

4. Sensoren zur Strom- und Drehzahlerfassung

4.1 Stromwandler

Stromwandler zählen zu der Kategorie der Messwandler bzw. der Messgeräte. Ein Stromwandler dient der potentialfreien Messung von Wechselströmen. Der Aufbau eines Stromwandlers entspricht dem Aufbau eines Transformators.

Der Stromwandler verfügt über Primär- und Sekundärwindungen. Die Primärwindungen N_1 , die meist nur wenige bis eine einzige Spule aufweisen, werden von einem zu messenden Strom I_1 durchflossen. Sekundärseitig arbeitet der Stromwandler im Kurzschluss und ist mit einer größeren Anzahl an Spulen N_2 ausgestattet. Der sekundärseitige Strom I_2 ist dem primärseitigen Strom proportional verringert. Das Verhältnis der Stromreduzierung ist proportional der Anzahlen der Primär- und Sekundärwindungen. Zwischen Primärstrom und Sekundärstrom besteht Phasengleichheit.

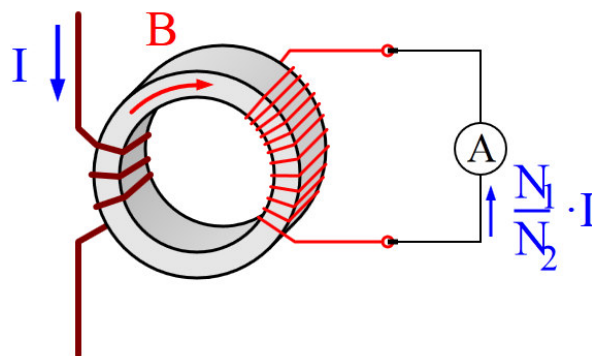


Bild 4.1. Aufbau eines Stromwandlers

Der auf der Sekundärseite zu erwartende Strom kann mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$I_2 = k \cdot I_1 = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1$$

Die Ausgangsspannung $[U_2]$ wird beeinflusst indem ein sekundärseitig, im Nebenschluss angeordneter Widerstand $[R]$ so angepasst wird, dass nachgeschaltete Elemente ohne Verstärkung betrieben werden können. Zur Berechnung dient folgende Gleichung:

$$U_2 = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1 \cdot R$$

Die Windungen eines Stromwandlers werden um einen Weicheisen-Kern gelegt. Die Auslegung des Kerns richtet sich nach der Anzahl der Windungen N_{ges} , dem verwendeten Material mit dessen Flussdichte B sowie der Querschnittsfläche des magnetischen Kerns. Des Weiteren ist die Frequenz f der Wechselspannung zu berücksichtigen.

Die minimale Anzahl der zu verwendenden Windungen berechnet sich nach der Gleichung:

$$N_{ges} = \frac{U_2}{4,44 \cdot f \cdot A \cdot B}$$

Je nach Ausführung bestehen Stromwandler nur aus der Sekundärspule und dem magnetischen Kern. Die Primärwicklung wird durch eine stromdurchflossene durchgesteckte Leitung ersetzt und hat in diesem Fall nur eine Windung. Dieser Aufbau wird in Messzangen oder sogenannten LEM-Wandlern verwendet.

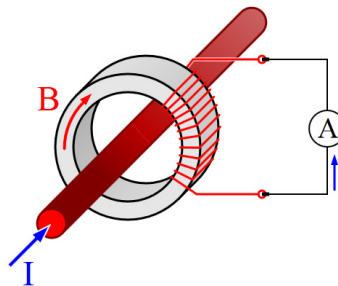


Bild 5.2. Aufbau eines Durchsteckstromwandlers

4.2 Direkt abbildende Stromsensoren

Direkt abbildende Stromsensoren, auch LEM-Wandler genannt, können gegenüber konventionellen Stromwandlern nicht nur Wechselspannungen messen, sondern ermöglichen eine Gleichspannungsmessung. Der LEM-Wandler arbeitet mit dem Hall-Effekt. Ein Hallsensor wird in einem Luftspalt des Spulenkerns vom Durchsteckstromwandler untergebracht. Der Hallsensor wird in seiner Längsrichtung von einem Strom durchflossen. Ohne das Einwirken eines Magnetfeldes auf den Hallsensor lässt sich in Querrichtung des Sensors keine Hallspannung detektieren. Sobald jedoch der Leiter im inneren des Spulenkerns einen Strom trägt, so verursacht dies ein Magnetfeld auf die Ladungsträger des Hallsensors was zu einer messbaren Hall-Spannung führt. Die Hallspannung gibt Aufschluss über die Höhe des Gleichstroms indem über einen Regler genau so viel Strom [I_{LEM}] durch die Sekundärwicklung geschickt wird, dass die elektromagnetische Induktion im Luftspalt null wird.

