



Differentielle und bidirektional differentielle Drucksensoren am Beispiel des AMS 5812

In der Druckmesstechnik unterscheidet man je nach Aufgabenstellung verschiedene physikalische Messmethoden. Dazu gehören die Absolutdruck-, Relativdruck- und Differenzdruckmessung. Dass man speziell unter dem Begriff Differenzdruckmessung unterschiedliche Sachverhalte versteht, ist vielen Anwendern nicht bekannt. Am Beispiel des piezoresistiven Drucksensors AMS 5812 [1] zeigt AMSYS die anwendungsrelevanten Unterschiede auf.

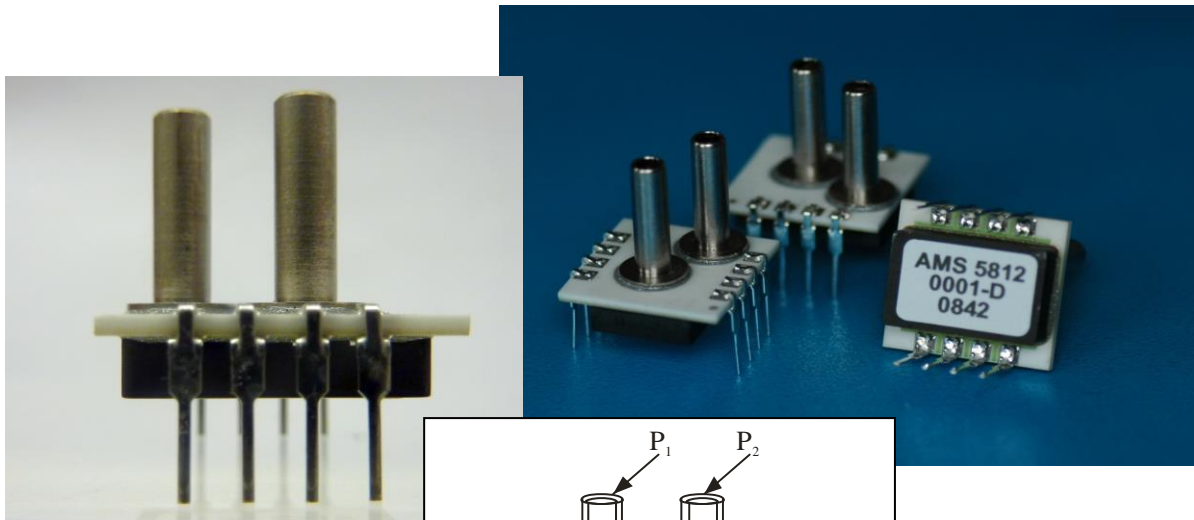
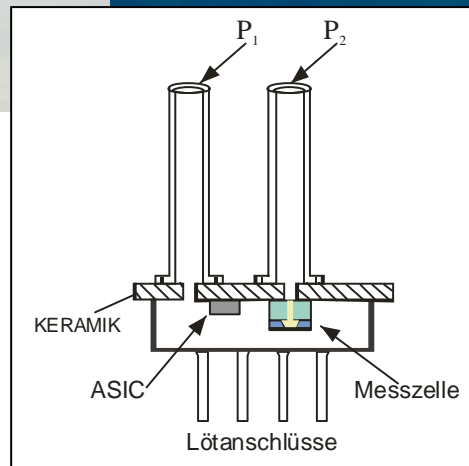


Abbildung 1: Drucksensor AMS 5812, Aufsicht und schematischer Querschnitt (siehe auch Abbildung 2)



Zum besseren Verständnis werden die verschiedenen Methoden und wichtige Begriffe der Druckmessung auf der Basis von Siliziumdruckmesszellen erläutert.

Absolutdruckmessung

Bei der Absolutdruckmessung (siehe *Abbildung 2*) erfolgt die Erfassung des Messdrucks P_1 gegen einen Referenzdruck P_2 , der so niedrig sein sollte, dass er im Vergleich mit dem zu messenden Druck vernachlässigt werden kann. Im Idealfall wäre dies 0bar (d.h. $P_2 = \text{Vakuum}$). Das bedeutet, dass die Messzelle unter Vakuum hergestellt und bei entsprechendem Unterdruck P_2 hermetisch mit dem Pyrexsubstrat verschlossen werden muss. Dieser Unterdruck P_2 sollte wegen der Messwertstabilität dauerhaft den gleichen Wert beibehalten.

