



Von G.Samblancat

Windmesser mit Drall

Mechanik im Aufwind...

Die Gesetzmäßigkeiten des Wetters beschäftigen die Menschheit seit Urzeiten. Vieles lässt sich messen, zum Beispiel auch der Wind, seine Richtung und Geschwindigkeit. Hier drehen sich drei Schaufeln im Wind, mit ihnen werden beide Größen gemessen: Richtung und Geschwindigkeit. Eine pfiffige Idee!

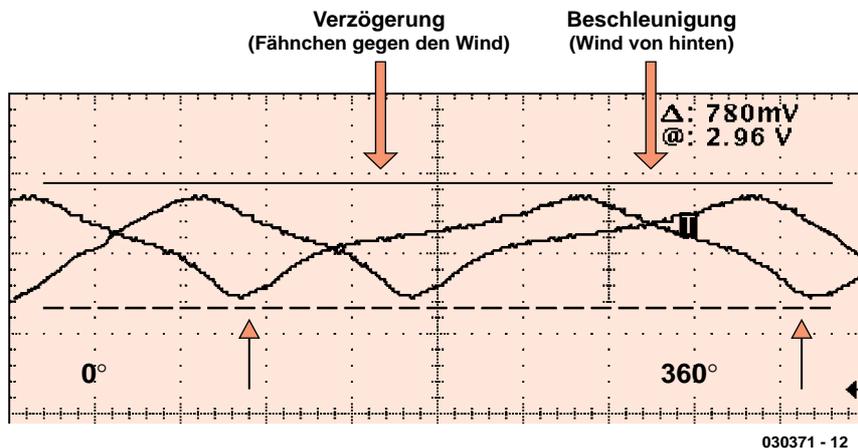


Bild 1. Die Form der Sensor-Signale hängt stark von der mechanischen Konstruktion ab. Der Einfluss der Windrichtung ist im Oszillogramm nur bei genauem Hinsehen erkennbar.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit sind zwei Größen, die für die Wetterprognose, für das Flugwesen, die Schifffahrt und viele andere Bereiche des Lebens wichtig sind. Das Messen dieser Größen ist nicht ohne mechanische Messwertgeber möglich, das liegt im Wesen der Naturerscheinung Wind. Das Konzept des hier vorgestellten Windmessers unterscheidet sich von anderen Windmessern dadurch, dass die Mechanik extrem einfach, robust und störungssicher aufgebaut ist. Wo sonst zwei getrennte mechanische Messwertgeber für die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung notwendig sind, genügt hier das bekannte Schaufelrad eines (modifizierten) Schalenkreuz-Anemometers, um sowohl die Windgeschwindigkeit als auch die Windrichtung zu erfassen. Die Drehzahl der Schaufelrad-Achse kann auf unterschiedliche Weise gemessen werden, zum Beispiel mit optischen Sensoren, mit Tachogeneratoren oder auch mit Hilfe von Reedkontakten. Der hier beschriebene Windmesser arbeitet mit Hall-Sensoren des Typs UGN 3503 von Allegro, einem magnetfeld-empfindlichen Sensor, der Ausgangsspannungen in der Größenordnung 1 mV/Gauß liefert. Für den Einsatz in Wind-Messsystemen haben Hall-Sensoren entscheidende Vorteile: Sie sind unempfindlich gegen Umwelteinflüsse wie Feuchtigkeit und Verschmutzung, sie können vollständig gekapselt werden, ihr Energiebedarf ist niedrig, und sie sind anders als zum Beispiel Reedkontakte frei von Kontaktprellen. Die Windrichtung wird oft mit Hilfe von Potentiometern oder mit optischen

Gray-Code-Sensoren gemessen, doch auch für das Erfassen dieser Größe sind lineare Hall-Sensoren die deutlich bessere Wahl.

