

Drehzahl- und Drehrichtungserfassung

Richtungserkennung mit Hall-Schalter

In vielen Anwendungsfällen müssen die Drehzahl und die Drehrichtung eines Motors bekannt sein. Diese Parameter können komfortabel mit einem Hall-Schalter und einem magnetisierten Polrad erfasst werden, das auf der Welle des Motors befestigt ist.

Zur Bestimmung der Drehrichtung werden zwei Sensoren verwendet, die sich in einem bestimmten Abstand befinden (Bild 1). Die Richtungsinformation wird dann aus der Phasendifferenz der zwei Ausgangssignale der Hall-Elemente S1 und S2 ermittelt. Der TLE4966V-1K besteht aus zwei Hall-Elementen mit einem Abstand von $d = 1,25 \text{ mm}$ und berechnet diese Information intern. An einem Ausgangskontakt liegt die Richtungsinformation (HI/LO) an, was „links“ bzw. „rechts“ entspricht, während die Geschwindigkeit über einen zweiten Ausgangskontakt ausgegeben wird.

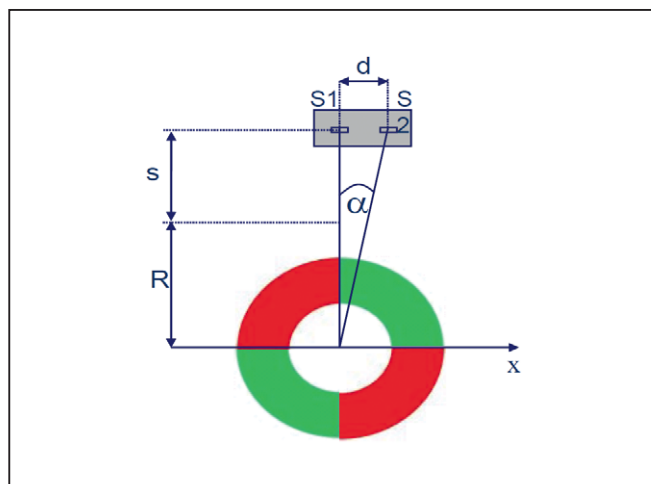


Bild 1: Konfiguration mit Polrad und Doppel-Hall-Sensor TLE4966V-1K

Die Zuverlässigkeit der ausgegebenen Richtungsinformation hängt allerdings von verschiedenen Parametern und von der Auslegung des Magnetschaltkreises ab. Dieser Beitrag dient als Leitfaden für die Auslegung des Magnetschaltkreises und erläutert den Einfluss der Para-



meter (z. B. magnetische Feldstärke, Geometrie des Polrads, Abstand zum Sensor).

Mechanismus der Richtungserkennung

Das Grundprinzip des Algorithmus der Richtungserkennung, der im TLE4966V-1K verwendet wird, basiert auf der Tatsache, dass zwei interne Signale mit einer bestimmten Phasenverschiebung erzeugt werden (von den Hall-Elementen S1 bzw. S2). Die Drehrichtung entspricht dem Vorzeichen dieser Phasenverschiebung (d.h. sie lässt sich daraus ableiten, welcher Sensor zuerst schaltet). Bild 2 zeigt das Blockschaltbild des TLE4966V-1K.

