



Ratiometrie in der Drucksensorik am Beispiel des AMS 5812

Der OEM-Drucksensor AMS 5812 [1] ist ein Sensor, der sowohl ein analoges als auch ein digitales Ausgangssignal proportional zum Druck erzeugt. Gemäß dem Datenblatt ist das analoge Signal ratiometrisch, das digitale Signal aber nicht ratiometrisch. Wieso?

AMSYS beschreibt an dem Beispiel des AMS 5812, was unter dem Begriff *Ratiometrie* in der Drucksensorik zu verstehen ist und was mit *ratiometrischem Fehler* gemeint ist.

- [Beschreibung des AMS 5812](#)
- [Arbeitsweise des AMS 5812](#)
- [Ratiometrisches analoges Ausgangssignal](#)
- [Ratiometriefehler](#)
- [Nicht ratiometrische Drucksensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Beschreibung des AMS 5812

Die Baureihe AMS 5812 besteht aus OEM-Drucksensoren, die die Messung von Absolut-, Relativ-, Differenz- und bidirektionalem Differenzdruck (Über- und Unterdruck) ermöglichen. Die Sensoren werden bei der Fertigung auf die spezifizierten Sollwerte individuell kalibriert. Die sich durch Temperaturänderungen ergebenden Abweichungen von der idealen Übertragungskennlinie werden individuell korrigiert. Der Abgleichbereich erstreckt sich von -25 °C – 85 °C . Geringe Fehler und gute Langzeitstabilität sind das Ergebnis hochwertiger piezoresistiver Drucksensorelemente, moderner integrierter Signalverarbeitung und optimierter Algorithmen.

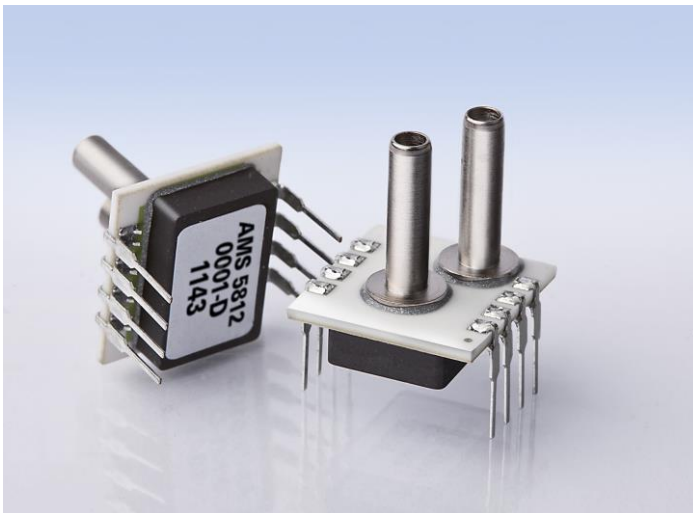


Abbildung 1: OEM-Drucksensor AMS 5812
mit analogem und digitalem Ausgang

Die AMS 5812 haben bei 5 V Spannungsversorgung zwei unabhängige Ausgänge, einen analogen, ratiometrischen Spannungsausgang mit 0,5 – 4,5 V (oder $2,5\text{ V} \pm 2\text{ V}$ für die bidirektionale Differentialversion [2]) sowie einen digitalen Ausgang für die I²C Übertragung [3].

Die verschiedenen Varianten stehen für Druckbereiche von 0 – 0,075 psi bis 100 psi zur Verfügung, können aber auch kundenspezifisch kalibriert werden.

Das keramische Substrat mit den Dual-In-Line-Lötanschlüssen und ein Keramikgehäuse verleihen dem Drucksensor eine hohe mechanische Stabilität.

