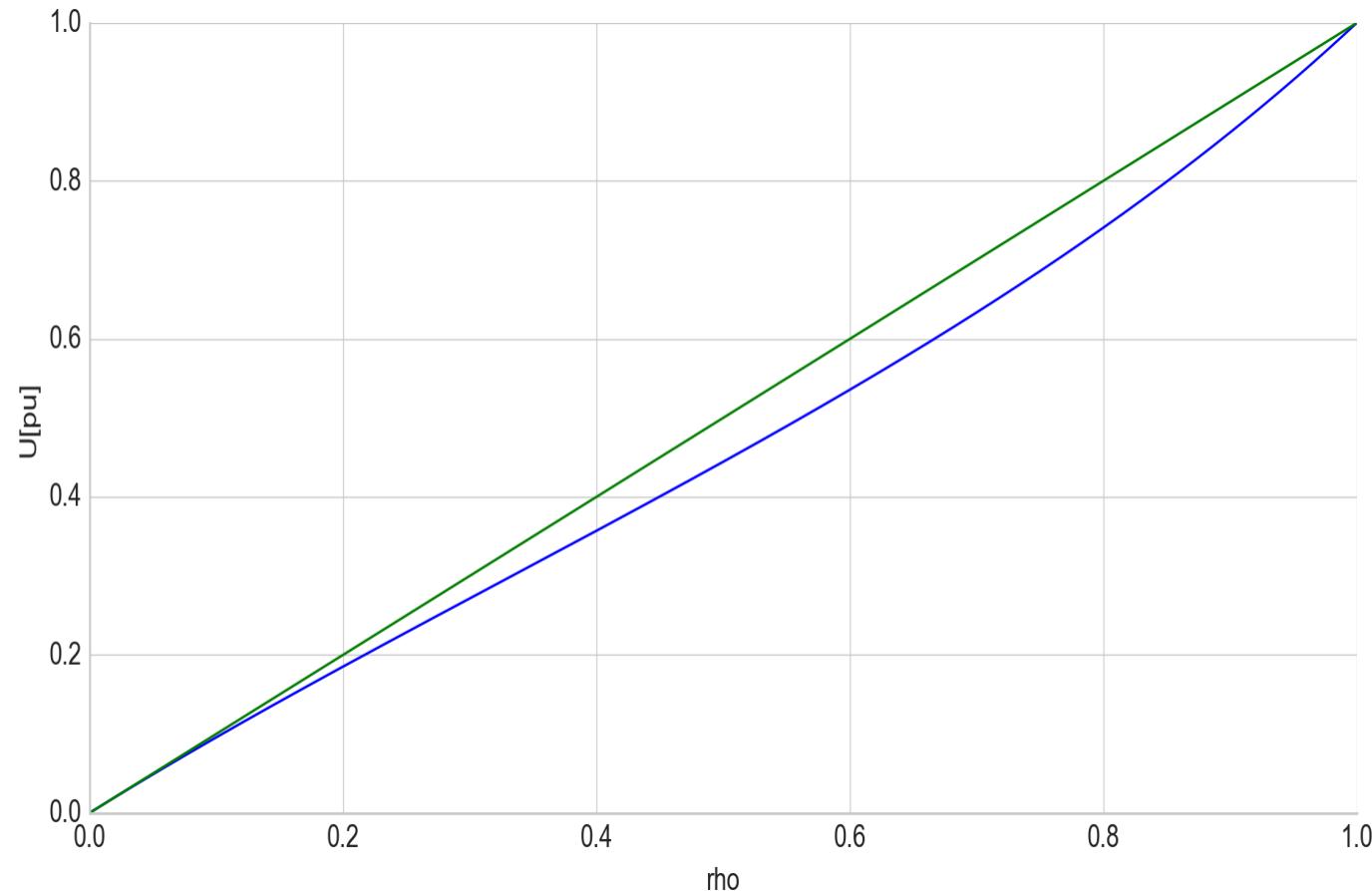


Figure 2: En bleu, on voit l'influence de la résistance de charge

Übung

Berechnen Sie den Einfluss einer nicht vernachlässigbaren Impedanz.

Mögliche Tests mit dem jupyter notebook `ex_5.1_potentiometer.ipynb`.

5.5 Vor- und Nachteile des Potentiometers

Vorteile

- Einfach und preiswert.
- *Linear* wenn er nicht belastet wird, wie wir später sehen werden.
- Seine Genauigkeit ist unabhängig von Temperaturschwankungen.

Nachteile

- Die Messgenauigkeit hängt von der Konstanz der Versorgungsspannung ab.
- Die Bewegung des Cursors erfordert ein bestimmtes Drehmoment oder eine bestimmte Kraft (Lasteffekt).
- Es kommt zu *Verschleiß* zwischen dem elektrischen Kontakt und dem Widerstandsmaterial. Daher ist dieser Sensor nicht für häufige und schnelle Bewegungen geeignet.
- Aufgrund von *Herstellungstoleranzen* ist eine gewisse Abweichung von der Linearität in der Größenordnung von 0,1 % ... 1 % möglich.
- Das nachgeschaltete System darf keine große *Lastwirkung* aufweisen.

5.6 Physikalische Prinzipien mit Feldern

Um einen Kontakt zu vermeiden, nutzt man das Vorhandensein eines *Feldes*, das einen Gradienten hat. Mittels des richtigen Sensors ist es möglich, das Feld zu messen und daraus die Position abzuleiten.

Die Möglichkeiten sind folgende:

- Magnetisches Feld
- Elektrisches Feld
- Leuchtendes Feld

Die gesuchten Eigenschaften sind :

- Unempfindlichkeit gegenüber Umweltschwankungen
- Linearität

5.7 Induktiver oder kapazitiver Sensor

Das Prinzip von induktiven und kapazitiven Sensoren besteht darin, ein elektrisches oder magnetisches Feld (sinusförmige Variation) auszusenden und den Einfluss von Objekten auf den Wert der Kapazität oder Induktivität zu messen.