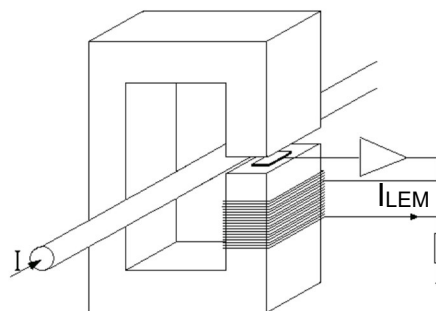


Bild 4.3. Aufbau eines LEM-Wandlers

Die Spannung an der Sekundärspule kann wie folgt bestimmt werden:

$$U_2 = I_{LEM} \cdot R$$

Aus dem Produkt der Spannung und der Windungsanzahl, dividiert durch die Höhe des LEM-Widerstands kann die Stromstärke im Leiter bestimmt werden:

$$I = \frac{N}{R} \cdot U_2$$

Mit folgendem Zusammenhang kann die Stromstärke direkt bestimmt werden:

$$I = N \cdot I_{LEM}$$

Der Spulenkern von LEM-Wandlern besteht aus geschichteten Elektroblechen und verfügt über einen Luftspalt. In diesem Spalt ist der Hall-Sensor untergebracht.

4.3 Drehgeber als Inkrementalgeber

Inkrementelle Messsysteme sind dadurch gekennzeichnet, dass der Messweg in gleich große Intervalle zerlegt ist. Mittels Inkrementalgeber wird bei rotationssymmetrischen Teilen der Winkelweg gemessen. Inkrementelle Drehgeber sind mit einer Kreisscheibe versehen, die sogenannte Inkrementalscheibe. Diese wird auf einer rotierenden Welle fixiert. Bei einem optischen Prinzip ist die Inkrementalscheibe abwechselnd mit geschlitzten und vollen Feldern versehen. Durch die Schlitze der Scheibe verläuft ein Lichtstrahl, der auf der anderen Seite durch einen optoelektronischen Sensor erfasst wird. Wird die Scheibe gedreht, erzeugt der Sensor ein sinusförmiges Impulssignal das sich proportional zum Drehwinkel der Scheibe verhält, wie in Bild 5.5 dargestellt. Ist die Scheibe in 32 Inkremente eingeteilt so beträgt die Auflösung $11,25^\circ$ pro Impuls.

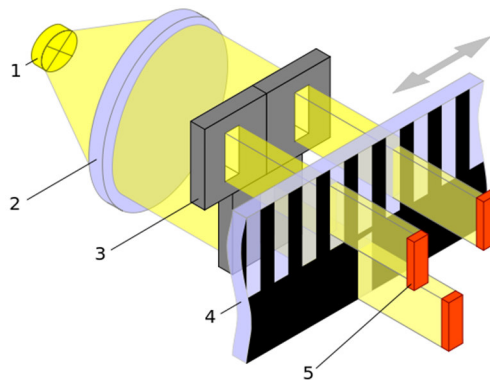


Bild 4.4. Funktion des optischen Abtastsensors, hier mit Drehrichtungserkennung

[Quelle: Wikipedia]

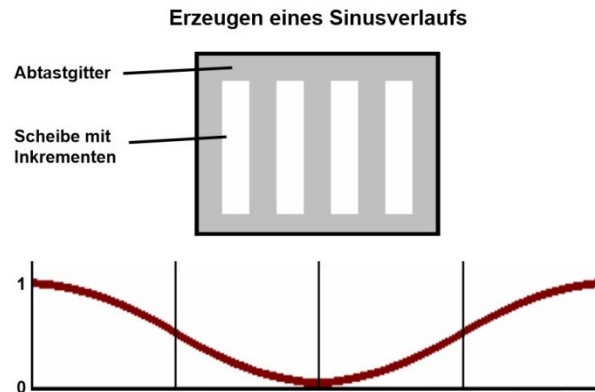


Bild 4.5. Abtastgitter und Sinusverlaufs des Signals über ein Inkrement, und zwar halbes Fenster (1. Teilung), Steg (2. und 3. Teilung) und halbes Fenster (4. Teilung)

Die Sinuskurve wird mithilfe eines Spannungskomparators (Schmitt-Trigger) in Rechtecksignale umgewandelt, diese werden mittels OPV den nachgeschalteten Bauteilen zur Verfügung gestellt. In nachfolgender Gleichung ist der Zusammenhang zwischen Frequenz f , der Drehzahl n sowie der Teilung der Inkrementalscheibe Z beschrieben:

$$f = n \cdot \frac{Z}{60s}$$

Die im Motor ist ein Inkrementalgeber verbaut. Der Geber wird mit einer Impulszahl von 980 betrieben, was einer Auflösung r von $0,36734^\circ$ bzw. $0,0064$ rad pro Impuls entspricht.