Ratiometrie in der Drucksensorik am Beispiel des AMS 5812

Arbeitsweise des AMS 5812

Die Druckerfassung beim AMS 5812 erfolgt mit einer modernen, piezoresistiven Silizium-Messzelle („pressure sensing element“). Hier wird der auf diese MEMS-Messzelle (Mikro-Elektro-Mechanische System) wirkende Druck in ein Analogsignal umgewandelt, das nahezu proportional zum angelegten Druck ist. Anschließend wird dieses Spannungssignal durch das CMOS-ASIC verstärkt (siehe *Abbildung 2*) und in dem nachfolgenden ADC in einen digitalen Wert umgewandelt. Beim AMS 5812 ist die Auflösung des ADC 16 bit.

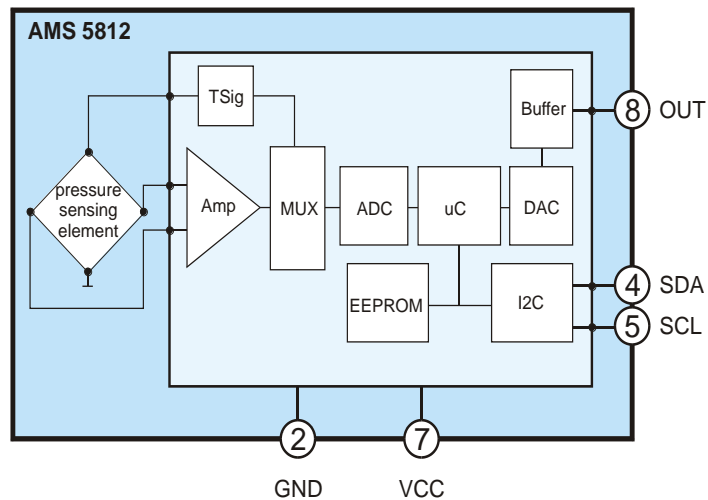


Abbildung 2: Blockschaltbild OEM-Drucksensor AMS 5812

Um standardisierte Ausgangswerte zu erhalten, werden die digitalisierten Signale im Mikroprozessor-Block elektronisch kalibriert, temperaturkompensiert und linearisiert. Während des Abgleichs werden vor Auslieferung für jeden einzelnen Sensor bei verschiedenen Drücken und Temperaturen Korrekturkoeffizienten bezüglich der idealen Übertragungskennlinie bestimmt und im EEPROM gespeichert. Dabei geschieht die Temperaturmessung direkt an der Messzelle in Kontakt mit dem Messmedium und gewährleistet somit einen nahezu unverfälschten Wert.

Das im integrierten Mikroprozessor laufende Programm gleicht das digitale Drucksignal zyklisch anhand der jeweiligen Druck- und Temperaturwerte mit Hilfe der Korrekturkoeffizienten ab. Die abgeglichenen Werte werden in das Ausgaberegister des ASIC geschrieben und kontinuierlich aktualisiert, typischerweise alle 0,5 ms. Sowohl der Druck- als auch der Temperaturwert stehen als digitale Daten zur Verfügung, während der Druckwert zusätzlich noch durch einen nachfolgenden DAC (11 bit) in ein analoges Spannungssignal umgewandelt wird.

Ratiometrisches analoges Druckmesszellensignal

Für die Ausgangsspannung von piezoresistiven Druckmesszellen, wie sie in den Sensoren der Serie AMS 5812 verwendet werden, gilt in erster Näherung

$$V_{Mz} = S \cdot P \cdot V_{CC} , \quad (1)$$

mit S = Empfindlichkeit der Messzelle, P = Druck und V_{CC} = Versorgungsspannung.

Es ist ersichtlich, dass das Ausgangssignal der piezoresistiven Siliziummesszelle V_{Mz} direkt proportional zur Versorgungsspannung V_{CC} und dem wirkenden Druck P ist, also $V_{Mz} = f(P, V_{CC})$. Dies bedeutet, dass sich das Signal des Sensorelements u.a. synchron mit der Änderung der Versorgungsspannung ändert: ein Effekt, den man als "Ratiometrizität" bezeichnet.



