

AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

In der Druckmesstechnik haben sich einige Begriffe eingebürgert, die verschiedene physikalische Messmethoden bezeichnen. Dazu gehören Absolutdruck-, Relativdruck- und Differenzdruckmessung. Dass man speziell unter dem Begriff Differenzdruckmessung unterschiedliche Sachverhalte versteht, ist vielen Anwendern nicht geläufig. Am Beispiel piezoresistiver Sensoren sollen in dem nachfolgenden Artikel die Begriffe erläutert werden. Insbesondere wird eine häufig benötigte Version beschrieben, die die AMSYS als differentiell bidirektionale Druckmessung bezeichnet.

Zum besseren Verständnis sollen zunächst die verschiedenen Methoden der Druckmessung auf der Basis der Siliziumdruckmesszellen erläutert werden. In der Praxis ist es selbstverständlich, dass diese Messzellen mit geeignetem Equipment und zum Teil unter Reinraumbedingungen in die entsprechenden Gehäuse montiert werden (*Abbildung 1*), die die eigentliche Druckmessung ermöglichen.

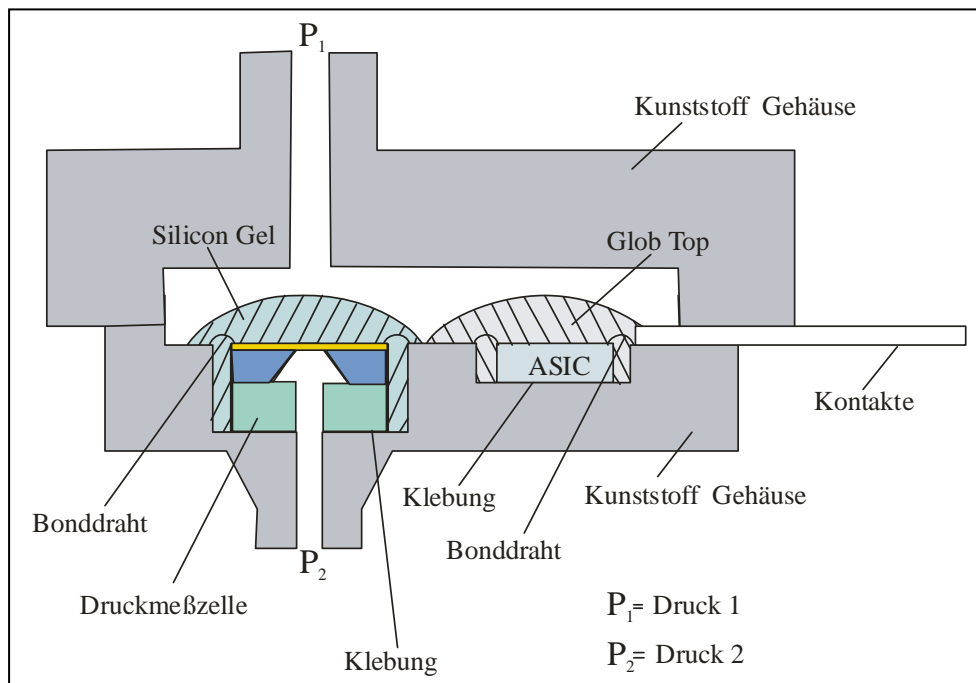


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau eines piezoresistiven, differentiellen Drucksensors

AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

Mikromechanische Druckmesszellen aus Silizium

Da die mikromechanischen Messzellen (Sensorelement) auf Siliziumbasis (siehe *Abbildung 2*) mit den Methoden der Halbleitertechnologie und teilweise sogar in der IC-Fertigung hergestellt werden, genügen sie den hohen Ansprüchen in Bezug auf Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit, durch die sich auch integrierte Schaltungen auszeichnen. Alle mikromechanischen piezoresistive Druckmesszellen haben als druckempfindliches Element ein Siliziumblättchen (Chip) mit einer dünnen Membrane, die heute vorwiegend anisotrop aus dem Chip ausgeätzt wird (Cavity). An geeigneten Stellen der Membrane werden lokal Fremdatome in das Siliziumkristall implantiert, so dass Zonen mit geänderter Leitfähigkeit entstehen, die elektrisch als Widerstände wirken.