Der Nachbau des Gebers erfolgt in Simulink mit Hilfe des Simulink Block „Quantizer“, der abhängig eines eigetragenen Intervalls das Eingangssignal diskretisiert. Das Eingangssignal des „Quantizer“ ist die Position der Motorwelle im Bogenmaß, somit muss als Intervall der Wert von $r = 0,0064$ eingetragen werden. Ausgangssignal ist die wertdiskretisierte Position der Welle.

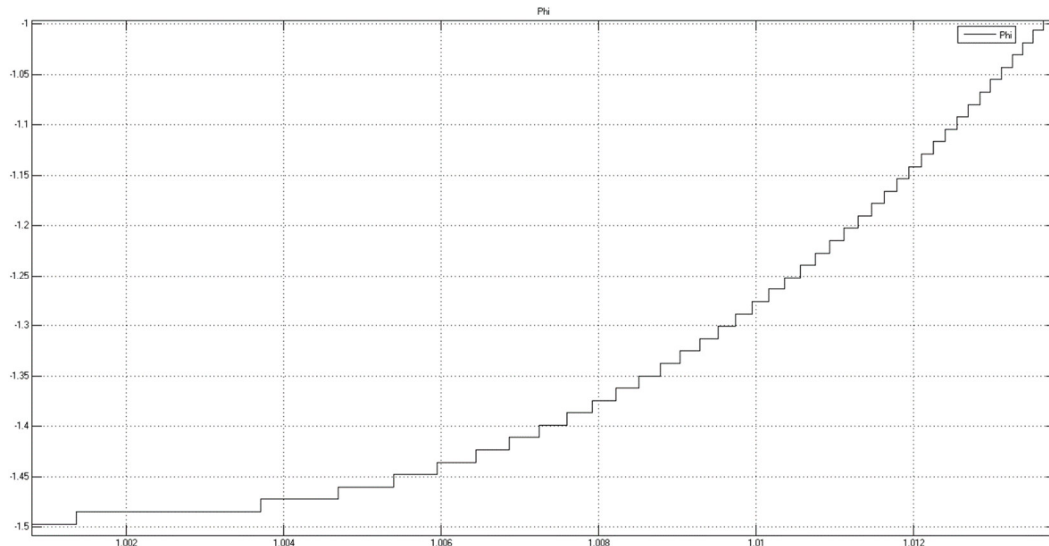


Bild 4.6 Wertdiskretes Winkelsignal der Wellenposition über der Zeit

In der Realität erfolgt die Auswertung des Inkrementalgebers durch ein Steuergerät auf Basis eines Mikrocontrollers. Dieser zählt die ankommenden Impulse und berechnet zu einem festen Zeitintervall die Winkelgeschwindigkeit.

$$\omega = \frac{i \cdot r}{T}$$

$$\text{Mit } i = \sum_0^T \text{Impulse} = \text{Anzahl der Impulse pro Abtastzeit } T$$

Da der Ausgang des Quantisierers die wertdiskrete Position und keine Impulse ausgibt, muss der innerhalb des Zeitintervalls t zurückgelegte Winkel zunächst berechnet werden.

$$\Delta\varphi = \varphi_n - \varphi_{n-1}$$

$$-\omega = \frac{\Delta\varphi}{T}$$

Um in Simulink die Winkeldifferenz zu einem festen Intervall zu berechnen wird ein getriggertes Subsystem verwendet. Alle Blöcke innerhalb dieses Subsystems werden nur bei steigender Flanke des Triggereingangs ausgeführt. An den Triggereingang

wird ein Pulsgenerator mit einer Frequenz von beispielsweise 100 Hz angeschlossen. Das Subsystem wird dementsprechend alle $T = 10\text{ms}$ aufgerufen, der Signaleingang eingelesen, vom vorherigen Wert des Eingangs subtrahiert, für einen Takt gespeichert und als $\Delta\varphi$ ausgegeben. Die Winkeldifferenz muss anschließend noch durch die Abtastzeit T dividiert werden.

Damit erhält man ein Wert- und Zeitdiskretes Signal der Winkelgeschwindigkeit.

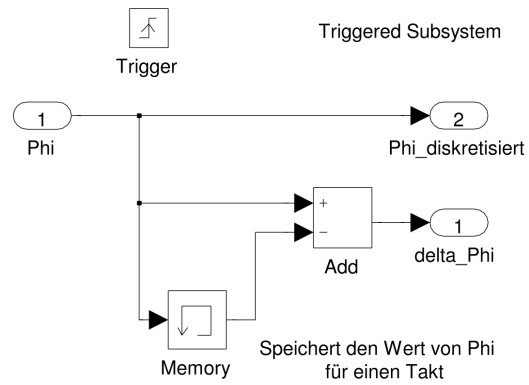


Bild 4.8 Triggered Subsystem des Inkrementalwertgebers