AMSYS GmbH & Co.KG
An der Fahrt 4
D-55124 Mainz

Tel.: +49 6131 469 875 0
Fax: +49 6131 469 875 66
Email: info@amsys.de
Internet: www.amsys.de
Stand: Dezember 2012

Differentielle und bidirektional differentielle Drucksensoren am Beispiel des AMS 5812

Bei Druckbeaufschlagung mit dem Druck P_1 auf die Membran-Oberseite, biegt sich diese in Richtung des niederen Druckes. Da gilt $P_1 > P_2$ biegt sich die Membrane folglich nach innen in den ausgeätzten Raum der Messzelle (siehe *Abbildung 2 und 3*). Durch den piezoresitiven Effekt ergibt sich am Ausgang der implantierten Widerstandsmessbrücke (*Abbildung 4*), die sich in der Membran befindet, ein Signal, das proportional zum wirkenden Druck ist. Mit der Proportionalität hat man die Steigung der Übertragungskennlinie ($V_{OUT} = f(P_1, P_2)$) ermittelt, aber noch nicht Null- und Endpunkt festgelegt.

Da man bei der Herstellung der Absolutdrucksensoren einen Referenzdruck von 0 bar nicht erreichen kann, muß der wirkliche Wert P_2 als Drucknullpunkt dienen. Dies geschieht indem während des Abgleichs der Wert P_2 auf den gewünschten Ausgangsnulppunkt, der z.B. 0 oder 0,5 Volt betragen kann, eingestellt wird. Diesen Vorgang nennt man Nullpunkt-Kalibration.

Bei Volldruck: max. P_1 ergibt sich am Ausgang das Full Scale Signal (Endpunkt), das in der nachfolgenden Elektronik auf den gewünschten Ausgangswert (z.B. 10 oder 4,5 Volt) kalibriert wird. (siehe *Abbildung 6*).

Eine populäre Anwendung ist die Messung des barometrischen Druckes zwischen z.B. 700 und 1200 mbar absolut. In diesem Falle wird der Nullpunkt auf 700 mbar und das Full Scale-Signal auf 1200 mbar kalibriert.

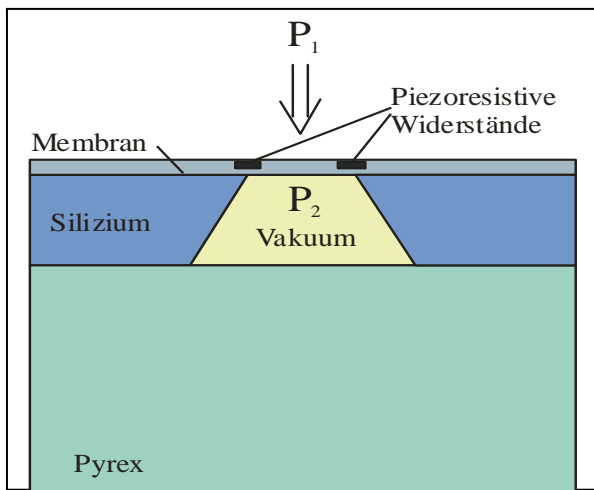


Abbildung 2: Aufbau einer piezoresitiven Messzelle zur Bestimmung des Absolutdruckes P_1 und Membran mit implantierten Widerständen