Induktiver Sensor

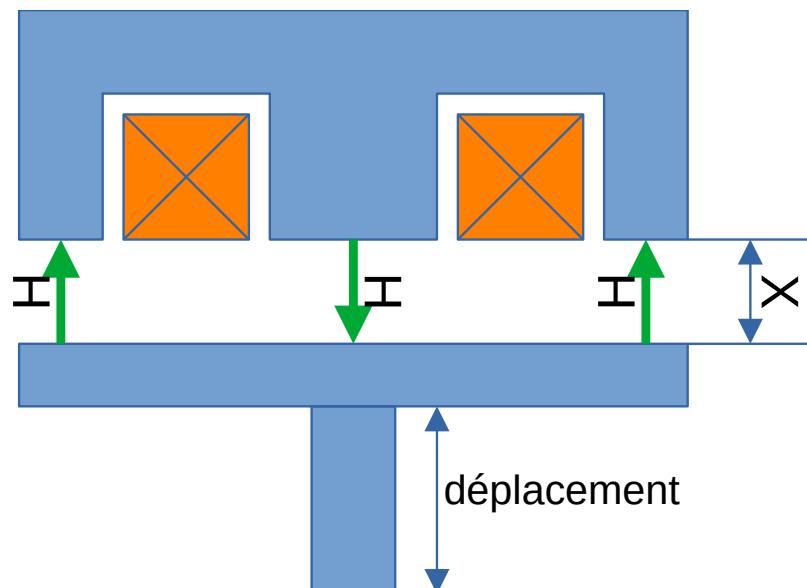


Figure 3: Induktive Positionsmessung

Kapazitiver Sensor

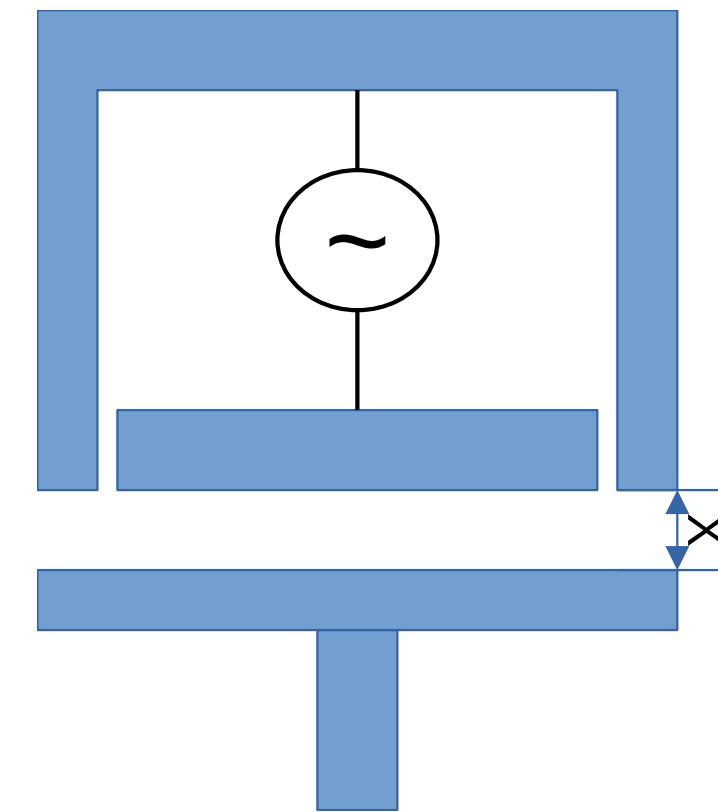
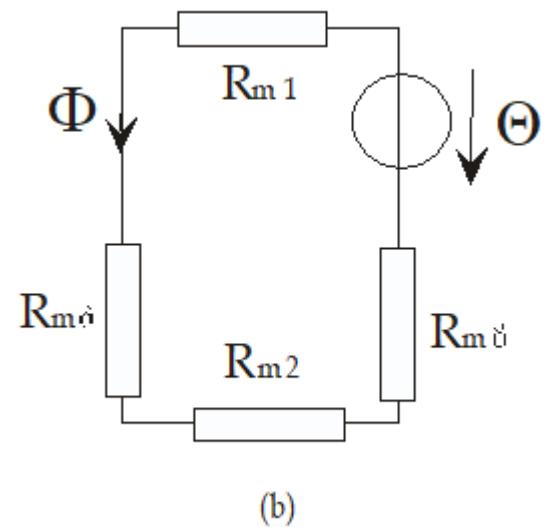


Figure 4: Kapazitive Positionsmessung



Magnetischer Ersatzschaltkreis

5.8 Gleichungen für die induktive Entfernungsmessung

Das von der Spule (Figure 3) erzeugte Feld konzentriert sich im *Luftspalt*. Da die Permeabilität von Luft viel geringer ist als die des Materials, ergibt sich eine Gleichung wie diese (bei einem ausreichend großen Luftspalt) :

$$R_{mx} = \frac{x}{\mu_0 A_x}$$

$$\Theta = N \cdot I$$

$$2R_{mx} \cdot \Phi = \Theta$$

$$L_x = \frac{\Phi \cdot N}{I} = \frac{N^2}{2R_{mx}} = \frac{\mu_0 \cdot A_x \cdot N^2}{2x}$$

Wenn man die Impedanzen des magnetischen Kreises berücksichtigt, kann man die Gleichung für die Induktivität nach@eq-variation-inductance formulieren.

$$L_x = \frac{L_0}{1 + 2\mu_r x/l_m}$$

{#eq-variation-inductance}

Die in dieser Anwendung verwendeten Materialien dürfen nicht leitfähig sein, um die Wirbelströme zu minimieren.