Sobald ein Druck von außen auf die Membrane einwirkt, deformiert sich mit der Durchbiegung der dünnen Siliziummembrane die molekulare Struktur des Kristalls. Insbesondere in den Widerstandsgebieten finden starke Kristallverschiebungen statt, die zu einer messbaren Änderung ihres elektrischen Wertes führen (Piezoeffekt). Werden diese integrierten Widerstände zu einer Brücke geschaltet (*Abbildung 2*), erhält man bei Strom- oder Spannungseinprägung ein druckabhängiges, differentielles Signal im Millivoltbereich.

Diese Druckmesszellen werden mit geringen Modifikationen für die verschiedenen Druckmessverfahren benutzt. Man unterscheidet allgemein zwischen Absolutdruck-, Relativdruck- und Differenzdruckmessung.

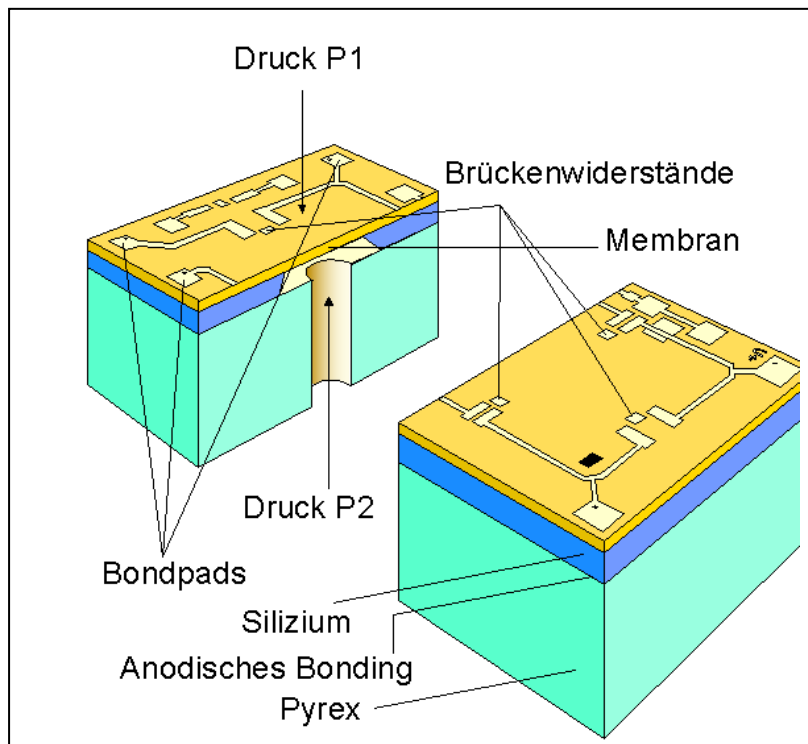


Abbildung 2: Typischer Aufbau eine Messzelle (Kantenlänge ca. 2 mm) zur Differenzdruckmessung

AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

Absolutdruckmessung

Bei der Absolutdruckmessung erfolgt die Erfassung eines Druckes P_1 gegen einen Referenzdruck P_2 , der so niedrig sein soll, dass er im Vergleich mit dem zu messenden Druck vernachlässigt werden kann. Im Idealfall wäre das 0 bar ($P_2 = \text{Unterdruck} = \text{Vakuum}$). Das heißt, die Messzelle wird während der Herstellung bei entsprechendem Unterdruck dauerhaft hermetisch verschlossen (siehe *Abbildung 3*), wobei die Leckrate ein wichtiges Qualitätskriterium darstellt. Bei Druckbeaufschlagung mit P_1 auf die Membrane, biegt sich diese in Richtung des niederen Druckes. Da gilt $P_1 > P_2$ biegt sich die Membrane folglich nach innen in die Cavity (siehe *Abbildung 4*).