Bei dem hier vorgestellten Windmesser handelt es sich um eine modifizierte Version des Systems "Rotavecta", das völlig ohne eigenen Messwertaufnehmer für das Erfassen der Windrichtung auskommt. Mit den drei rotierenden, halbkugel-förmigen Schalen, die für das Erscheinungsbild von Windmessern charakteristisch sind, werden sowohl die Geschwindigkeit als auch die Richtung gemessen. Das Ergebnis erscheint auf einem LC-Display, es kann auch von einem PC oder einem NMEA-kompatiblen Navigationsinstrument ausgewertet werden.

Prinzip

Die fast schon geniale Idee, die dem System zu Grunde liegt, tritt äußerlich in Gestalt einer kleinen Fahne in Erscheinung, die an eine der drei rotierenden Schaufeln "angeklebt" ist. Die Fahne bewirkt eine geringe, aber messbare Beschleunigung bzw. Verzögerung der Winkelgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Windrichtung. Der Winkel zwischen der Windrichtung und einer gedachten festen Bezugslinie in der Dreh-Ebene (z. B. radial von der Dreh-Achse in Richtung Norden) ist errechenbar, wenn mindestens zwei im Winkel von 90° angeordnete Sensoren vorhanden sind. Jeder Sensor muss ein Signal liefern, das vom Abstand zwischen dem Sensor und einem Bezugspunkt auf der Schaufelrad-Achse (z. B. in Gestalt eines klei-

nen Permanent-Magneten) abhängig ist. Grundlage des Rechen-Algorithmus ist das Bilden von Mittelwerten aus den Signal-Amplituden über eine bestimmte Umdrehungsanzahl. Änderungen der Windrichtung verursachen kleine, aber trotzdem signifikante Verschiebungen der gebildeten Mittelwerte in positive oder negative Richtung. Gemeinsam liefern die Sensoren eine eindeutige Information über die Windrichtung, die nur noch in eine geeignete Form gebracht und ausgewertet werden muss. Nach der Digitalisierung der fast sinus-förmigen Sensor-Signale (Bild 1) kann ein Mikrocontroller aus einer zweidimensionalen Referenztabelle die Windrichtung in Winkelgrad ermitteln und an eine geeignete Anzeige-Einheit weiter leiten.

Der Windmesser arbeitet mit zwei linearen Hall-Sensoren UGN 3503 von Allegro; sie geben eine Spannung ab, die proportional zum umgebenden magnetischen Feld ist. Wegen des Kreisbogens, auf dem sich ein Permanent-Magnet mit nicht ganz konstanter Winkelgeschwindigkeit (Wirkung der Fahne) vor den Sensoren bewegt, sind ihre Ausgangssignale nur annähernd sinusförmig. Die Frequenz der Ausgangssignale ist das Maß für die Windgeschwindigkeit, und in den Mittelwerten der Amplituden steckt die Information über die Windrichtung.

Funktionsschema

Das Funktionsschema in Bild 2 zeigt keine aus dem üblichen Rahmen fallenden Besonderheiten. Die Ausgangssignale der beiden im Winkel von 90°

G.Samblancat

g.samblancat@free.fr

Der 1968 geborene Autor durchlief nach seinem Studium der Elektronik einige Zwischenstationen, bevor er sich im Bereich Lehre und Forschung etablierte. Zurzeit absolviert er am Conservatoire National des Arts eine weitere Ausbildung mit dem Studienziel Netzwerk-Ingenieur.

Dies ist die zweite Veröffentlichung des Autors in Elektor.