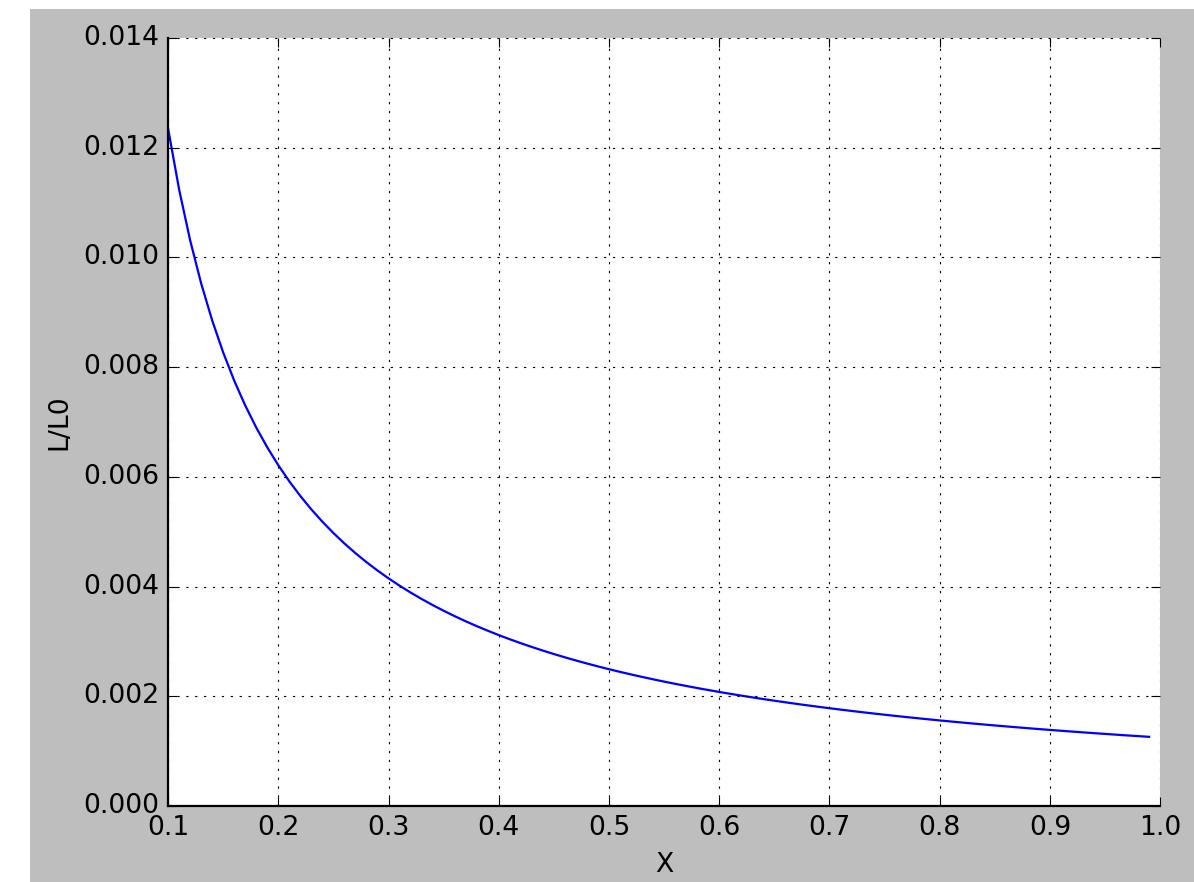


Figure 5: Variation de l'inductance d'un capteur inductif

5.9 Entfernungsmessung mit einem Taucher

Eine bessere Linearisierung erreicht man durch die Bewegung eines Verdrängers.

Hier ändert sich die Fläche, also ist der magnetische Widerstand des linken Luftspalts proportional zur Verschiebung.

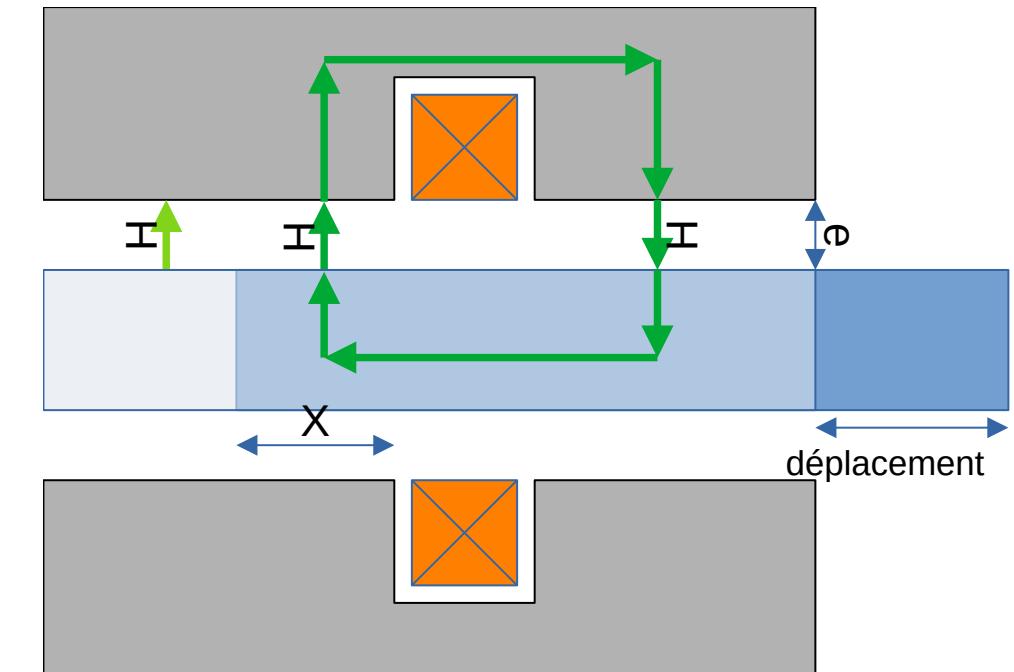
$$R_{mx} = \frac{e}{\mu_0 \cdot p \cdot x}, L_x = \frac{N^2}{R_{mx}} = \frac{N^2 \mu_0 \pi d}{e} \cdot x$$

Mit $p = \pi d$ ist der Umfang des Tauchers gemeint, d ist der Durchmesser.

Was in dieser Berechnung vernachlässigt wird, kommt als nichtlineare Variationen zur Charakteristik hinzu.

Note

Es wird angenommen, dass der Abstand zwischen dem Verdränger und dem Sensor im Vergleich zum Durchmesser des Verdrängers klein ist ($e \ll d$). Der magnetische Widerstand des Magnetkreises wird vernachlässigt.



Messung der Position eines Tauchers

5.10 Vor- und Nachteile eines induktiven Positionssensors

Vorteile

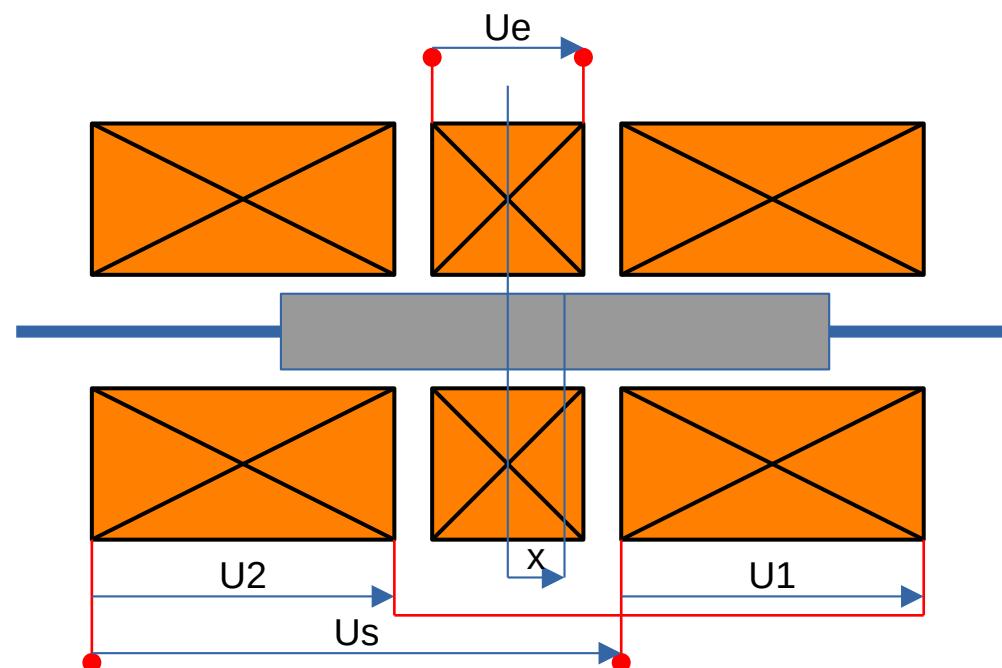
- Bei der Bewegung des beweglichen Teils *gibt es keine Reibung*. Daher kann sie bei häufigen und schnellen Bewegungen eingesetzt werden. Man muss jedoch bedenken, dass die transportierte Masse relativ groß ist.