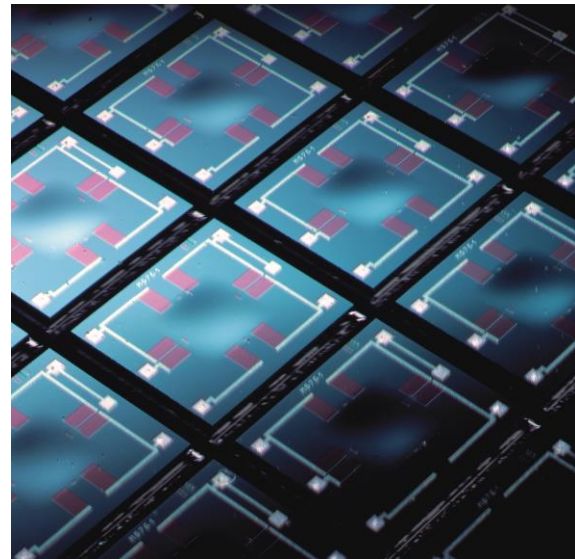
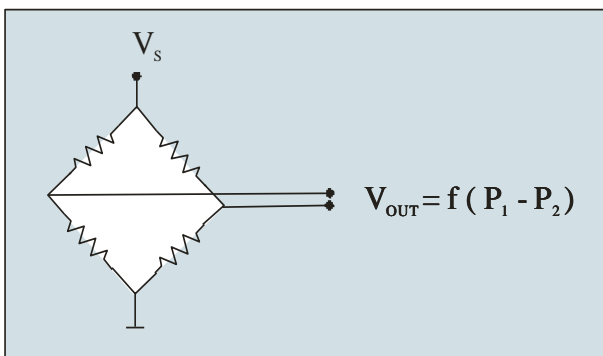


Abbildung 3: Siliziumdruckmesszellen für Absolutdruckmessung (Aufsicht)



Erklärungen zur Abbildung oben:

Helle Linien = Aluminium Leiterbahnen
Helle Quadrate = Aluminium Bondpads
Violette Flächen = Implantierte Kontaktflächen zwischen denen die piezoresitiven Widerstände liegen

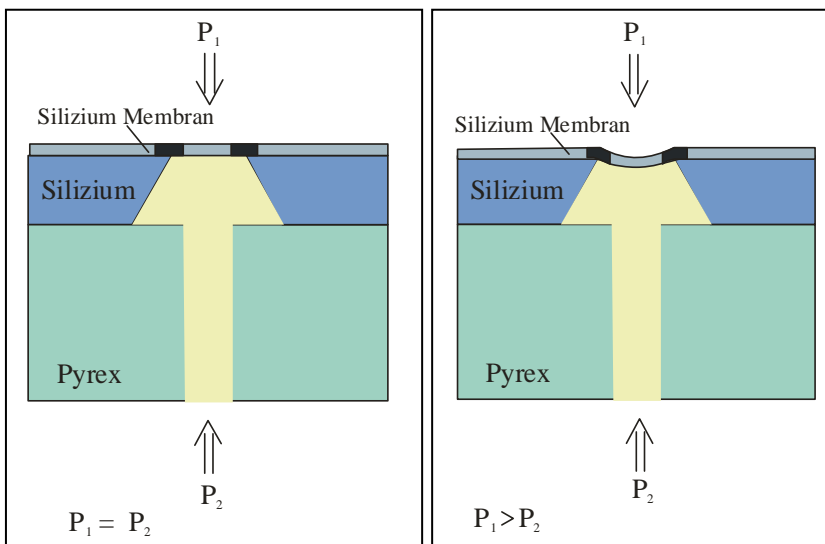
Fläche der Siliziumdruckmesszelle = $2 \times 2 \text{ mm}^2$
Höhe der Siliziumdruckmesszelle = $0,8 \text{ mm}$

Differentielle und bidirektional differentielle Drucksensoren am Beispiel des AMS 5812

Abbildung 4: Wheatstonesche Brückenschaltung

Differenzdruckmessung

In der Differenzmessung vergleicht man zwei Drücke P_1 und P_2 , die von außen über das entsprechende Gehäuse an der Unter- und Oberseite der Membran anliegen. Allgemein gilt: $P_1 \leq P_2$ oder umgekehrt $P_1 \geq P_2$. Bei den meisten Sensoren gilt die Forderung, dass nur ein Druckverhältnis, also $P_1/P_2 \geq 1$ oder $P_1/P_2 \leq 1$ erfasst und ausgewertet werden kann. Im Allgemeinen wird die Druckmessung mit dieser Einschränkung als Differenzdruckmessung bezeichnet.