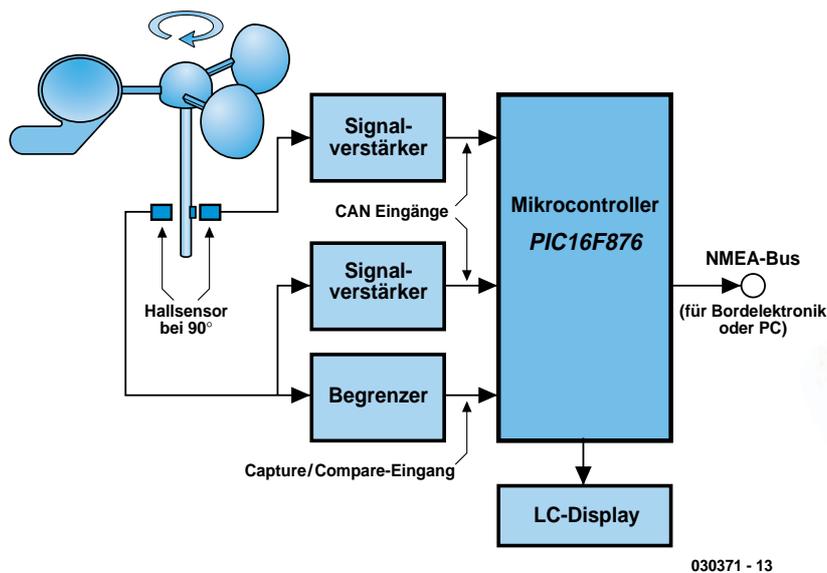


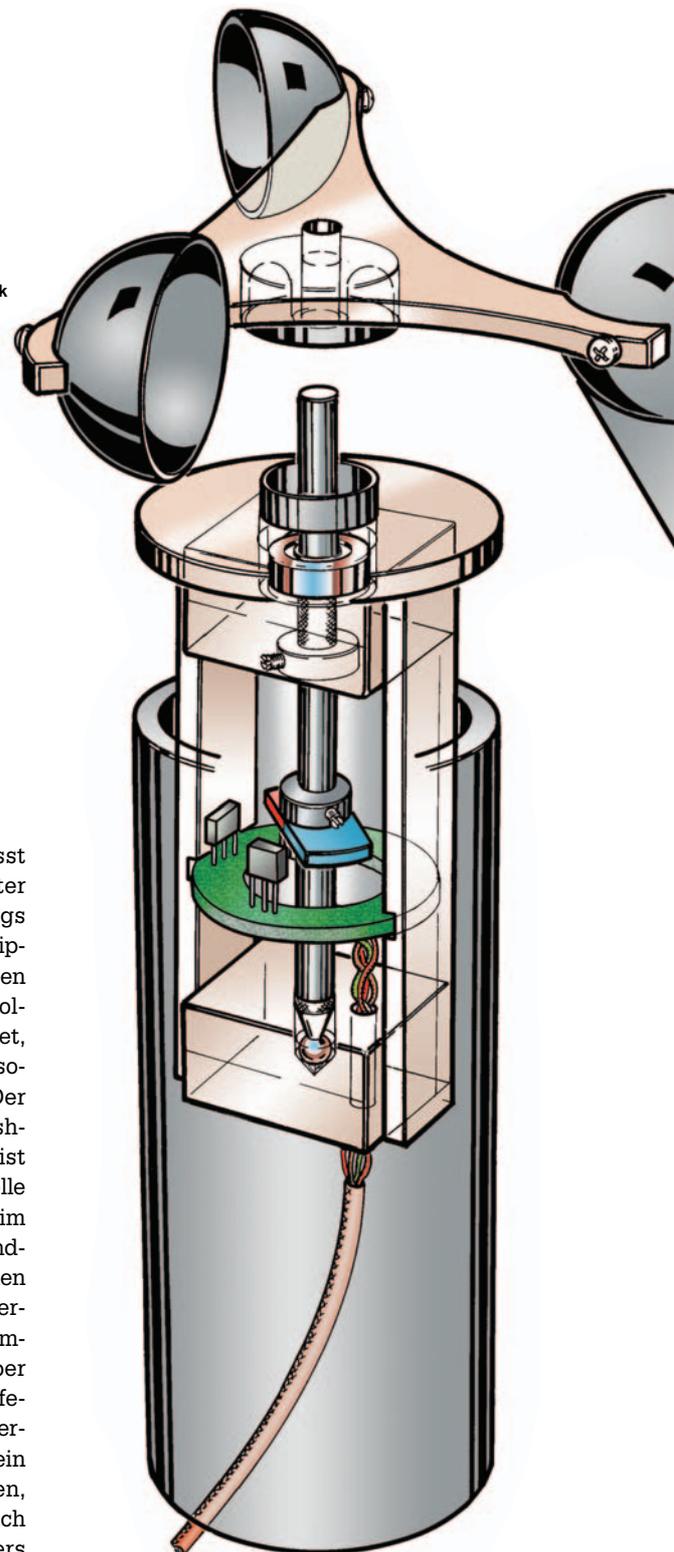
Bild 2. Funktionsschema des kombinierten Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsmessers.