Nachteile

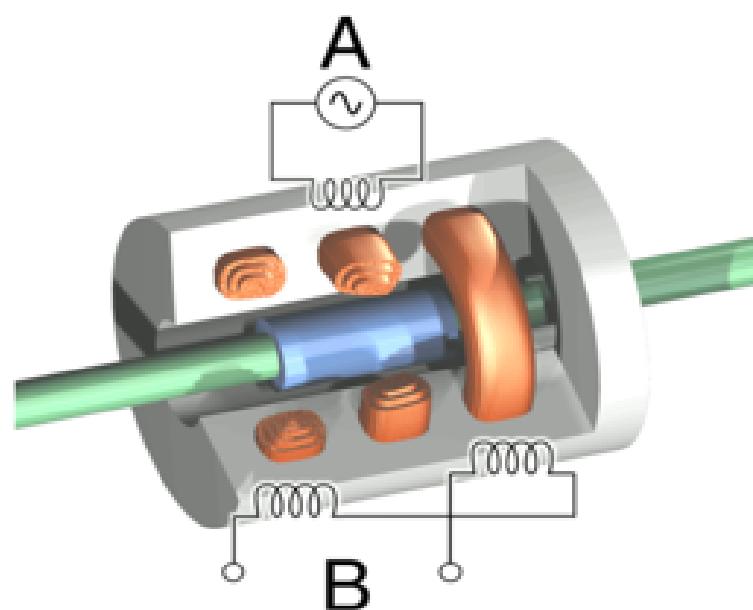
- Der Sensor weist *Nichtlinearitäten* auf. Das formgebende System muss diese Nichtlinearität ausgleichen.
- Die *Umgebungstemperatur* beeinflusst den Widerstand R der Spule und die relative Permeabilität des magnetischen Materials. Dies beeinflusst die Kennlinie und muss kompensiert werden.
- Der induktive Sensor besitzt eine *Abschaltfrequenz*. Diese begrenzt die maximale Bewegungsgeschwindigkeit.
- *Die Hysterese* des magnetischen Materials kann bei der gleichen Position x eine leicht unterschiedliche Induktivität bewirken.

5.11 Differentialtransformator

Der Kern bewegt sich in einem Magnetfeld, das von einer zentralen Spule erzeugt wird. Die Spannung, die an den beiden Wicklungen an den Enden induziert wird, hängt von der Position des Kerns ab.



Differentialtransformator



Differentialtransformator

Die Verbindung der beiden Spulen erfolgt, um die Differenz zwischen den beiden zu messen. Die Ausgabe des Sensors ist proportional zur Position. Sie ist Null, wenn der Verdränger zentriert ist.

5.12 Resolver

Der Resolver ist ein robuster Sensor zur Messung des Winkels einer Achse. Er kann von einem Positionsregler verwendet werden.

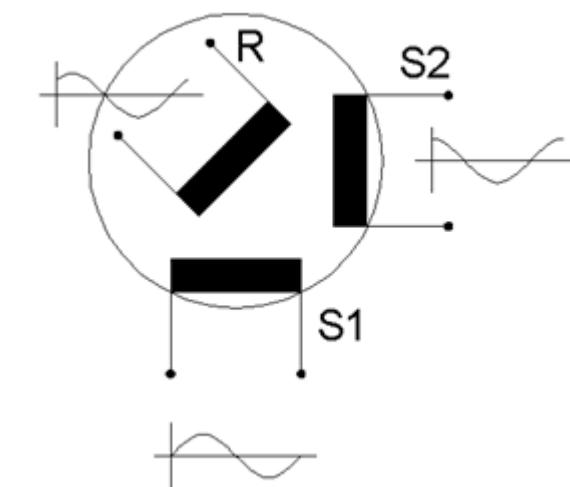
- Im Rotor wird ein Magnetfeld induziert. Um Berührungen zu vermeiden, wird ein Transformator verwendet, um die Energie auf den Rotor zu übertragen.
- Die dem Rotor zugeführte Spule läuft durch das Innere von zwei Spulen, die sich im 90°-Winkel zum Stator befinden. Die Amplitude der Spannung zwischen den beiden Spulen hängt von der Position ab.
- Die Position wird von speziellen Schaltkreisen berechnet.

$$U_r(t) = \sqrt{2} U_r \cdot \sin(\omega t)$$

$$U_{S1}(t) = K \cdot U_r \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\omega t)$$

$$U_{S2}(t) = K \cdot U_r \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\omega t)$$

Wir haben θ , den Winkel des Rotors, und ω die Pulsation des Erregungssignals.



Resolver-Prinzip



Das jupyter notebook `dev_5.1_resolver.ipynb` zeigt, wie sich die Signale entwickeln.