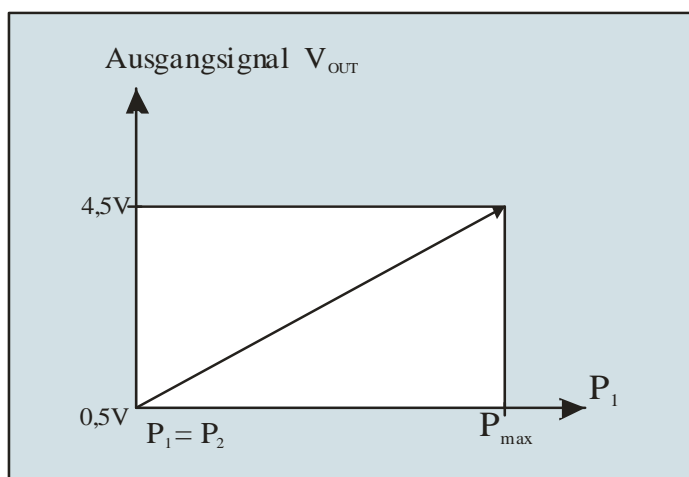
In der *Abbildung 5* (links) ist schematisch der Fall $P_1 = P_2$ dargestellt. Die Membran wird nicht deformiert und der Sensor erzeugt bei beiderseitig gleichem Druck kein Ausgangssignal.

Im dem Fall $P_1 > P_2$ (rechts) biegt sich die Silizium-Membran bei Druckbeaufschlagung in Richtung des niedrigeren Druckes und erzeugt in ihren piezoresistiven Brückenwiderständen ein druckproportionales Ausgangssignal.

$$V_{OUT} = f(P_1 - P_2).$$

Abbildung 5: Verhalten der Membran eines piezoresistiven Drucksensors bei der Messung eines Differenzdruckes unter der Bedingung $P_1 \geq P_2$

Am Ausgang eines verstärkten Sensors (z.B. des AMS 5812) ergibt sich nach der Kalibrierung bei der Differenzmessung die Übertragungsfunktion gemäß *Abbildung 6*.



Zusätzlich zur Frage, ob $P_1/P_2 \geq 1$ oder $P_1/P_2 \leq 1$ erfasst werden soll, gilt für die Drucksensoren, deren Membran auf den jeweiligen Druckbereich optimiert ist zusätzlich die Randbedingung, $P_1 - P_2 \leq P_{max}$ oder $P_2 - P_1 \leq P_{max}$, wobei P_{max} durch technologisch / physikalischen Gegebenheiten begrenzt wird (z.B. Anschlüsse).

Diese Randbedingungen gilt es zu berücksichtigen, wenn der Anwender seine Druckanschlüsse an den differentiellen Sensor anschließt und den Differenzdruck z.B. bei einer Filterüberwachung messen möchte.

Differentielle und bidirektional differentielle Drucksensoren am Beispiel des AMS 5812

Abbildung 6: Übertragungsfunktion eines Drucksensors bei der Messung eines Differenzdruckes unter der Bedingung $P_1 \geq P_2$

Bidirektional differentielle Sensoren

Über die beschriebenen Differenzmessungen hinaus gibt es Anwendungen, bei denen die beiden Bedingungen $P_1 \leq P_2$ und $P_1 \geq P_2$ gefordert sind. (z.B. Be- und Entlüften, Unter- und/oder Überschreiten eines Flüssigkeitsniveaus, Ein- und Ausatmen usw.) Da es für diesen Fall der Differenzdruckmessung keine allgemein anerkannte Bezeichnung gibt, nennen AMSYS und einige weitere Anbieter die Sensoren, die diese Art von Differenzdruck messen können, bidirektional differentielle Drucksensoren. Sie haben also die Eigenschaft Unter- und Überdruck messen zu können und es gilt: $P_1/P_2 \geq 1$ und $P_1/P_2 \leq 1$.

In *Abbildung 7* wird schematisch gezeigt, wie man sich die Membranauslenkung der Differenzdruckmesszellen bei Unter- und Überdruck vorzustellen hat. Die Richtungsumkehrung der Membranauslenkung bewirkt ein Vorzeichenwechsel im Ausgangssignal der Messzelle.