angeordneten Hall-Sensoren werden zuerst verstärkt und dann von AD-Wandlern für die weitere Signalverarbeitung im Mikrocontroller aufbereitet. Der Begrenzer hat die Aufgabe, Übersteuerungen des Capture/Compare-Eingangs des Mikrocontrollers zu verhindern. Der Controller verarbeitet die aufbereiteten Daten und steuert gleichzeitig das LC-Display, auf dem das Messergebnis erscheint. Außerdem gibt er das Messergebnis als serielles, NMEA-kompatibles Signal aus; dieses Signal kann auch von einem PC weiter verarbeitet werden.

Schaltung

Die Schaltung in Bild 3 unterscheidet sich auf den ersten Blick nicht wesentlich von vergleichbaren Mikrocontroller-Schaltungen. Zentrale Komponente ist Mikrocontroller IC2, ein PIC 16F876 von Microchip. Die Hersteller-Doku-

mentation zur PIC-Familie umfasst immerhin 218 Seiten, sie kann unter der am Schluss dieses Beitrags genannten Adresse von der Microchip-Website heruntergeladen werden. Den AD-Wandler-Eingängen des Controllers sind zwei Opamps vorgeschaltet, sie verstärken die von den Hall-Sensoren kommenden Signale. Der PIC16F876, ein Controller mit Flash-Programmspeicher auf dem Chip, ist ohne viel Aufwand über seine serielle Schnittstelle programmierbar. Der im Controller integrierte 10-bit-AD-Wandler hat mehrere Eingänge, hier werden lediglich zwei Eingänge benutzt. Ferner ist im Controller ein Capture/Compare-Modul integriert, mit dem über einen Eingang die Periode des Referenz-Signals gemessen wird. Die Verstärkung der beiden Opamps (IC1, ein LM 358) muss so eingestellt werden, dass der Eingangsbereich des controller-internen AD-Wandlers



Stückliste

Widerstände:

R1 = 1k8
R2,R3 = 1k5
R4,R5 = 5k6
R6,R8...R11 = 10 k
R7 = 1 k
P1,P4 = Mehrgang-Trimpoti 47 k, von oben einstellbar
P2,P3 = Mehrgang-Trimpoti 4k7, von oben einstellbar

Kondensatoren:

C1,C6 = 1 μ /16 V
C2,C3 = 15 p
C4,C5 = 100 n
C7 = 1 μ /25 V

Halbleiter:

D1,D2 = 1N4148
T1 = BC547
IC1 = LM 358
IC2 = PIC16F876 (programmiert, EPS 030371-41)

IC3 = 78L08

IC4 = LM78L05

IC5,IC6 = UGN 3503 (Allegro)

Außerdem:

X1 = Quarz 16 MHz (kleine Gehäuse-Bauform)