Durch den piezoresistiven Effekt ergibt sich am Ausgang der Messbrücke ein Signal, das proportional zum wirkenden Druck ist. Mit der Proportionalität hat man die Steigung der Übertragungskennlinie ($V_{\text{OUT}} = f(P_1, P_2)$) ermittelt, aber noch nicht den Nullpunkt und nicht den Endpunkt. Da man bei der Herstellung einen Druck von 0mbar nicht erreichen kann, muß der wirkliche Wert P_2 (in der Praxis $< 50\text{mbar}$) als Drucknullpunkt dienen. Dies geschieht indem während des Abgleichs der gewünschte Ausgangsnulldruck, der z.B. 0 mA oder 0 Volt eingestellt (kalibriert) wird. Bei höheren Außendrücken kann der Vakuumdruck unter Berücksichtigung des geforderten Fehlers vernachlässigt werden.

Bei Volldruck P_1 ergibt sich am Ausgang das Full Scale Signal, das in der nachfolgenden Elektronik auf den gewünschten Ausgangswert (z.B. 10 V oder bei Stromschleifenanwendungen 20 mA) kalibriert wird.

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

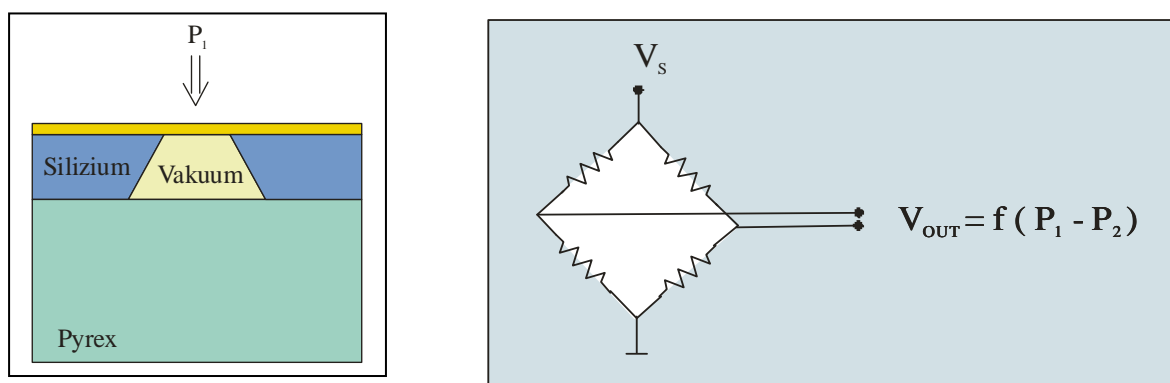


Abbildung 3: Funktionsweise einer piezoresistiven Messzelle zum Messen des Absolutdrucks

AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

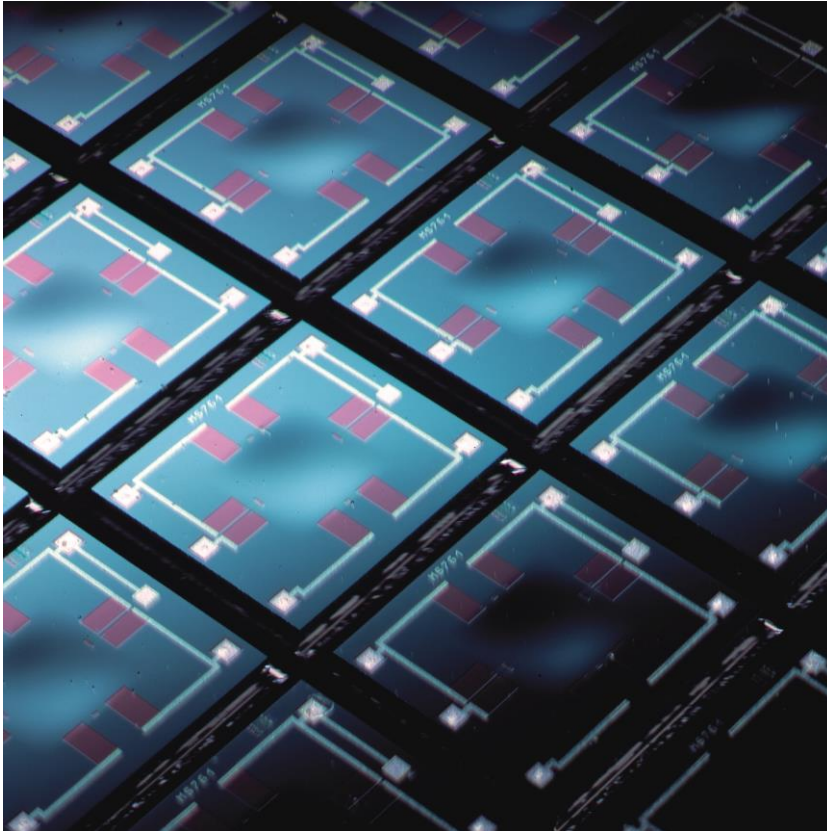


Abbildung 4: Siliziumdruckmesszelle für Absolutdruckmessung

Deutlich wird in der *Abbildung 4* die Einwölbung der Membran der Absolutmesszelle unter der Wirkung des Umgebungsdruckes sichtbar.