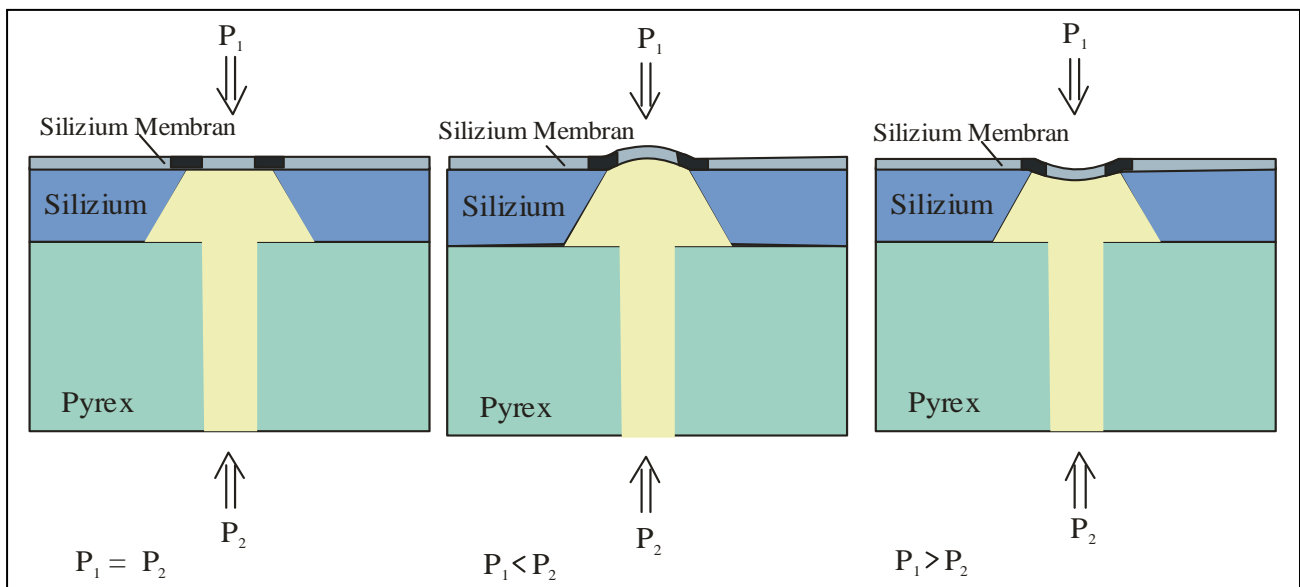


Abbildung 7: Verhalten der Membran der Siliziummesszelle bei der Messung eines Differenzdruckes unter den drei Bedingungen: $P_1 = P_2$, $P_1 < P_2$ und $P_1 > P_2$

Der zu messende Differenzdruck kann bei den Messzellen dieser Sensoren sowohl ein positives als auch ein negatives Vorzeichen haben; d.h. der Druck P_1 an dem Anschlussstutzen Messzellenoberseite kann sowohl größer als auch kleiner sein als der Druck P_2 am Anschlussstutzen Messzellenunterseite und umgekehrt. Für die Drücke P_1 , P_2 an den Anschlussstutzen gilt die Bedingung:

$$P_{\min} \leq |P_1 - P_2| \leq P_{\max} \text{ mit der Randbedingung } P_1, P_2 \leq P_{\text{System}}$$

In der Formel bezeichnet P_{\max} den maximalen positiven und P_{\min} den minimalen negativen Enddruck des jeweiligen Druckbereiches (siehe *Abbildung 8*), für den die Sensoren ausgelegt sind. P_{System} be-

Differentielle und bidirektional differentielle Drucksensoren am Beispiel des AMS 5812

zeichnet den maximal erlaubten Systemdruck z.B. Umgebungsdruck, der von außen an dem Sensor anliegen darf und der durch den Aufbau des Sensors (z.B. Gehäuse und Druckanschlüsse) festgelegt ist.