K1 = 9-polige Sub-D-Buchsenleiste (female) abgewinkelt, für Platinenmontage

K2 = 10-polige Stiftleiste

K3 = 4-polige Stiftleiste

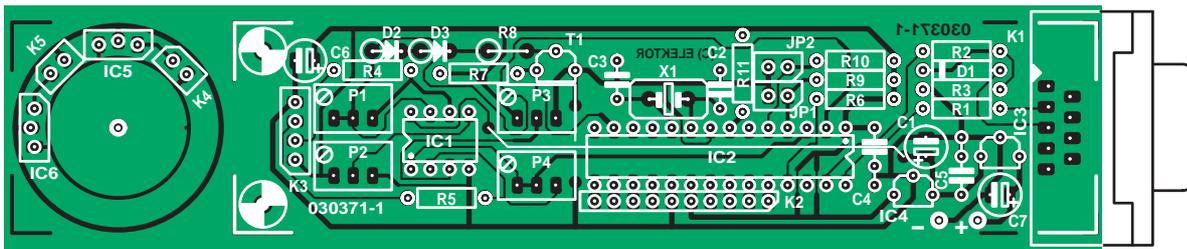
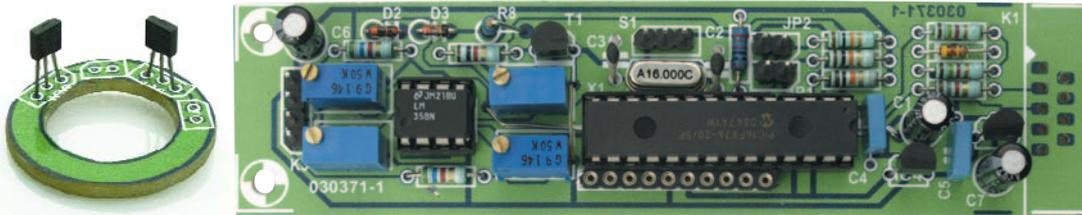


Bild 4. Bestückungsplan für die Hauptplatine. Der übrige Teil ist für die beiden Hall-Sensoren bestimmt.



geschehen ist, wird die Sensor-Platine in die Öffnung des PVC-Rohrs eingesetzt und dort mit Zweikomponenten-Kleber dauerhaft fixiert.

Die Achse wird aus einem Metallstab mit 3 mm Durchmesser angefertigt und durch ein Kugellager oder ein Teflon-Gleitlager gesteckt. Beim Musteraufbau wurde für die Befestigung des Permanent-Magneten auf der Achse ebenfalls Zweikomponenten-Kleber verwendet. Der Rotor mit den halbkugel-förmigen Schalen ist als Ersatzteil im Fachhandel erhältlich, er muss unter allen Witterungsbedingungen stabil und sicher auf der Achse sitzen. Der Selbstbau des Rotors mit Hilfe von drei halben Tischtennis-Bällen ist zwar möglich, jedoch relativ schwierig. Präzise Messergebnisse sind nur dann zu erwarten, wenn der Rotor ohne Unwucht dreht, doch das ist wegen der Fahne an einer der drei Schaufeln nicht ganz leicht realisierbar.

Programme

Das Programm mit dem Datei-Namen VEC16MPU.hex ist das Mikrocontroller-Programm im INHX8M-Format, es muss mit einem PIC-Programmer in den Mikrocontroller geladen werden. Das PC-Programm TUNE dient zum Eichen des Windmessers (dazu später mehr), während das Programm ANEMO für die Darstellung der Messwerte auf dem PC-Bildschirm sorgt. TUNE und ANEMO wurden in der Sprache Delphi geschrieben. Die Programme können unter der Projekt-Nummer 030371-11 von der Elektor-Website heruntergeladen werden. Für den Fall, dass kein Internet-Anschluss zur Verfügung steht, sind die Dateien auch auf Diskette lieferbar. Wenn kein geeigneter PIC-Programmer vorhanden ist, kann man einen gebrauchsfertig programmierten Controller unter der Bezeichnung EPS 030371-41 über den Elektor-Service beziehen.