Ratiometrie in der Drucksensorik am Beispiel des AMS 5812

Wenn sich beispielsweise die Versorgungsspannung V_{CC} um $\pm 5\%$ auf $V_{CC,1}$ ändert, ändert sich das Ausgangssignal V_{Mz} der Druckmesszelle im gleichen Verhältnis. Es gilt die Ratiometriebedingung:

$$\frac{V_{CC,1}}{V_{CC}} = \frac{V_{Mz,1}}{V_{Mz}} \quad (2)$$

Nicht-ratiometrisches digitales Ausgangssignal

Die meisten heutigen Sensoren verwenden zur Signalaufbereitung nach dem Analogverstärker einen Mikroprozessor für die Signalverarbeitung. Daher ist zwangsläufig ein Analog-Digital-Wandler (ADC) zwischen Messzelle und Prozessor erforderlich.

Der ADC hat im Allgemeinen drei Eingänge für analoge Spannungen. Diese sind

- die zu messende, druckabhängige Ausgangsspannung $V_{Mz}(P)$ der Messzelle,
- die obere Referenzspannung V_{Ref+} sowie
- die untere Referenzspannung V_{Ref-} .

Der zu wandelnde Eingangswert des ADC entspricht der Ausgangsspannung der Messzelle V_{Mz} . Die obere Referenzspannung ist entweder die Betriebsspannung V_{CC} des Prozessors oder angelegte externe Referenzspannung. Sie begrenzt die maximal messbare Eingangsspannung. Aus Kostengründen ist es natürlich sinnvoll die Betriebsspannung V_{CC} zu verwenden. Die untere Referenzspannung V_{Ref-} ist entweder die Masse (V_{ground}) des Prozessors oder eine alternative externe Referenzspannung. Sie stellt für den ADC den Nullpunkt dar.

Der ADC digitalisiert das analoge Ausgangssignal der Messzelle in Bezug auf seine Referenzspannung V_{Ref+} . Bei gleichem analogen Eingangswert und identischer Auflösung aber mit kleinerer Referenzspannung steigt der Digitalwert am Ausgang ADC und umgekehrt.

Wenn man zunächst nur das Sensorelement und den AD-Wandler berücksichtigt, hängt der digitalisierte Wert hinter dem ADC von dem Druck, der Auflösung und dem Verhältnis des Signals des Sensorelements zu der Referenzspannung ab.

$$DC_{out} = V_{Mz}(P)/V_{Ref+} \quad (3)$$

Wenn sich die Versorgungsspannung V_S des Sensorelements und die Referenzspannung V_{Ref} des ADC synchron ändern (z.B. $V_{Ref+}=V_{CC}$), bleibt das Verhältnis der Ausgangsspannung der Messzelle V_{Mz} zur Referenzspannung bei gleichem Druck konstant und das digitale Ausgangssignal ist unabhängig von der Änderung der Versorgungsspannung V_{CC} (Kombination von Formeln (1) und (3)).

Daher ist das digitale Signal nicht ratiometrisch. Es ändert sich nicht zur Versorgungsspannungsänderung sondern ist nur proportional zum Druck P .

Ratiometrie in der Drucksensorik am Beispiel des AMS 5812

Ratiometrisches analoges Ausgangssignal

Wenn man den weiteren Signalverlauf des AMS 5812 betrachtet, muss das digitalisierte Signal mit einem DA-Wandler (DAC) in ein Analogsignal umgesetzt werden (Abbildung 3). Der DAC wandelt das digitale Signal in ein analoges Signal in Bezug auf seine Referenzspannung. Bei gleichem digitalen Eingangswert und gleicher Auflösung sinkt der Analogausgang bei kleinerer Referenzspannung $V_{Ref+,DAC}$ des DAC. Das Signal wird unter gleichen Bedingungen größer, wenn die Referenzspannung ansteigt.