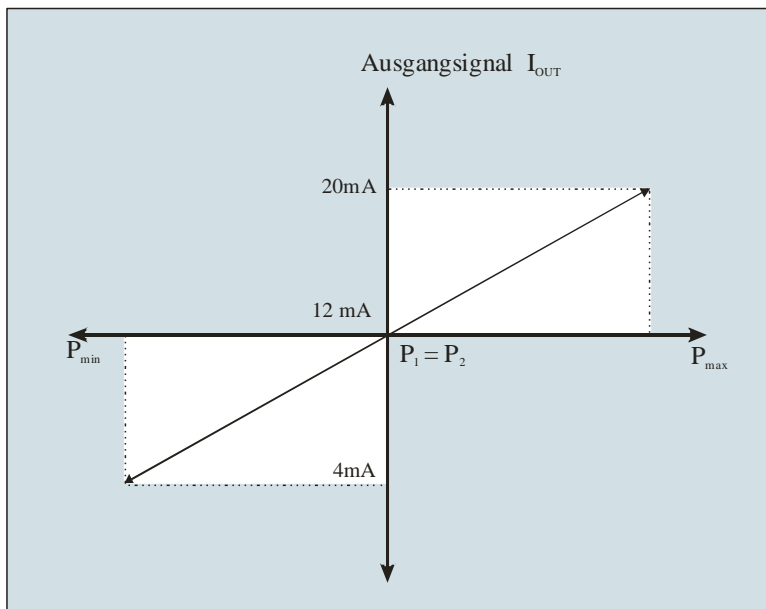


Abbildung 8: Übertragungskennlinie für bidirektional differentielle Drucksensoren mit $P_1 = P_2$, $P_1 < P_2$ und $P_1 > P_2$ und vorgegebenen P_2

Bidirektional differentielle Messungen sind nur dann möglich, wenn zwei Anforderungen an den Sensor erfüllt sind:

- Die Membranstruktur muss ein symmetrisches Verhalten bezüglich der Auslenkung nach beiden Seiten aufweisen und
- die Nachweiselektronik muss in ihrem Übertragungsverhalten bezüglich des Nullpunktes an den Verstärkungsbereich angepasst sein.

Zu a) Bei der Membran eines piezoresitiven Sensors handelt es sich um eine dünne Halbleiterschicht (einige Mikrometer), die aus verschiedenen Ebenen besteht. In der Regel sind das neben der eigentlichen Siliziumschicht eine Oxid- und eine Passivierungsschicht, die sich beide auf der Membranoberseite befinden. Der Schichtaufbau ist also nicht symmetrisch. Auf Grund dieses asymmetrischen Schichtaufbaus kann das Verhalten der Membran bei Druckauslenkung richtungsabhängig sein. Im Extremfall kann es bei Richtungsumkehr sogar zu einem Knackfroscheffekt kommen. Das heißt, dass die Membran bei Richtungsumkehr ihrer Auslenkung eine Unstetigkeit aufweist, die sich für den Benutzer besonders in dem Druckbereich um den Nullpunkt in einer starken Nichtlinearität bemerkbar macht.

Die Hersteller der Siliziummesszellen, die zur bidirektionalen Differenzdruckmessung benutzt werden sollen, müssen also ein symmetrisches Verhalten der Membran bei positiver und negativer Auslenkung gewährleisten.

Zu b) Die Übertragung der Kennlinie, die in Abbildung 8 dargestellt ist, bedingt eine Verstärkerelektronik, in der die Referenz des Instrumentenverstärkers nicht auf Nullpotential bezogen ist, sondern



Differentielle und bidirektional differentielle Drucksensoren am Beispiel des AMS 5812

auf den halben Full-Scale-Wert gelegt werden muss. Zum Beispiel wird bei dem AMS 5812, der 0,5...4,5 Volt als Ausgangssignal haben soll, bei der bidirektionalen Version der Nullpunkt auf

2,5 Volt gelegt, so dass sich das Signal bei $P_1 \leq P_2$ von 0,5 bis 2,5 Volt und das Signal bei $P_1 \geq P_2$ von 2,5 bis 4,5 Volt erstreckt.

Relativdruckmessung

Entspricht einer der beiden anliegenden Drücke P_1 oder P_2 dem wirkenden Umgebungsdruck, so spricht man von Relativdruckmessung, was also nur eine Variante der Differenzdruckmessung ist. In diesem Falle misst man z.B. den Unterschied des Messdruckes P_1 zum Umgebungsdruck P_2 und es gilt: $P_1 \geq P_2$. Dadurch, dass man gegen den Umgebungsdruck misst, benötigt man für den Messdruck nur einen Druckanschluss.

Kurzbeschreibung AMS 5812

Bei der AMS 5812-Serie handelt es sich um OEM-Drucksensoren, die u.a. die bidirektionale differenzielle Druckmessung ermöglichen. Die Sensoren zeichnen sich durch zwei unabhängige Ausgänge aus, einem analogen Spannungsausgang mit 0,5...4,5 V bzw. $2,5 \text{ V} \pm 2 \text{ V}$ und einem I²C-Bus-Interface.