Eingangsverstärkung

Der nächste Schritt nach dem ersten Einschalten der Betriebsspannung ist das Einstellen der Verstärkungen von Opamp IC1a und IC1b. Die Mehrgang-Trimpotis P1...P4 müssen so eingestellt werden, dass die Opamp-Ausgangssignale den Spannungsbereich 0,5...4,5 V möglichst voll durchlaufen. Die Opamp-Verstärkungen können sowohl mit Hilfe eines Oszilloskops als auch mit dem Programm TUNE auf den richtigen Wert gebracht werden. Während das Oszilloskop die Signale an den Anschlüssen 1 und 7 von IC1 sichtbar macht, wird der Rotor auf Touren gehalten, zum Beispiel mit dem Luftstrom eines elektrischen Haartrockners. Mit den Trimpotis P1 bzw. P4 lässt sich die Verstärkung einstellen, während P2 bzw. P3 den Gleichspannungs-Offset beeinflusst. Die Sinus-Signale müssen sich im Bereich 0,5...4,5 V bewegen, sie dürfen von den Opamps nicht begrenzt werden. Die

JP1,JP2 = 2-polige Stiftleiste mit Jumper
 LC-Display, 2 · 16 Zeichen (Standard-
 Ausführung)
 PVC-Rohr, Ø 32 mm, ca. 20 cm lang
 Platine 030371-1, beziehbar von
 ThePCBShop
 Diskette mit Software: EPS 030371-11

das Platinen-Layout ist ferner auf den
 Layout-Seiten dieser Elektor-Ausgabe
 abgedruckt.

Das Platinen-Layout und die Software
 stehen auch auf der Elektor-Website
www.elektor.de zum Download bereit,

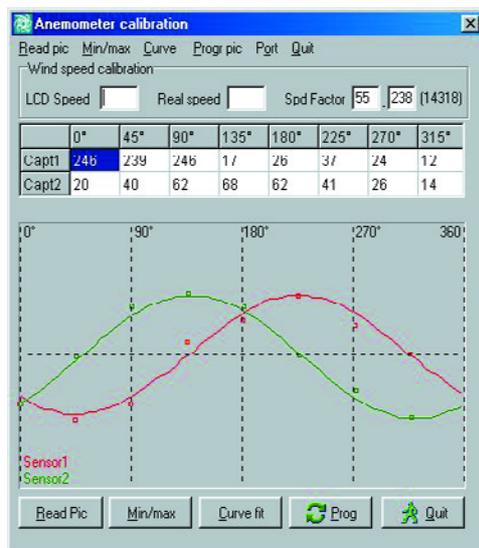
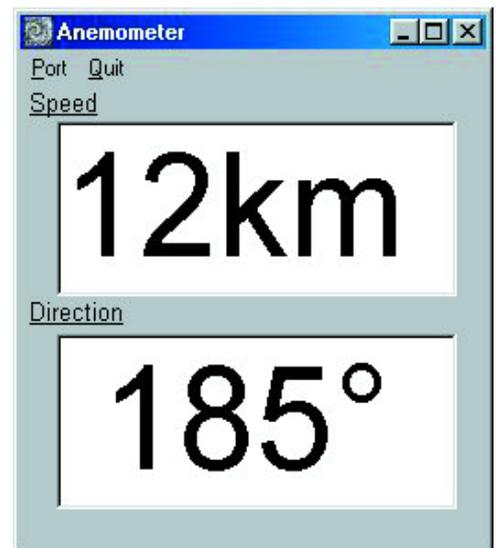


Bild 5. Nachdem das Programm TUNE gestartet wurde, kann der Windmesser geeicht werden.