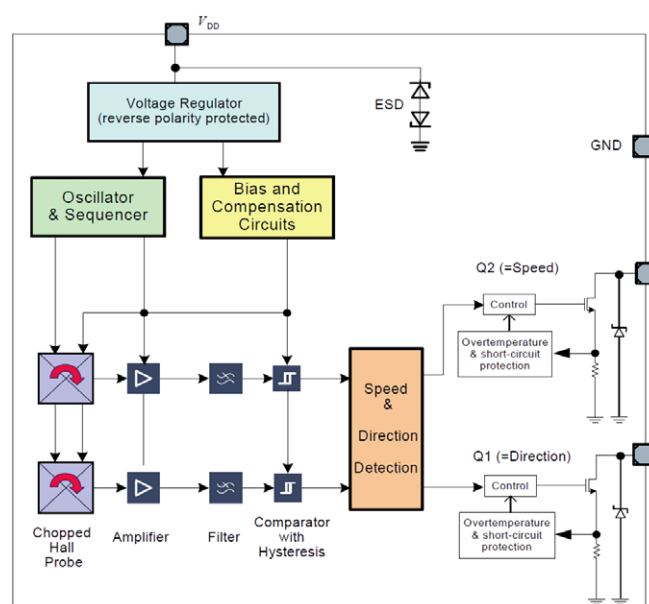


Bild 2: Blockschaltbild des TLE4966V-1K

Der Chopped-Doppel-Hall-Schalter umfasst zwei Hall-Sonden S1 und S2, einen Bias-Generator, Kompensationsschaltungen, einen Oszillator und Ausgangstransistoren.

Der Bias-Generator liefert den Strom für die Hall-Sonden und die aktiven Schaltkreise. Kompensationsschaltungen stabilisieren das Temperaturverhalten und verringern technisch bedingte Schwankungen.

Die aktive Fehlerkompensation verhindert, dass Abweichungen in Signalstufen auftreten und die Hall-Sonden durch mechanische Spannungen im Gehäuse beeinflusst werden, die durch das Umspritzen, Löten und andere thermische Beanspruchungen verursacht werden. Diese Chopper-Technik gewährleistet zusammen mit dem Schwellwertgenerator und dem Komparator, dass die Magnetschaltpunkte eine hohe Genauigkeit aufweisen.

Der Algorithmus der Richtungserkennung berücksichtigt die Schaltvorgänge der zwei Komparatoren der zwei Sensorelemente S1 und S2 und bestimmt daraus die Drehrichtung.

In Bild 3 sind die zwei internen phasenverschobenen Signale von S1 und S2 dargestellt.

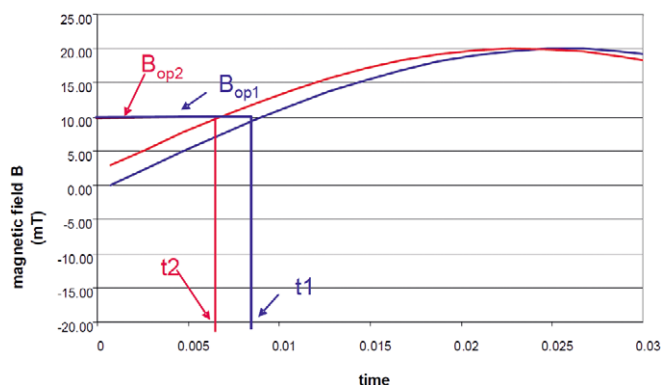


Bild 3: Interne phasenverschobene Signale von S1 und S2

Im Idealfall sind die Magnetparameter (B_{op} , B_{rp}) der zwei Hall-Elemente S1 und S2 gleich. Wegen der Phasenverschiebung der Signale erreicht S2 im Beispiel in Bild 3 den Betriebspunkt B_{op2} vor dem Hall-Sensor S1. Daraus wird die Richtungsinformation bestimmt.

In der Praxis existiert allerdings aufgrund von Prozess- und Fertigungstoleranzen stets eine Diskrepanz zwischen den Magnetparametern von S1 und S2. Der Abgleich der magnetischen Eigenschaften wird als Magnetabgleich B_{Match} bezeichnet ($B_{Match} = B_{op1} - B_{op2}$). Beim TLE4966 beträgt der Magnetabgleich B_{Match} bei Raumtemperatur weniger als ± 1 mT (Informationen dazu gibt das zugehörige Datenblatt).

Unter bestimmten Bedingungen kann es vorkommen, dass die gelieferte Richtungsinformation falsch ist. Das hängt von der magnetischen Feldstärke, der Geometrie und dem Wert von B_{Match} ab. Bild 4 zeigt ein solches Beispiel, in dem der Sensor S1 die Schwelle B_{op1} erreicht, bevor der Sensor S2 die Schwelle B_{op2} erreicht. Das führt, verglichen mit dem korrekten Wert (Bild 3, S2 vor S1), zu einer falschen Berechnung der Drehrichtung.