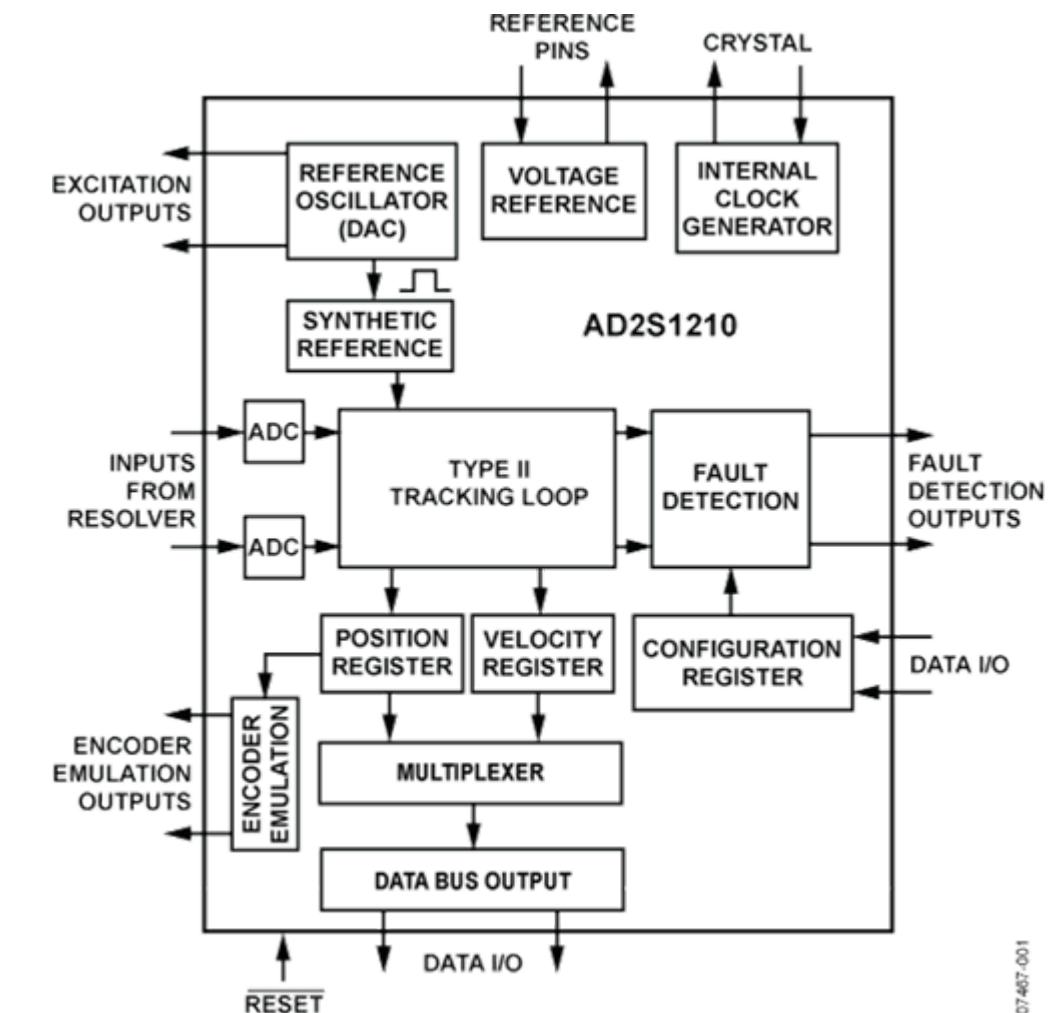
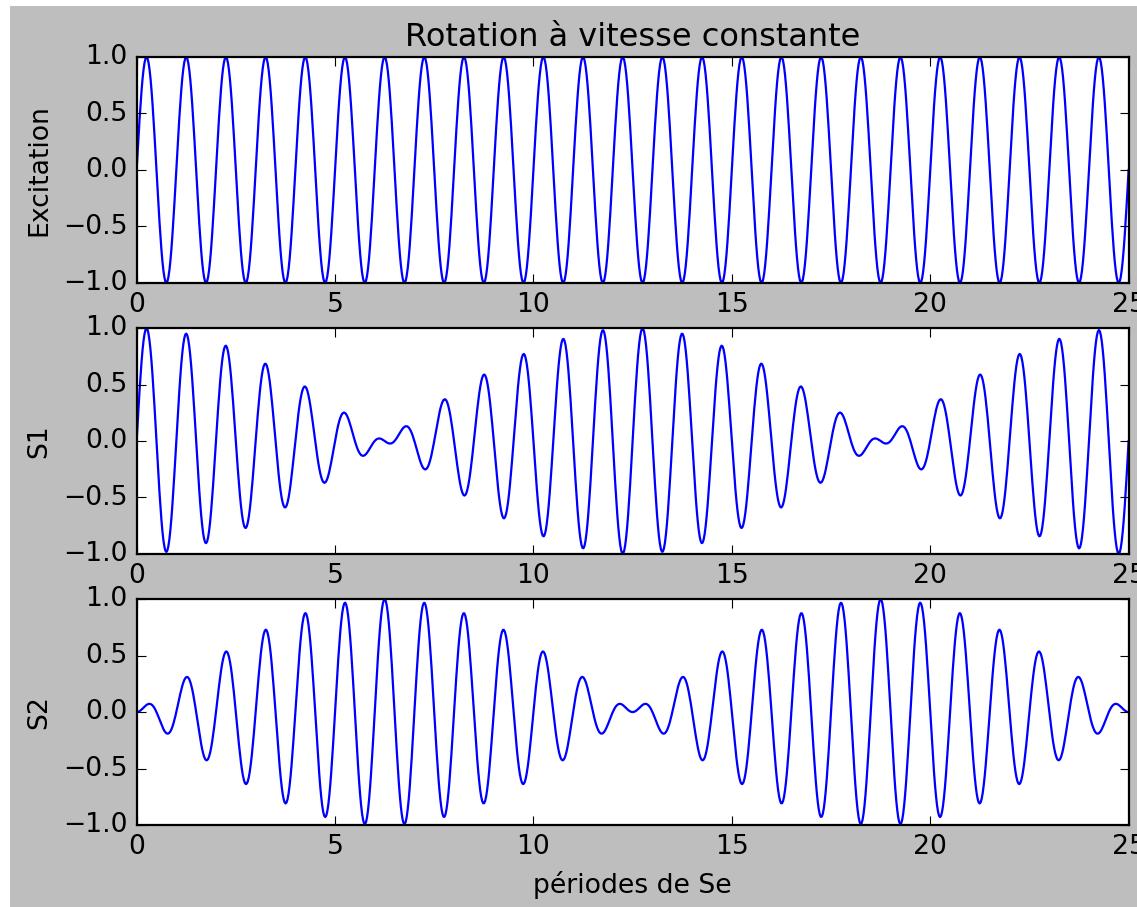
5.13 Einige Resolver



Beispiel für einen Resolver

5.14 Betrieb des Resolvers

Der Resolver liefert Signale, die verarbeitet werden müssen, damit sie genutzt werden können. Das Messprinzip besteht aus einer Verfolgungsschleife (Tracking), die die Position bestimmt, die den gemessenen Signalen entspricht.



07467-001

Beispiel für eine Konvertierungsschaltung



Tip

Wie kommt man von einer alternativen Information zu einer winkelstabilen Information?

5.15 Algorithmus "Resolver to digital"

Signale S_1 und S_2 werden durch die Erregung $S_e = \sin(\omega t)$ moduliert und sind abhängig vom Winkel des Motors θ :

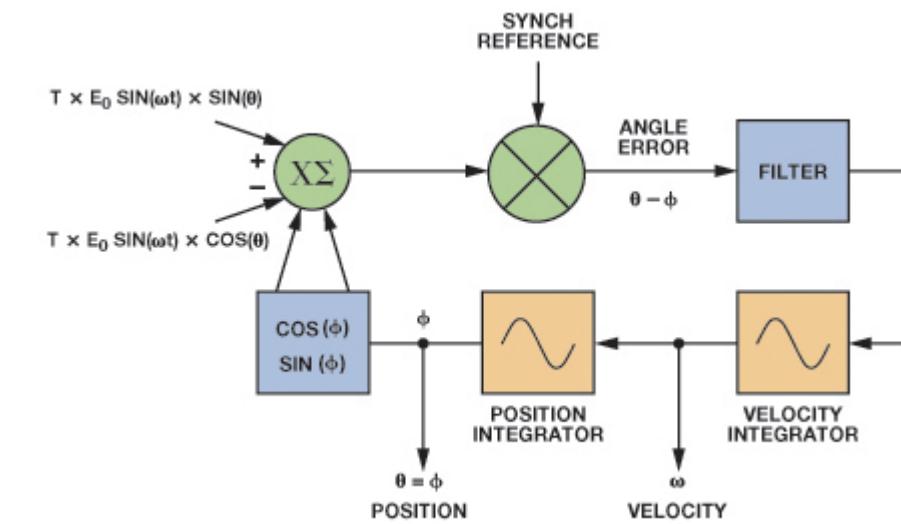
$$S_1 = \cos(\theta) \cdot S_e, S_2 = \sin(\theta) \cdot S_e$$

Man subtrahiert die beiden Signale, nachdem man sie mit \sin und \cos des geschätzten Winkels multipliziert hat $\hat{\theta}$.

$$\begin{aligned} E &= S_e(\cos(\theta) \sin(\hat{\theta}) - \sin(\theta) \cos(\hat{\theta})) \\ &= S_e \cdot \sin(\hat{\theta} - \theta) \end{aligned}$$

Schließlich multipliziert man mit dem Anregungssignal, um ein Signal der Form:

$$D = \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} \cdot \sin(\hat{\theta} - \theta)$$



Decodierung der Signale des Resolvers

Nach der Tiefpassfilterung eliminieren wir die doppelte Frequenz, um Folgendes zu erhalten

$$D_{filtre} = \frac{1}{2} \sin(\hat{\theta} - \theta)$$

Dieses Signal ist bei kleinen Unterschieden proportional zum Winkelfehler zwischen der Schätzung und dem Rotor, sodass der Winkel $\hat{\theta}$ korrigiert werden kann, um diesen Fehler aufzuheben.