Bild 6. Diese Werte zeigt das Programm ANEMO auf dem PC-Bildschirm an. Auch ein LC-Display ist anschließbar.



richtige Einstellung sieht ungefähr so aus wie in Bild 1 dargestellt. Wenn kein Oszilloskop zur Hand ist, hilft das PC-Programm TUNE weiter. Dazu muss natürlich die Windmesser-Schaltung mit dem PC verbunden sein. TUNE enthält eine Minimum-Maximum-Funktion, die auf den PC-Bildschirm eine Kurve in Abhängigkeit von den gemessenen Sensor-Werten zeichnet. Nachdem TUNE gestartet ist, genügt ein Mausklick auf "Min/Max", damit nach einigen Sekunden die Meldung "***Min/Max***" erscheint.

Windmesser eichen

Genau betrachtet ermittelt der Windmesser die Periode einer Rotor-Umdrehung, anschließend führt er folgende Berechnung aus:

Windgeschwindigkeit = $K_{\text{anemo}} / \text{Länge der Periode}$. Die angezeigte Windgeschwindigkeit ist proportional zum Wert K_{anemo} , wobei der Default-Wert von K_{anemo} die Zahl 35500 ist.

Das Programm TUNE errechnet die Konstante K_{anemo} aus der gemessenen Geschwindigkeit und der tatsächlichen Geschwindigkeit, die man zum Beispiel durch Ablesen des Geschwindigkeitsmessers in einem Auto erhält. Der Eichvorgang umfasst im Wesentlichen folgende Schritte: Vergleichen der vom LC-Display angezeigten Geschwindigkeit mit der tatsächlichen Geschwindigkeit und der bereits im Speicher stehenden Geschwindigkeit. Wenn nötig muss der Default-Wert von K_{anemo} in der Hex-Datei angepasst werden. In jedem Fall besteht der erste Schritt darin, den Speicher des Mikrocontrollers auszulesen ("Read pic"). Das Programm TUNE zeigt dann "x · y (z)" an, wobei z = Geschwindigkeitsfaktor = $y + 256 \cdot x$ ist.

Sensoren eichen

Wegen der Streuungen hinsichtlich der Feldstärke und Ausrichtung der Magnetfelder bei den gebräuchlichen Per-

Die Beaufort-Skala		
0	Windstille	<1 km/h
1	Leiser Zug	1...5 km/h
2	Leichter Wind	6...11 km/h
3	Schwacher Wind	12...19 km/h
4	Mäßiger Wind	20...28 km/h
5	Frischer Wind	29...38 km/h
6	Starker Wind	39...49 km/h
7	Steifer Wind	50...61 km/h
8	Stürmischer Wind	62...74 km/h
9	Sturm	75...88 km/h
10	Voller Sturm	89...102 km/h
11	Schwerer Sturm	103...117 km/h
12	Orkan	118 km/h und mehr

Die Hall-Sensoren UGN 3503

Eigenschaften

Die Hall-Sensoren der Typenreihe UGN 3503 von Allegro (Ausführungen LT, U und UA) sind in der Lage, auch dort Änderungen des magnetischen Flusses zu messen, wo der magnetische Fluss für die Betätigung von Reed-Kontakten nicht mehr ausreicht.

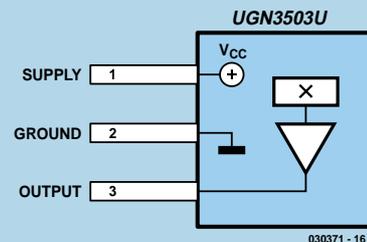
Hall-Sensoren dieses Typs enthalten einen Hall-Effekt-Detektor, einen linearen Verstärker und eine Ausgangsstufe mit offenem Emitter.

Magnetische Felder, die senkrecht zum Chip verlaufen, haben Änderungen des Stroms zur Folge, der durch den Chip fließt. Der Strom bewirkt eine Potentialdifferenz, sie wird Hall-Spannung genannt. Die Hall-Spannung ist proportional zur magnetischen Feldstärke.