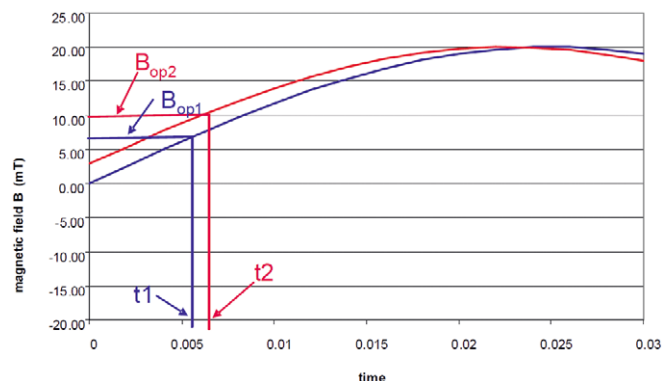


Bild 4: Falsche Richtungsinformation (vgl. Idealfall in Bild 3)

Das folgende Kapitel enthält eine mathematische Beschreibung dieses Effekts. Mit den angegebenen Gleichungen lässt sich abschätzen, ob der Magnetschaltkreis robust genug ist, um stets die korrekte Drehrichtungsinformation zu liefern.

Mathematische Beschreibung

In Bild 1 ist die Geometrie des Aufbaus dargestellt. R ist der Radius des Polrads, s ist der Abstand zwischen dem Polrad und dem Sensorelement, und d ist der Abstand der Sensorelemente S1 und S2. Beim TLE4966V beträgt $d = 1,25$ mm. Aufgrund dieses räumlichen Abstands zwischen S1 und S2 kommt es zu einer Phasenverschiebung des Magnetsignals an den Sensorelementen S1 und S2. Diese Phasenverschiebung F lässt sich mit der folgenden Gleichung (1) berechnen, in der N die Anzahl der Polpaare des Polrads bezeichnet.

$$\Phi = N \cdot \alpha = N \cdot \arctan\left(\frac{d}{s+R}\right) \quad (1)$$

Es ist offensichtlich, dass sich die korrekte Drehrichtung umso leichter erkennen lässt, je größer die Phasenverschiebung F ist.

Das Magnetfeld $B_1(t)$ und $B_2(t)$ und die Position der Sensorelemente S1 und S2 können durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden (Gleichung (2)), wobei ein sinusförmiges Magnetfeld angenommen wird.

$$B_2(t) = B_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \Phi), B_1(t) = B_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2)$$

Der Sensor schaltet zum Zeitpunkt t_1 und t_2 , sobald $B_1(t_1) = B_{op1}$ und $B_2(t_2) = B_{op2}$ ist.

Mit Hilfe der Gleichung (2) lassen sich die Zeiten t_1 und t_2 wie folgt ausdrücken:

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \cdot \text{asin}\left(\frac{B_{op1}}{B_0}\right) \quad (3)$$

$$t_2 = \frac{1}{\omega} \cdot \left[\text{asin}\left(\frac{B_{op2}}{B_0}\right) - \Phi \right]$$

Durch Einführung des Magnetabgleichs

B_{Match} als $B_{Match} = B_{op1} - B_{op2}$ erhält man Gleichung (4):

$$t_2 = \frac{1}{\omega} \cdot \left[\text{asin}\left(\frac{B_{op1} - B_{Match}}{B_0}\right) - \Phi \right] \quad (4)$$

Solange sich das Vorzeichen von $t_2 - t_1$ nicht ändert, ist die berechnete Richtung korrekt. Falsch wird die Berechnung, wenn $t_2 = t_1$ wird. Das stellt den ungünstigsten Fall dar, der berücksichtigt werden muss, damit keine Fehler in der Berechnung der Drehrichtung auftreten. Durch Einsetzen des Ausdrucks für F aus Gleichung (1) erhält man die schließlich Gleichung (5):

$$\text{asin}\left(\frac{B_{op1}}{B_0}\right) = \text{asin}\left(\frac{B_{op1} - B_{Match}}{B_0}\right) - \left(N \cdot \text{atan}\left(\frac{d}{s + R}\right)\right) \quad (5)$$