Differenzdruckmessung

In der Differenzdruckmessung vergleicht man zwei Drücke P_1 und P_2 , die von außen über das entsprechende Gehäuse an der Unter- und Oberseite des Sensorelements anliegen. Allgemein gilt: $P_1 \leq P_2$ oder umgekehrt $P_1 \geq P_2$. Bei den meisten Sensoren gilt aus weiter unten erläuterten Umständen 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.

Allgemein gilt für die Drucksensoren, deren Membran auf den jeweiligen Druckbereich optimiert ist, zusätzlich die Randbedingung, dass $P_1 - P_2 \leq P_{\max}$ oder $P_2 - P_1 \leq P_{\max}$ sein muß, wobei P_{\max} durch die technischen Gegebenheiten vorgegeben wird und spezifiziert ist.

Diese Randbedingungen müssen beachtet werden, wenn der Anwender seine Messanschlüsse mit der Messzelle beziehungsweise mit dem aufgebauten Sensor verbindet.

AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

In *Abbildung 5* wird schematisch gezeigt, wie man sich die Membranauslenkung der Differenzdruckmesszellen bei verschiedenen Druckverhältnissen vorzustellen hat. Der Vorzeichenwechsel im Ausgangssignal bedeutet nichts anderes als die Richtungsumkehrung der Membranauslenkung.

Die Frage, ob $P_1/P_2 \geq 1$ oder $P_1/P_2 \leq 1$ erfasst wird, hat unter dem Aspekt der Medienempfindlichkeit bei piezoresistiven Messzellen eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung.

Die Membranoberseite hat zur Kontaktierung kleine Metallflächen (Pads aus hochreinem Aluminium = violette Rechtecke in der *Abbildung 4*), die nicht korrosionsbeständig sind. Diese werden in der Regel durch eine Schicht aus Silicongel geschützt. Da es nur selektiv schützende Gele gibt, kann kein universeller Schutz gewährleistet werden. Man muss daher frühzeitig bedenken welchen Medien die Sensoren ausgesetzt sein werden und so den idealen Schutz vor den kontaktierenden Medien wählen [1].

Die Rückseite der Siliziummesszellen ist wegen den fehlenden Aluminiumpads gegenüber der Oberseite sehr medienbeständig. Daher ist es oft ratsam, die kritischen Medien auf die Unterseite der Messzellen zu beaufschlagen, was bei der Auswahl der Sensoren in Bezug auf Anwendungssicherheit berücksichtigt werden muß.