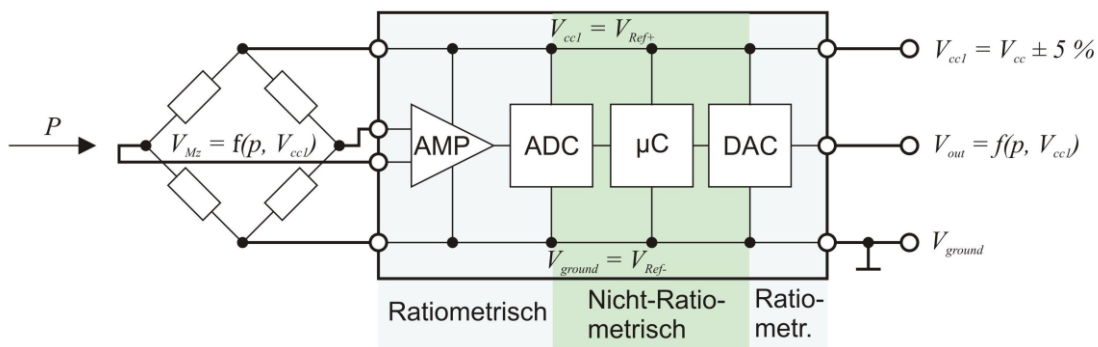


Abbildung 3: Prinzipschaltbild ratiometrischer Drucksensor

Die Referenzspannungen des ADC und DAC, $V_{Ref+,ADC}$ und $V_{Ref+,DAC}$ sind beim AMS 5812 beide mit der Versorgungsspannung V_{CC} verbunden. Daher bewirkt eine Änderung von V_{CC} eine synchrone Änderung des Ausgangssignals der Messzelle einerseits und des wieder in eine Analogspannung gewandelten Digitalsignals andererseits. Daher ist die analoge Ausgangsspannung des AMS 5812 insgesamt ratiometrisch zu der Versorgungsspannung.

Das von dem ADC erzeugte und vom Mikrocontroller verarbeitete Digitalsignal ist hingegen nicht ratiometrisch zur Versorgungsspannung.

Die zusätzlich notwendige D/A-Wandlung im AMS 5812 erklärt auch, warum die Auflösung des digitalen Signals in diesem OEM-Sensor 14 bit beträgt, die des analogen Ausgangssignals allerdings nur 11 bit.

Für das ratiometrische Signal gilt aus der Ratiometriebedingung (2) bei $V_{CC} = 5 V$:

$$V_{out,1}(P, V_{CC,1}) = V_{out}(P, V_{CC}) \cdot \frac{V_{CC,1}}{V_{CC}} = V_{out}(P, V_{CC}) \cdot \frac{V_{CC,1}}{5V} \quad (4a)$$

Erwartet man z.B. beim AMS 5812 mit einer Versorgungsspannung von $V_{CC} = 5 V$ für den Nulldruck P_0 den spezifizierten Wert $V_{OUT} = 0,5 V$, so gilt für $V_{CC1} = 5 V \pm 5\%$:

$$V_{out,1}(P_0, V_{CC,1}) = 0,5V \cdot \frac{V_{CC,1}}{5V} = 0,5V \cdot \pm 1,05 = 0,5 V \pm 0,025 V \quad (4b)$$

Dieser Wert ist das korrekte, durch die Versorgungsspannung $V_{CC,1}$ gegebene Ausgangssignal.

Das bedeutet insbesondere, dass die Stabilität des Ausgangssignals von der Stabilität der Versorgungsspannung direkt abhängig ist.



Ratiometrie in der Drucksensorik am Beispiel des AMS 5812

Ratiometriefehler

Oft wird in den Datenblättern von ratiometrischen Sensoren ein Ratiometriefehler angegeben. Dieser bezeichnet die Abweichung des Messwertes (Ausgangssignal) von dem Wert aus der Formel (4). Dabei gilt:

$$\frac{V_{out,1}(gemessen) - V_{out,1}(P, V_{CC,1})}{V_{out,1}(P, V_{CC,1})} \cdot 100\% = \text{Ratiometriefehler} \quad (5)$$

Der ratiometrische Fehler ist nicht zu verwechseln mit der Abweichung des Ausgangssignals bei V_{CC} mit dem Ausgangswert bei $V_{CC,1}$.