Für $d = s + R$ gilt die Näherung $\text{atan}(x) = x$. Das führt zu Gleichung (6):

$$\text{asin}\left(\frac{B_{op1}}{B_0}\right) = \text{asin}\left(\frac{B_{op1} - B_{Match}}{B_0}\right) - \frac{N \cdot d}{s + R} \quad (6)$$

In dieser Gleichung bezeichnet B_{op1} den Betriebspunkt des Sensors, B_0 ist die Amplitude des Magnetfelds am Sensorelement, B_{Match} beschreibt den Magnetabgleich, N und R stehen für die Anzahl der Polpaare und den Radius des Polrads, und $d = 1,25$ mm ist der Abstand der Sensorelemente im TLE4966. Diese Gleichung lässt sich numerisch lösen, und es kann die Mindestamplitude B_0 des Magnetfelds bestimmt werden, die erforderlich ist, um bei gegebenem Polrad und gegebener Geometrie des Magnetschaltkreises eine korrekte Informationen über die Drehrichtung zu liefern.

Wegen der gemachten Annahmen und der Vereinfachungen im Modell handelt es sich bei dem für B_0 erhaltenen Wert lediglich um eine Näherung. Er gibt jedoch einen

guten Hinweis darauf, ob der Magnetschaltkreis robust genug ist, um eine korrekte Information über die Drehrichtung zu liefern. Bei der Auslegung eines solchen Magnetschaltkreises sollte ein Sicherheitszuschlag vorgesehen werden, um die getroffenen Vereinfachungen zu berücksichtigen. Außerdem muss das Temperaturverhalten des Magnetmaterials berücksichtigt werden. Im Allgemeinen nimmt die magnetische Flussdichte mit der Temperatur ab, bei Ferritmagneten um bis zu -2000 ppm/K. Bei der Auslegung von Magnetschaltkreisen, die im gesamten Temperaturbereich des jeweiligen Anwendungsfalls arbeiten sollen, muss diese Verringerung berücksichtigt werden.

Beispiel

In diesem Kapitel wird ein Beispiel dafür gezeigt, wie die Zuverlässigkeit der berechneten Richtungsinformation von der Geometrie und dem Polrad abhängt. Es wird die Mindestamplitude B_{min} des Magnetfelds abgeschätzt, die erforderlich ist, um einen korrekten Wert der Drehrichtung zu erhalten. Verwendet werden die folgenden Parameter:

- $B_{op} = 4,5$ mT (ungünstigster Wert aus dem Datenblatt TLE4966V-1K)
- $B_M = \pm 1$ mT, Magnetabgleich (ungünstigster Wert aus dem Datenblatt)
- $R = 7,5$ mm, Radius des Polrads
- $s = 2,5$ mm Abstand zwischen dem Polrad und dem Sensorelement
- $d = 1,25$ mm, Abstand der Sensorelemente des TLE4966V-1K

Es werden drei verschiedene Zahlen von Polpaaren betrachtet ($N = 1, 2$ und 3). Die Gleichung (5) wird gelöst, und der Nulldurchgang ($t_1 = t_2$) wird bestimmt. Dieser Nulldurchgang gibt die magnetische Flussdichte B_{min} an, die notwendig ist, um die korrekte Richtungsinformation zu liefern (Bild 5, Bild 6, Bild 7). Für jedes Polrad werden drei Kurven für $B_{Match} = +1$ mT, 0 mT und -1 mT berechnet.