Arbeitsweise

Ohne den Einfluss eines magnetischen Feldes ($B = 0$ Gauss) ist im Regelfall die Ausgangsspannung gleich der halben Betriebsspannung. Wenn ein magnetischer Südpol in die Nähe des aktiven Sensor-Teils gebracht wird, steigt die Ausgangsspannung über diesen Wert an, ein magnetischer Nordpol in der Nähe des aktiven Sensor-Teils hat das Absinken der Ausgangsspannung unter diesen Wert zur Folge.

Die Ausführung U des UGN 3503 soll laut Hersteller-Angaben nicht mehr für Neuentwicklungen verwendet werden.



Anschlüsse des UGN 3503 von Allegro

manent-Magneten muss für jeden Sensor eine Eichkurve erstellt werden. Dabei haben erstaunlicher Weise auch die speziellen Eigenschaften des Windes einen Einfluss. Der Luftstrom eines elektrischen Haartrockners ist für die präzise Bestimmung der Windrichtung weniger geeignet, denn er konzentriert sich auf einen engen räumlichen Bereich. Ein natürlicher Luftstrom wie der reale Wind leistet beim Eichen bessere Dienste.

Für die durchzuführenden Schritte wird das Programm TUNE zu Hilfe genommen. Um die Windrichtung berechnen zu können, gehört zu jedem Sensor eine Look-up-Tabelle mit 72 Werten (die Schrittweite beträgt 5°). TUNE verwendet acht Punkte für die Interpolation jeder Kurve, so dass insgesamt 16 Werte benötigt werden. Folglich müssen bei jedem Winkel von 45° zwei Werte gemessen werden. Die Durchführung der Eichprozedur kann durchaus einige Zeit in Anspruch nehmen. Zwischen zwei Messungen muss der Windmesser um 45° gedreht werden, danach ist die stabile Anzeige der Windrichtung abzuwarten. Die Werte werden kontinuierlich auf dem LC-Display angezeigt, auf dem PC-Bildschirm erscheinen sie nach Aktivieren von "Read pic". Die Werte müssen in die Tabelle eingetragen werden; **Bild 5** zeigt ein Beispiel einer solchen Tabelle. Nachdem die Tabelle vollständig ist, berechnet die Funktion "Curve" die 72 gesuchten Werte auf der Basis der $2 \cdot 8$ tatsächlich gemessenen Werte; danach werden Kurven durch die $2 \cdot 72$ Referenzpunkte gezogen.

Wenn alle Eichprozeduren erledigt sind, kann durch einen Mausklick auf "Prog pic" der Mikrocontroller programmiert werden.

Praxis

Während der Initialisierung nach dem Einschalten des Windmessers muss das System zunächst einige Mittelwerte berechnen. Danach werden die Messergebnisse sowohl auf dem LC-Display als auch über die serielle Schnittstelle im NMEA-Format ausgegeben. Der NMEA183-Standard ist zwar schon etwas älter, doch zahlreiche nautische Geräte arbeiten auch heute noch mit dieser Norm. Der Windmesser, wie er hier beschrieben ist, gibt über seine serielle Schnittstelle die Datenfolge \$WI,VWR,dir,L,vit,K aus, wobei \$WI für "Weather Instrument" steht, VWR ist das Standard-Präfix für Anemometer-Informationen, dir ist die Windrichtung in Winkelgrad und vit ist die Windgeschwindigkeit in km/h. Mit dem Programm ANEMO können alle Informationen in Echtzeit auf dem PC-Bildschirm sichtbar gemacht werden.

Das Eichen des Windmessers erfordert zwar etwas Zeit und Geduld, doch nach dieser nur einmalig durchzuführenden Prozedur arbeitet das Gerät erstaunlich präzise und zuverlässig.

(030371)gd

Internet-Adressen

Datenblatt PIC16F876-

Mikrocontroller-Familie:

www.microchip.com/download/lit/pline/picmicro/families/16f87x/30292c.pdf

Beaufort-Skala:

www.knmi.nl/voorl/nader/decompletewindschaalvanbeaufort.htm