Nicht ratiometrische Drucksensoren

Die Forderung der Ratiometrie kommt aus dem Verhalten der Messzelle in Sensoren der KFZ-Industrie. Wenn sich die 5 V-Board-Versorgungsspannung ändert, möchte man dies in dem entsprechenden Ausgangswert des Sensors berücksichtigen wissen.

Da viele ratiometrische Sensoren in den Fahrzeugen von einer zentralen Spannungsversorgung versorgt werden, kann man sie alle einheitlich um den Wert der Spannungsschwankung korrigieren und damit synchronisieren. Außerdem erspart man sich für jeden Sensor eine entsprechende Referenz, was in modernen Fahrzeugen mit der Vielzahl an Sensoren nicht unerheblich ist.

Das typische Ausgangssignal eines Sensors mit einer 5 V-Versorgung, wie man es im KFZ-Bereich und auch beim AMS 5812 findet, ist ein 0,5 – 4,5 V Ausgangssignal. Ratiometrie bedeutet hier, dass das sich das Signal mit der Spannungsversorgung von $5 \text{ V} \pm 5\%$ im zulässigen Bereich ändern kann.

Der Vorteil dieses 0,5 - 4,5 V Ausgangssignal liegt u.a. in seinen Spannungspegeln. Wenn das Ausgangssignal z.B. $< 0,3 \text{ V}$ oder $> 4,7 \text{ V}$ ist, liegt ein Fehlverhalten des Sensors vor, das damit elektrisch detektiert wird (die Pegel von 0,3 V und 4,7 V ergeben sich durch Einrechnung der zulässigen Versorgungsspannungsschwankung von $\pm 5\%$).



Abbildung 4: Differenzdrucktransmitter AMS 4711

Sensoren, die einen großen Spannungsbereich für die Versorgung zulassen (z.B. $V_{CC} = 10 - 30 \text{ V}$) oder Sensoren, die bei Versorgungsspannungen $> 6 \text{ V}$ arbeiten, besitzen für die Versorgung der internen elektronischen Signalbearbeitung (CMOS-IC) einen stabilisierten 3 V- oder 5 V- Regler. Da hierdurch die Gefahr der schwankenden Versorgungsspannung nicht mehr besteht, braucht man die Ratiometriebedingung nicht zu berücksichtigen.

So arbeitet beispielsweise der Differenzdrucktransmitter AMS 4711 [4] aus *Abbildung 4* mit Versorgungsspannungen im Bereich von 8 – 36 V und genügt damit industriellen Anforderungen. Dieser Sensor hat einen internen 5,5 V Regler, der die Messzelle und das ASIC versorgt. Damit kann er ein nicht-ratiometrisches Ausgangssignal von 5 V erzeugen.



Ratiometrie in der Drucksensorik am Beispiel des AMS 5812

Zusammenfassung

Am Beispiel des OEM-Sensors AMS 5812, der sowohl einen analogen als auch einen digitalen Ausgang besitzt, wird erklärt, was man unter Ratiometrie versteht. Es wird gezeigt, wieso bei diesem Sensor das analoge Ausgangssignal ratiometrisch und das digitale Signal nicht ratiometrisch ist. Außerdem wird die Formel für den Ratiometriefehler dargestellt – ein Fehler, der bisweilen in der Fehlerbetrachtung vernachlässigt wird.

Am Beispiel des AMS 4711 wird ein nicht ratiometrischer Drucktransmitter mit analogem Signal-
ausgang vorgestellt.

Weitere Informationen:

[1] Datenblatt Drucksensor AMS 5812:

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

[2] Anwendungsnotiz aan510:

<http://www.amsys.de/downloads/notes/AMS5812-Differentielle-und-bidirektional-differentielle-Drucksensoren-510d.pdf>

[3] Anwendungsnotiz aan 511:

<http://www.amsys.de/downloads/notes/AMS5812-OEM-Drucksensor-mit-analogem-und-digitalem-Ausgang-AMSYS-511d.pdf>

[4] Datenblatt AMS 4711:

<http://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams-4711-drucksensor-mit-spannungsausgang/>

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>