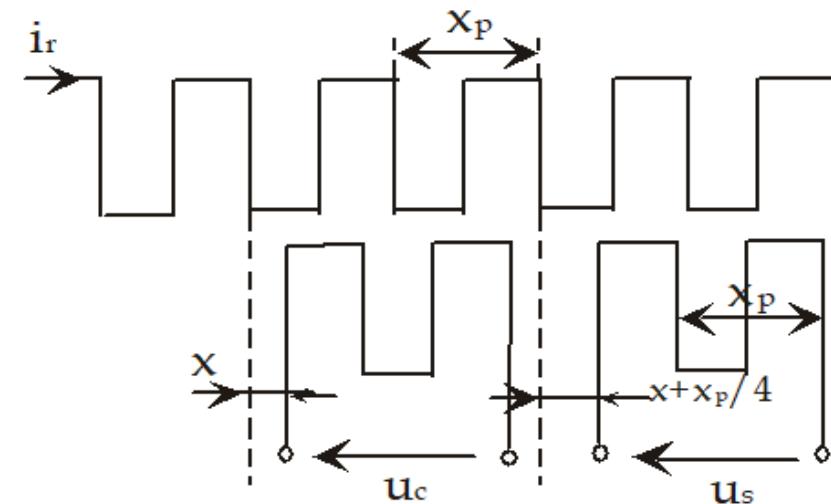


Tip

Mit dem jupyter notebook dev_5.1_resolver.ipynb kann die Entwicklung im Detail analysiert werden.

5.16 Inductosyn

Ein Inductosyn-Sensor (Marke) funktioniert ähnlich wie ein Resolver, verwendet aber Spuren auf einer Leiterplatte. Die Induktivitäten sind geringer, daher werden höhere Erregerfrequenzen verwendet.



Prinzip der Inductosyn(r)

Die gegenseitige Induktion zwischen der Spur, die den Referenzstrom trägt, und der Lesespur erzeugt eine Spannung. Sie ist maximal, wenn die Spuren übereinander liegen, umgekehrt, wenn die Spuren gegeneinander verlaufen.



Produktbeispiel

5.17 Vor- und Nachteile von Resolvern

Vorteile

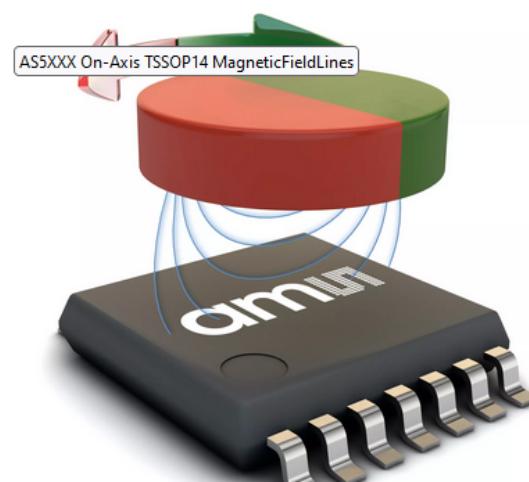
- Hohe Genauigkeit

Nachteile

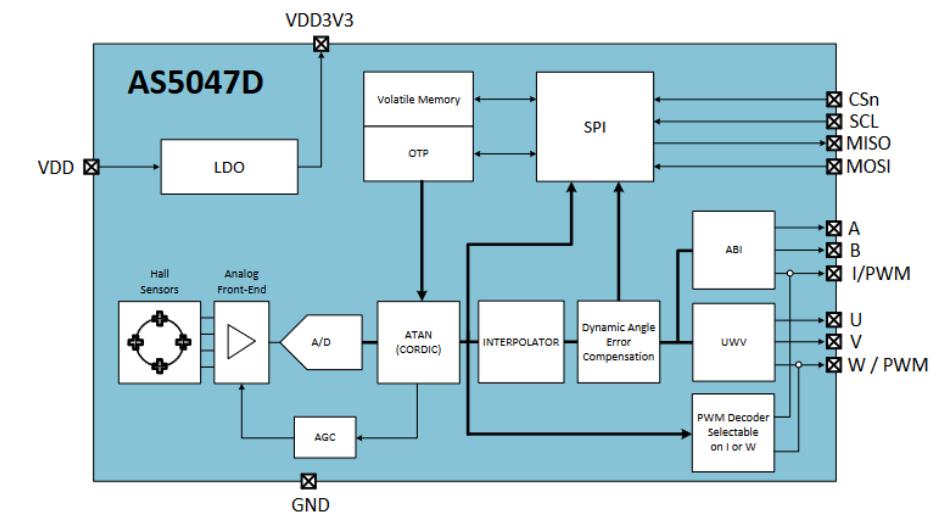
- Die Notwendigkeit der Demodulation.
- Kein Ausgang, der direkt von einem digitalen System verwertet werden kann: Notwendigkeit eines Analog-Digital-Wandlers.

5.18 Magnetfeldsensor

Es ist möglich, einen Winkel anhand einer Messung des Magnetfelds zu messen. Wenn ein Magnet an einem Baum angebracht wird, kann ein Feld von Hallsonden seine Ausrichtung messen.

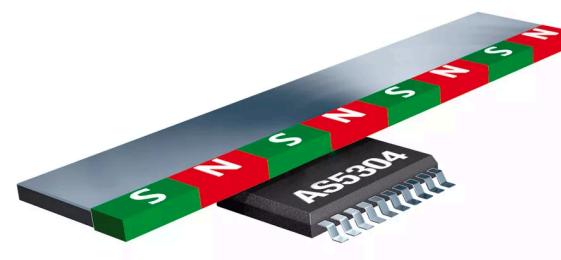


Winkelmessung mit einem AS5047D-Ams

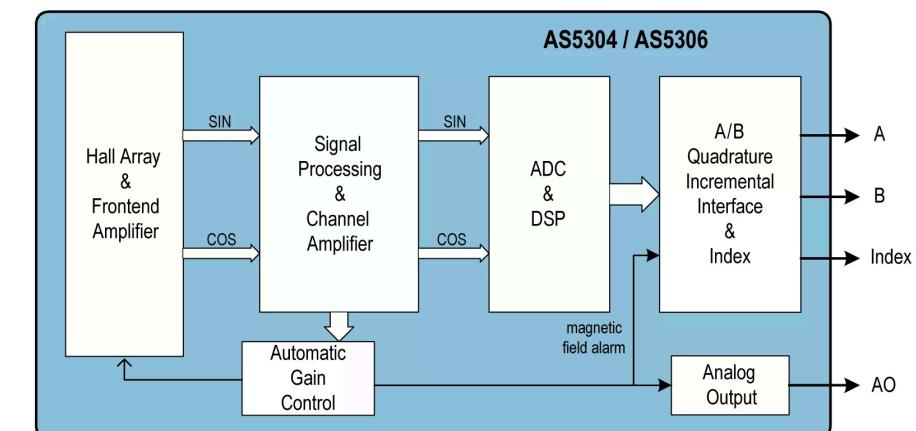


Blockdiagramm der Schaltung: A/B- und SPI-Schnittstelle

Dasselbe Prinzip lässt sich auch in einer linearen Version abwandeln:



Winkelmessung



Formatierung

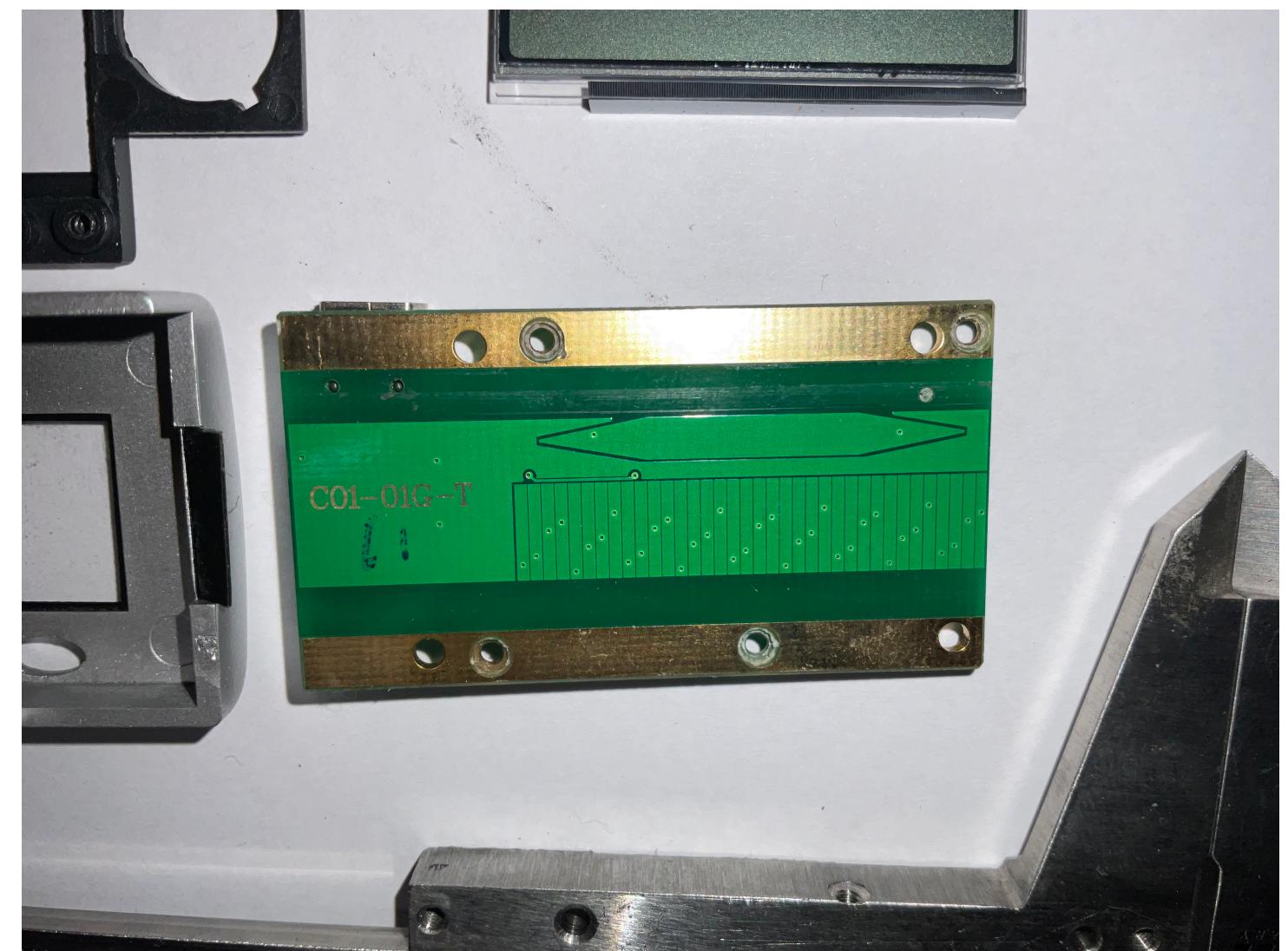
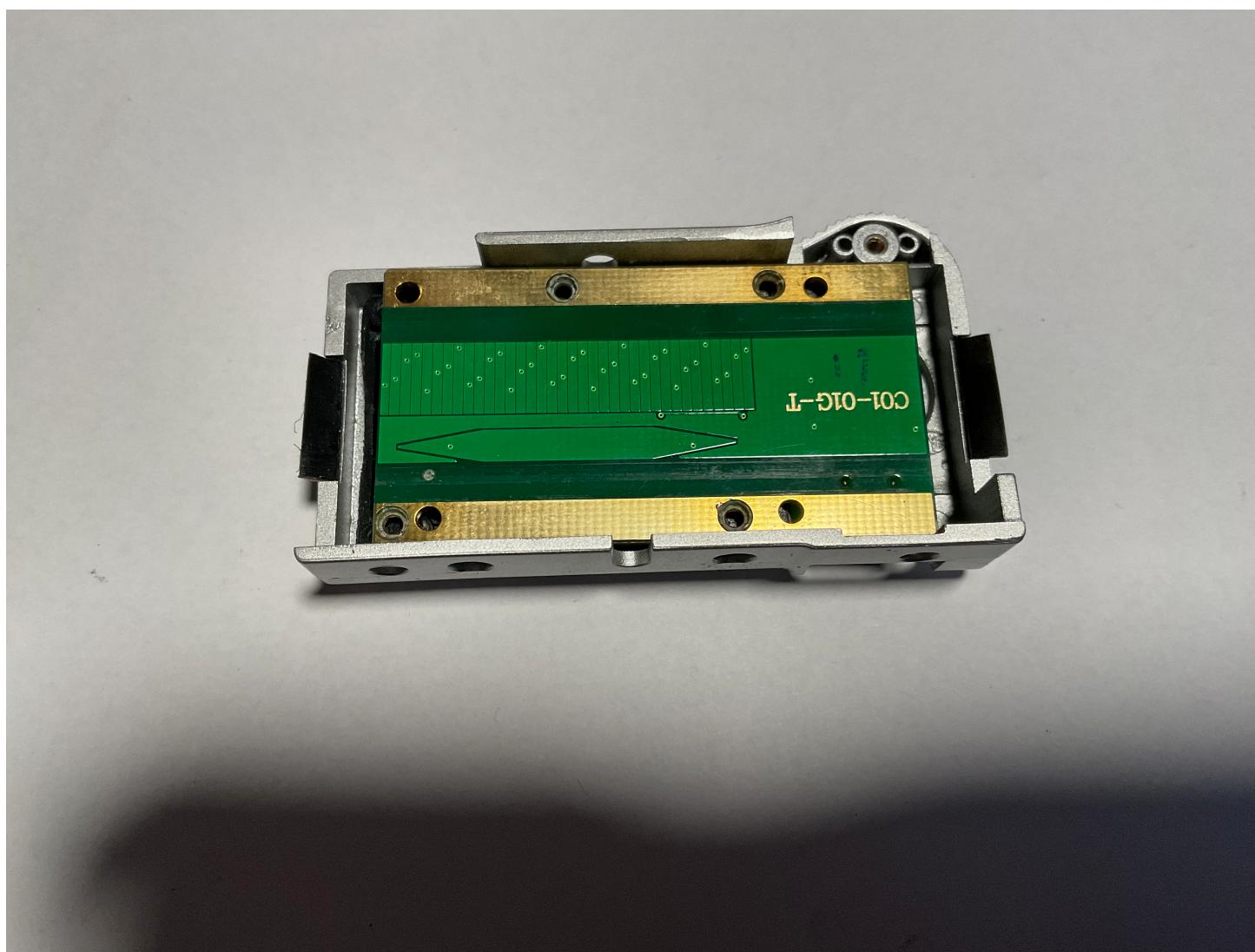
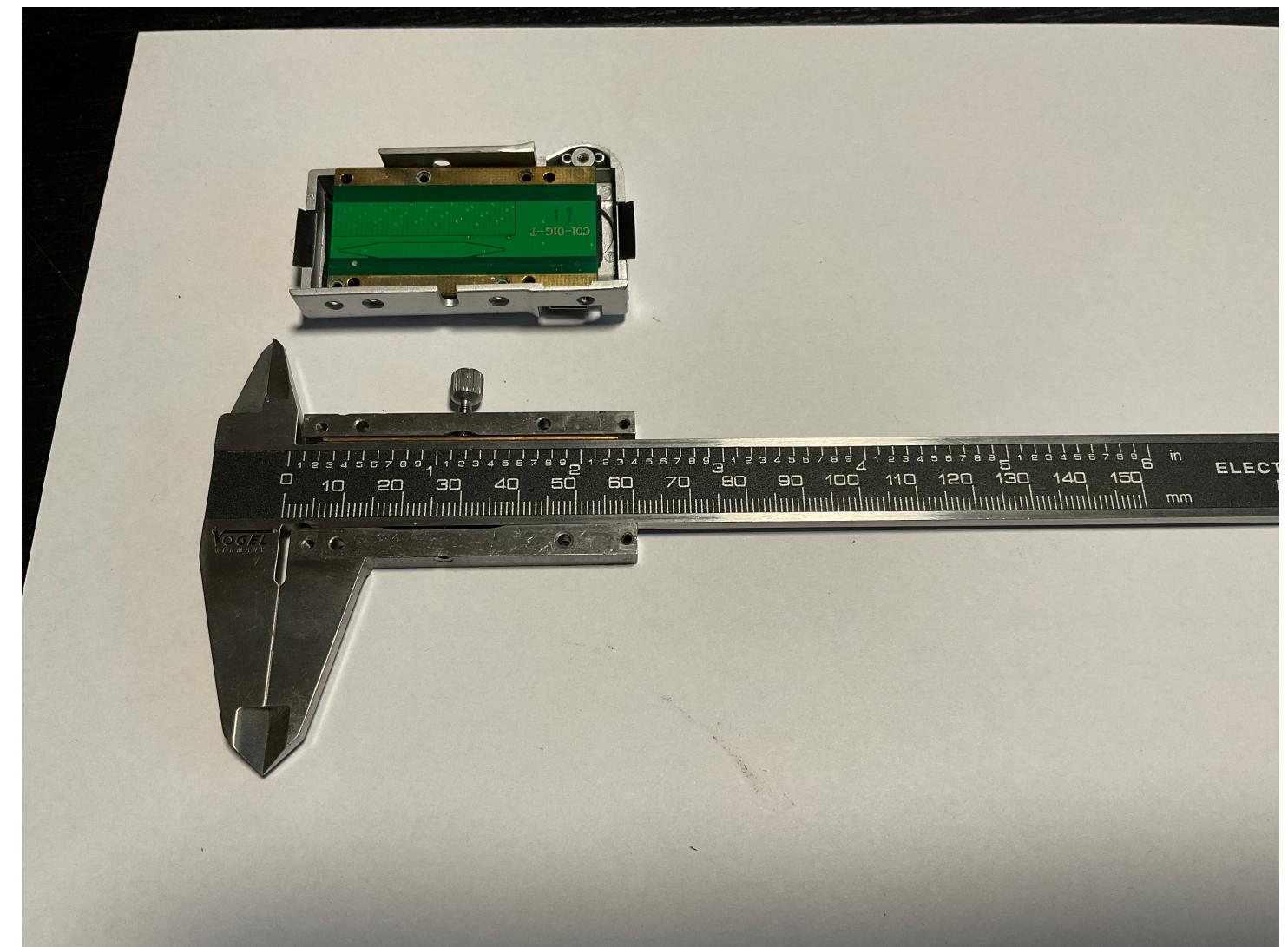
5.19 Elektronischer Messschieber