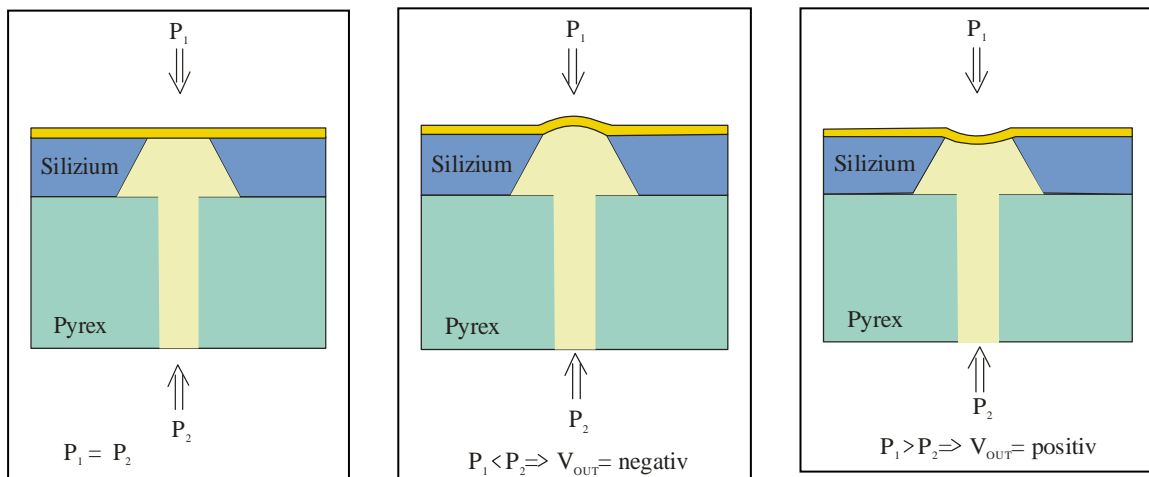


Abbildung 5: Funktionsweise einer piezoresistiven Messzelle zum Messen des Differenzdruckes

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 den Unterschied des Messdruckes P_1 zum Umgebungsdruck P_2 .

Signalaufbereitung

Da die Siliziummesszellen bei der üblichen Brückenschaltung ein Differenzsignal von maximal ca. $\leq 150\text{mV}$ (abhängig von der Membranempfindlichkeit) als Full Scale Signal erzeugen können, ist zur Signalverarbeitung zunächst ein Instrumentenverstärker notwendig. Dieser verstärkt das Signal mit geringem Offset und Offsetdrift, damit es problemlos weiter verarbeitet werden kann. In der nachfolgenden Single-Ended-Conversion-Stufe wird das Differenzsignal auf ein festes Potential

AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

bezogen. In der Regel wird der Nullwert als Bezugspunkt gewählt, so dass bei Differenzmesszellen (ideal gleichen Widerständen vorausgesetzt) ohne Druckbeaufschlagung als Ausgangssignal der Wert 0V gemessen wird. In der nachfolgenden Signalbearbeitung wird dieser Wert entweder digitalisiert und kalibriert oder durch eine Spannungs- oder Stromendstufe auf den gewünschten Nullpunktwert in Volt oder mA gesetzt. In dem Beispiel der 2-Draht Stromschleifenanwendung beträgt dieser Wert z.B. 4 mA.

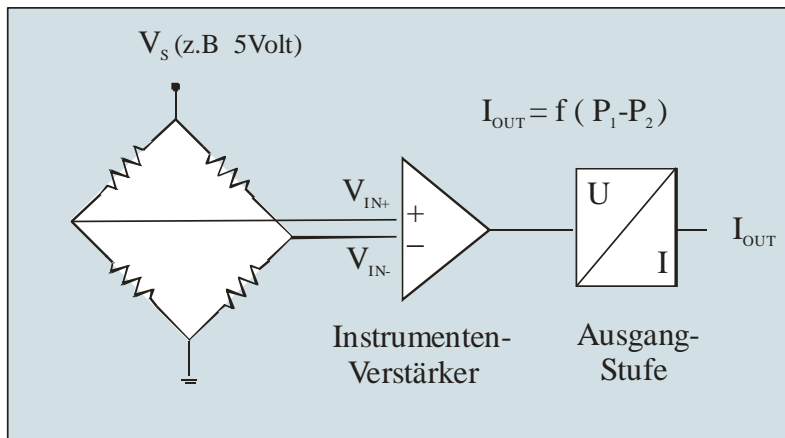


Abbildung 6: Elektronik zur Signalverarbeitung mit analoger Stromausgangsstufe

Wenn der Instrumentenverstärker so ausgelegt ist, dass er nur positive Eingangsspannungen verstärken kann und an seinem positiven Eingang die höhere Spannung anliegt, ergibt sich die Übertragungskennlinie wie in *Abbildung 7* dargestellt mit $P_1 > P_2$:

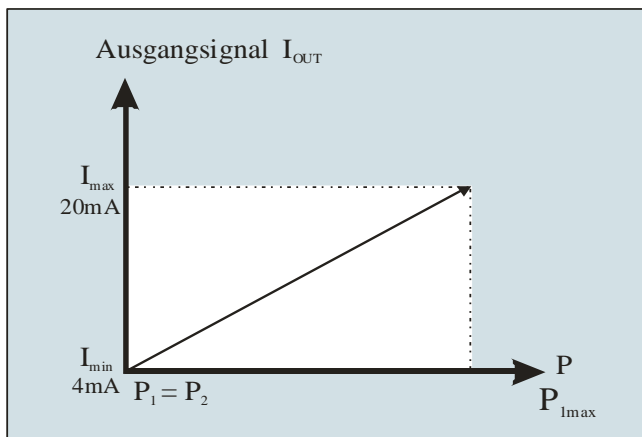


Abbildung 7: Übertragungskennlinie bei positivem Eingangssignal

Negative Eingangssignale werden nicht als Signale erkannt. In diesem Falle bleibt das Ausgangssignal auf Null.

AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

Eingangssignal

Liegt bei einer Elektronik, die für den Fall $P_1 \geq P_2$ entwickelt wurde, ein negativer Wert am Eingang des Instrumentenverstärkers an (z.B. $V(P_1) \leq V(P_2)$) oder existiert ein negativer Offset (z.B. Verstärkeroffset) so wird das Ausgangssignal so lange die Null oder einen der Null entsprechenden Wert (beispielsweise 4 mA) anzeigen, bis das Eingangssignal die Bedingung $V(P_1) \geq V(P_2)$ erfüllt, das Eingangssignal also größer als die negative Vorspannung wird.

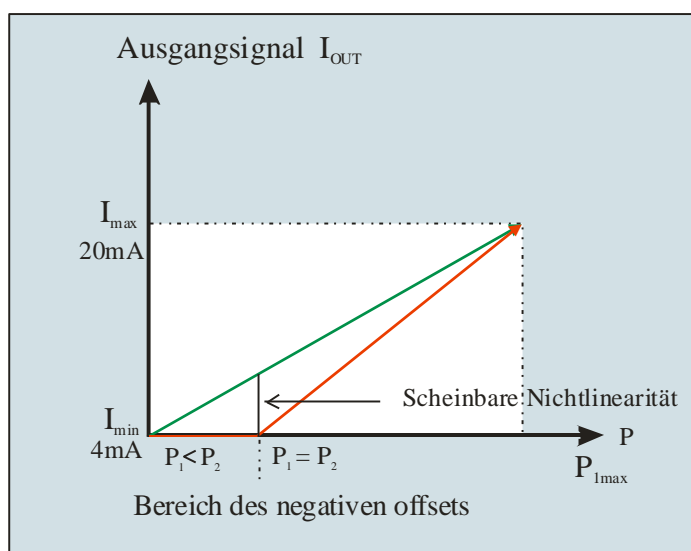


Abbildung 8: Übertragungskennlinie bei negativem Eingangsoffset oder $P_1 < P_2$

Für den Benutzer sieht dann z.B. der vorhandene negative Offset am Verstärkereingang in der Übertragungskennlinie *Abbildung 8* so aus, als ob ein Versatz vorhanden wäre, was bei einer Zweipunktmessung (Nullpunkt und Endpunkt) als Nichtlinearität angesehen werden kann. Dieser Versatz (negatives Eingangssignal) muß in der Nachweiselektronik berücksichtigt und korrigiert werden.

Differentiell bidirektionale Drucksensoren

Neben den beschriebenen Anwendungen gibt es praktische Anforderungen, bei denen in einem Drucksystem beide Bedingungen $P_1 \leq P_2$ als auch $P_1 \geq P_2$ vorkommen können. (z.B. Be- und Entlüften, Unter- und/oder Überschreiten eines Flüssigkeitsniveaus, Ein- und Ausatmen usw.) Da es für diesen Fall der Druckmessung keine allgemein anerkannte Bezeichnung gibt, nennt AMSYS seine Sensoren, die diese Art von Differenzdruck messen können, differentiell bidirektionale Drucksensoren. Sie haben also die Eigenschaft Unter- und Überdruck messen zu können. Am Beispiel der folgenden Graphik wird dies anschaulich dargestellt.

AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

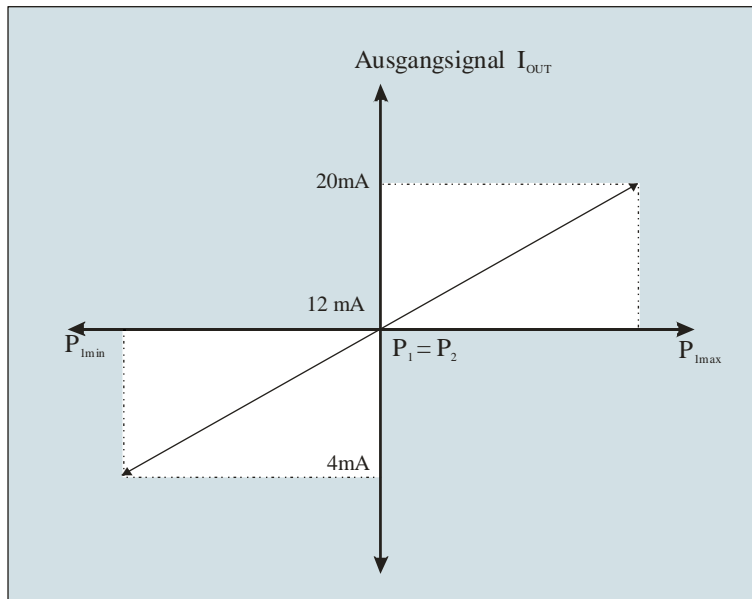


Abbildung 9: Übertragungskennlinie für differentiell bidirektionale Drucksensoren

Der zu messende Differenzdruck kann bei diesen Sensoren sowohl ein positives als auch ein negatives Vorzeichen haben; d.h. der Druck P_1 an dem Anschlussstutzen 1 (z.B. Messzellenoberseite) kann sowohl größer als auch kleiner als der Druck P_2 am Anschlussstutzen 2 (Messzellenunterseite) sein und das Vorzeichen kann während der Messung variieren. Für die Drücke P_1 , P_2 an den Anschlussstutzen gilt die Bedingung:

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

Darin bezeichnet P_{\max} den positiven und P_{\min} den negativen Enddruck des jeweiligen Druckbereiches, für den die Sensoren ausgelegt sind. P_{System} bezeichnet den maximal erlaubten Systemdruck in Bezug auf den wirkenden Umgebungsdruck, der von außen an den Anschlussstutzen des Sensors anliegen darf.

Diese bidirektional differentielle Messung ist nur dann möglich, wenn zwei Anforderungen an das Sensorsystem erfüllt sind:

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

Zu a) Bei der Membran handelt es sich um eine dünne Halbleiterschicht (einige Mikrometer), die aus verschiedenen Schichten besteht. In der Regel sind das neben der Siliziumschicht eine Oxid- und eine Passivierungsschicht. Aus diesem Grunde kann das Verhalten der Membran richtungsabhängig sein. Im schlimmsten Fall kann es sogar zu einem Knackfroscheffekt kommen. Die Hersteller der Siliziummesszellen müssen also für die bidirektionalen Sensoren ein symmetrisches Verhalten der Membran bei positiver und negativer Auslenkung gewährleisten.



AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

Zu b) Die Übertragung der Kennlinie, die in *Abbildung 9* dargestellt ist, bedingt eine Verstärkerelektronik, in der nicht das Nullpotential als Referenz des Instrumentenverstärkers festgelegt ist, sondern dessen Referenz auf den $\frac{1}{2}$ Full-Scale-Wert gelegt werden muß. Zum Beispiel wird bei einem Sensor, der 4-20 mA als Ausgangssignal haben soll, bei den bidirektional differentiellen Drucksensoren der Nullpunkt auf 12mA gelegt, so wird das Signal $P1 \leq P2$ von 4-12 mA und das Signal $P1 \geq P2$ von 12-20 mA abgebildet.

AMS 4712 - Neue Drucktransmitter-Serie

Die Serie der Drucktransmitter*, zu denen der AMS 4712 [2] von AMSYS gehört, erfüllt nicht nur die Forderungen an einen bidirektional-differenziellen Drucksensor, sondern darüber hinaus auch die Voraussetzungen für industrielle Anwendungen:

Die AMS 4712 ermöglichen alle Druckmessarten und sind ohne weitere Komponenten für die Innen- und Außenmontage betriebsbereit. Sie sind weitestgehend medienkompatibel und werden mit einem industrietauglichen 4-20 mA-Stromausgang in 2-Leiter-Version [3] angeboten und können mit einer Versorgungsspannung von 9 bis 35 V betrieben werden.