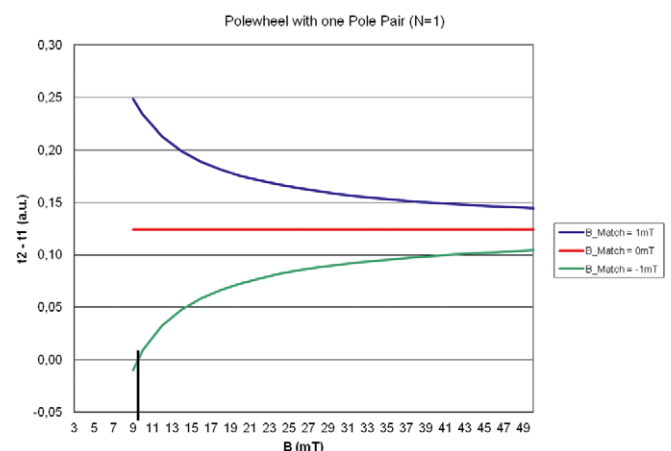


Bild 5: Polrad mit $N = 1$, erforderliche Mindestflussdichte $B_{min} = 9$ mT für $t_2 - t_1 = 0$

GET THE MOST OUT OF OUR OEM&ODM SERVICE

IS YOUR COMPANY AT RISK WITH THOSE HIGH EXPENSES?



TraceME modules can save your business a lot of money because:

- They let you track and trace all your possessions, big or small, from birds to vehicles, shipping containers, etc.
- They can keep track of your machinery's status and send warnings to your selection of mobile numbers and servers.
- They allow you to send customized updates wirelessly from a server to any of your TraceMEs in the field.
- They have countless onboard sensors and advanced software to reduce battery consumption to support all your operations. Sensors such as RFID, G-force, altitude, speed, temperature, etc.
- They are fully customizable to suit any situation.



46 x 21mm

MAIN FEATURES

GPRS AND HSDPA+
GPS AND GLONASS
RF (2KM RANGE)
MULTIPLE SENSORS



7 grams

We have a worldwide distribution and support network

www.trace.me

Email: trade@kcs-trade.com | Fax: +31-(0)20-5248130
Kuipershaven 22, 3311 AL Dordrecht, The Netherlands

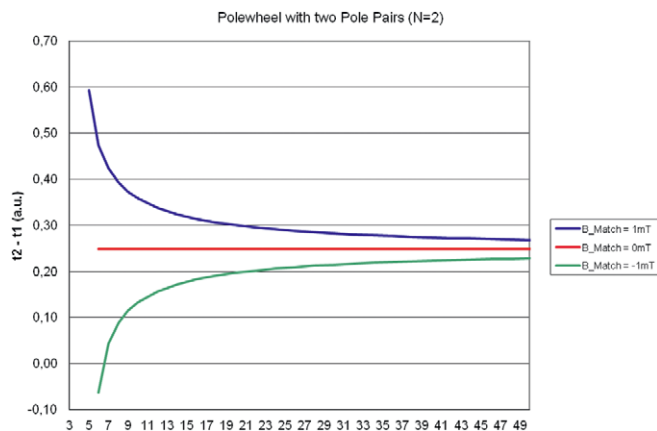


Bild 6: Polrad mit $N = 2$, erforderliche Mindestflusddichte $B_{\min} = 7 \text{ mT}$ bei $t_2 - t_1 = 0$

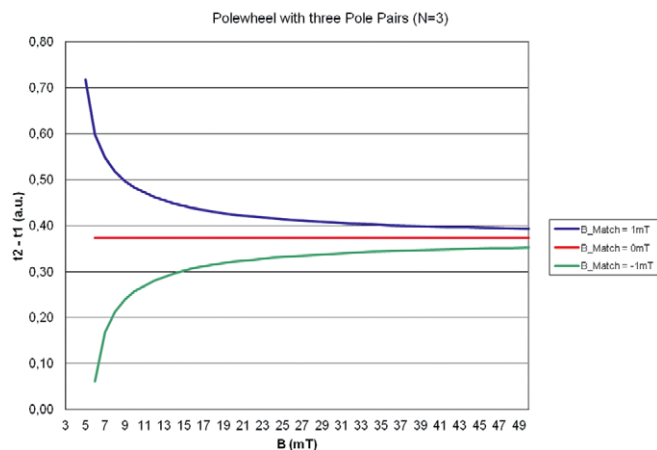


Bild 7: Polrad mit $N = 3$, erforderliche Mindestflusddichte $B_{\min} = 6 \text{ mT}$ bei $t_2 - t_1 = 0$