Das analoge Ausgangsspannungssignal ist ratiometrisch zur Versorgungsspannung ($5 \text{ Volt} \pm 5\%$). Über das I²C-Interface kann der aktuelle Druck- und Temperaturwert ausgelesen werden. Der Sensor kann über diese Schnittstelle adressiert und mit einer individuellen Kennzeichnung versehen werden.

Die AMS 5812 werden bei der Herstellung individuell kalibriert und im Bereich $-25...85 \text{ °C}$ kompensiert. Hohe Messgenauigkeit als auch Drift- und Langzeitstabilität sind das Ergebnis hochwertiger piezoresistiver Druckensorelemente in Kombination mit einer State-of-the-Art Auswerteschaltung in Form eines mixed-signal CMOS-ASIC.

Ein $15 \times 15 \text{ mm}^2$ Keramikträger mit Dual-In-Line Lötpins und ein Keramikgehäuse verleihen dem Drucksensor hohe mechanische Stabilität.

AMS 5812 **Niedrigst-Druckbereiche**, differentiell und bidirektional differentiell:

0-0,075; 0-0,15 PSI / $\pm 0,075$; $\pm 0,15$ PSI

AMS 5812 **Nieder-Druckbereiche**, differentiell und bidirektional differentiell:

0-0,3; 0-0,8; 0-1,5 PSI / $\pm 0,3$; $\pm 0,8$; $\pm 1,5$ PSI

AMS 5812 **Standard-Druckbereiche**, differentiell und bidirektional differentiell:

0-3; 0-5; 0-15; 0-30; 0-60; 0-100 PSI / ± 3 ; ± 5 ; ± 15 PSI

AMS 5812 **Druckbereiche absolut**: 0-15 PSI und barometrisch: 11-17,5 PSI



Differentielle und bidirektional differentielle Drucksensoren am Beispiel des AMS 5812

Es handelt sich bei den AMS 5812 um einbaufertige OEM-Sensoren, die keine externen Bauelemente benötigen.

EIGENSCHAFTEN

- Relative, absolute, differentielle und bidirektional differentielle Druckmessungen
- Weiter Druckbereich (5 mbar bis 7 bar)
- Analoge, ratiometrische Ausgangsspannung
- Druckmesswertausgabe über I²C-Bus
- Temperatureingabe über I²C-Bus
- I²C-Bus-Interface mit indiv. Adressierung
- Hohe Genauigkeit in weitem Betriebs-temperaturbereich
- Großer Überdruckbereich
- Kleine Bauform
- Keine zusätzlichen Komponenten nötig

ANWENDUNGEN

- Beatmungsgeräte u. allgem. Medizintechnik
- Gasflussmessungen, Staudruckmessungen [2]
- Heizung / Lüftung / Klima (HVAC)
- Barometrische Messungen
- Pneumatik
- Vakuummessung

Zusammenfassung

Neben der geläufigen Differenzdruckmessung, bei der man immer ein festgelegtes Verhältnis zwischen höherem und niedrigerem Druck misst ($P_1/P_2 \geq 1$ oder $P_1/P_2 \leq 1$), gibt es eine Variante, die als bidirektionale Differenzdruckmessung bezeichnet wird und die erlaubt, beide Konfigurationen gleichzeitig zu messen. Diese besondere Art der Differenzdruckmessung, die es ermöglicht, Unter- und Überdruck zu messen, wird am Beispiel des AMS 5812 näher erläutert.

Weiterführende Informationen

[1] Produktübersicht und Datenblatt AMS 5812:

<http://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams5812-analog-digitaler-drucksensor/>

[2] Anwendungsnotiz: Medienkompatibilität 5812:

<http://www.amsys.de/downloads/notes/Medienkompatibilität-bei-Siliziumdrucksensoren-AMSYS-508d.pdf>



Differentielle und bidirektional differentielle Drucksensoren am Beispiel des AMS 5812

Kontakt

AMSYS GmbH & Co. KG
An der Fahrt 4
55124 Mainz
Deutschland

Telefon: +49 (0) 6131/469875 0
Telefax: +49 (0) 6131/469875 66
E-Mail: info@amsys.de
Internet: <http://www.amsys.de>