Ein elektronischer Messschieber arbeitet auf kapazitiver Basis.

- Auf dem beweglichen Teil sind Spuren geätzt.
- Die Messschaltung injiziert über eine kapazitive Kopplung eine Wechselspannung an eine Elektrode.
- Die Messelektroden sind so platziert, dass sie positionsabhängige Signale zurückgewinnen.

Reflexion

Wie funktioniert das?



5.20 Übungen

⚠ Positionsmessungen

1. Berechnen Sie die Wirkung eines Lastwiderstands auf ein Potentiometer (Schema §5.4). Ermitteln Sie den maximalen Fehler über den Arbeitsbereich.
2. Bei dem kapazitiven Sensor in der Skizze in §5.7 wird der Strom gemessen, der durch die Quelle fließt (runder Generator in der Mitte). Dieser Strom wird gemessen, indem man die Spannung an einem Widerstand misst.
 - Was wird als Signal gemessen?
 - Wie lässt sich aus dieser Messung die Position X ableiten?
 - Schlagen Sie Werte für die Abmessungen, die Spannung des Generators und den Wert des Widerstands vor, die diese Schaltung realisierbar machen. Welcher Strom fließt, welche Spannung wird am Widerstand gemessen, wie verändert sich diese Spannung bei einer Position, die von 1 mm bis 100 mm reicht.
3. Kann man die Position einer Welle mit den Momentanwerten, die ein Resolver liefert, ermitteln?