Die Kalibration von Nullpunkt und Spanne wird ebenso wie die Kompensation der Nullpunkt- und der Spannendrift bei der Herstellung vorgenommen. Dank des digitalen Abgleichs sind eine hohe Genauigkeit bei Raumtemperatur und ein geringer Gesamtfehler im gesamten Betriebstemperaturbereich gewährleistet.

Die AMS 4712 sind außer für: 10, 20, 50, 100, und 200 mbar in der differentiell bidirektionalen Version in den Bereichen: ± 5 , ± 10 , ± 20 , ± 50 , ± 100 mbar erhältlich.



Abbildung 9: Drucksensor AMS 4712, der differentielle und bidirektionale Druckmessung erlaubt

* Unter Transmitter versteht man einen Sensor, der linearisiert, auf Standardwerte kalibriert, im Temperaturbereich kompensiert und in einem montagefertigen Gehäuse eingebaut ist.



AMS 4712 – Was man über bidirektionale Differenzdruckmessung wissen sollte

Anwendungen

Differenzdrucksensoren werden in vielen Bereichen von der Überwachung von Filtern und Lüftern, über Pneumatik und Vakuumüberwachung bis zur Kontrolle von Heizungen und Klimaanlage eingesetzt.

Durch die bidirektional-differenziellen Eigenschaften der Transmitter der Serie AMS 4712 eröffnen sich Anwendungsbereiche, die für die üblichen Differenzdrucksensoren nicht zugänglich sind. Diese können, wie vorher erwähnt, nur ein festes Verhältnis zwischen den zwei anliegenden Drücken messen. Mit den differentiell bidirektionalen Drucksensoren können problemlos Luftstrommessungen durchgeführt werden, bei denen zum Beispiel durch Betätigung von Ventilen eine Druckumkehr zum herrschenden Differenzdruck entstehen kann.

Für solche Messungen mit wechselseitigen Druckverhältnissen sind die differenziell bidirektionalen Drucktransmitter der AMS 4712 Baureihe mit Stromausgang konzipiert. Ferner bietet AMSYS auch eine Serie Transmitter mit einem Spannungsausgang 0-5 V, den AMS 4711 [4] und eine weitere Serie im robusten Metallgehäuse, den AMS 3011 [5] mit 0-5 V und 0-10 V Spannungsausgang an.

Zusammenfassung

Ausgehend von der Absolutdruckmessung wurde der Begriff Differenzdruckmessung erläutert, bei der zwei Drücke P1 und P2, die von außen über das entsprechende Gehäuse an der Unter- und Oberseite des Sensorelements angelegt werden. Es wurde der Aufbau einer piezoresistiven Druckmesszelle, deren Funktionsweise und die Aufbereitung des Signals, sowie die Kalibration und Linearisierung des Ausgangssignals dargestellt. Ferner wurde die Membranstruktur und deren Auslenkung im Fall der einfachen Differenzdruckmessung und der bidirektionalen Differenzdruckmessung erläutert.

Weiterführende Informationen

- [1] Anwendungsnotiz Medienkompatibilität AMS 4711: <https://www.amsys.de/downloads/notes/AMS4711-Medienkompatibler-Drucktransmitter-im-Streichholzschachtelformat-AMSYS-515d.pdf>
- [2] Produktinformation AMS 4712: <https://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams-4712-drucksensor-mit-stromausgang/>
- [3] Anwendungsnotiz Drucktransmitter mit 2-Draht Stromschleife AMS 4712: <https://www.amsys.de/downloads/notes/AMS4712-4-20-mA-Drucktransmitter-mit-2-Draht-Stromschleife-AMSYS-518d.pdf>
- [4] Produktinformation AMS 4711: <https://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams-4711-drucksensor-mit-spannungsausgang/>
- [5] Produktinformation AMS 3011: <https://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams-3011-drucksensor-im-metallgehaeuse-mit-spannungsausgang/>

Kontakt

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

Telefon: +49 (0) 6131/469 875 0
Telefax: +49 (0) 6131/469 875 66
E-Mail: info@amsys.de
Internet: <http://www.amsys.de>