Bei perfektem Magnetabgleich ($B_m = 0 \text{ mT}$) ist das Schalten ($t_2 - t_1$) unabhängig von der magnetischen Flussdichte B . Die ausgegebene Richtungsinformation ist in jedem Fall korrekt. Dasselbe gilt bei positivem Magnetabgleich ($B_m > 0$). Nur im Fall eines negativen Magnetabgleichs kann eine falsche Richtungsinformation auftreten, wie anhand des Nulldurchgangs der Kurven in den obenstehenden Abbildungen zu erkennen ist. Der Wert der magnetischen Flussdichte am Nulldurchgang entspricht der erforderlichen magnetischen Mindestflusddichte. Bei niedrigeren Werten ist die berechnete Richtungsinformation falsch. Zu erkennen ist, dass mit steigender Anzahl N der Polpaare die für die Ausgabe der

korrekten Drehrichtungsinformation erforderliche magnetische Flussdichte B_{\min} abnimmt. Bei einem Polrad mit drei Paaren ($N = 3$, Bild 7) nimmt sie auf $B = 6 \text{ mT}$ ab, wogegen bei $N = 1$ eine magnetische Flussdichte von etwa 9 mT notwendig ist. Wegen der wesentlich strengeren Spezifikation für B_{Match} ist das Betriebsverhalten im Vergleich zum TLE4966K erheblich besser.

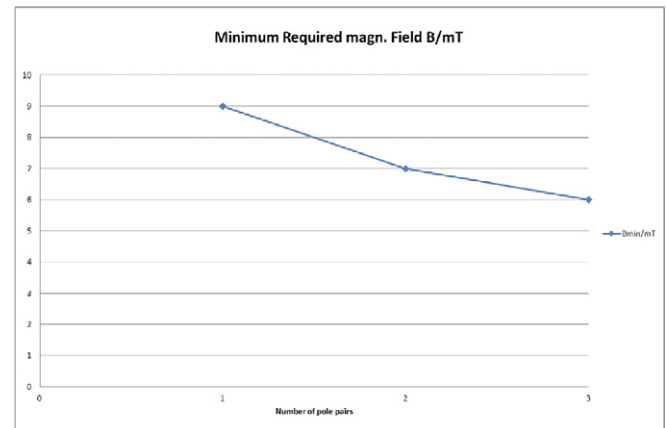


Bild 8: Magnetische Mindestflusddichte B bei unterschiedlicher Anzahl von Polpaaren bei $B_m = -1 \text{ mT}$

Schlussbemerkungen

Die angegebenen Gleichungen (5) und (6) können verwendet werden, um abzuschätzen, ob der Magnetschaltkreis robust genug ist, um stets eine korrekte Drehrichtungsinformation zu liefern. Bei bekannter Geometrie des Polrads und bekanntem Aufbau (N , R , s) lässt sich in Verbindung mit den ungünstigsten Werten aus dem Datenblatt (B_{op} , B_{Match}) die mindestens erforderliche magnetische Flussdichte B_{0min} an der Position der Sensorelemente berechnen. Wenn dieser Wert geringer ist als die magnetische Flussdichte des verwendeten Polrads, kann eine falsche Richtungsinformation auftreten. In diesem Fall wird empfohlen, den Magnetschaltkreis so zu verändern, dass eine höhere Robustheit erreicht wird. Wegen der bei der Herleitung der Gleichungen angewandten Näherungen muss ein Sicherheitszuschlag vorgesehen werden, damit die korrekte Funktionsweise unter allen Bedingungen gewährleistet ist.

Diese Anwendungsbeschreibung dient lediglich als Anhaltspunkt. Es ist unerlässlich, dass eine Magnetsimulation mit den Zielparametern durchgeführt wird.

www.infineon.com/vertical-hall