Miniaturisierte Drucksensoren AMS5712 mit 4...20mA-Stromausgang *Ready-to-Use*

AMSYS

Analog - Digitale
Mikromechanische
Sensorsysteme

Miniaturisierte Sensoren werden in nahezu allen industriellen Bereichen benötigt und stehen dennoch erst am Anfang eines neuen elektronischen Zeitalters. So haben z.B. Drucksensoren auf Siliziumbasis die mechanischen Membrankonstruktionen fast gänzlich verdrängt und werden bereits heute in großen Stückzahlen in der Automatisierungstechnik sowie für die Druckmessung in Fahrzeugen eingesetzt.

Unter Sensoren werden hier einbaufähige elektronische Systeme verstanden, die eine physikalische Meßgröße in einen adäquaten elektrischen Wert umwandeln. Diese Systeme bestehen in der Regel aus einem Meßelement zur Signalerfassung, aus der Elektronik für die Signalaufbereitung und -verarbeitung sowie aus dem Gehäuse mit Medienanbindung und den elektrischen Anschlüssen.

Siliziumdruckmeßzellen

Kernstück aller Sensoren ist die Meßzelle, in der das physikalische Nachweisprinzip integriert ist. So haben die meisten mikromechanischen Druckmeßzellen, die nach dem piezoresistiven Prinzip auf Siliziumbasis arbeiten, als druckempfindliches Element eine dünne Membrane, die heute vorwiegend anisotrop aus dem Siliziumkörper ausgeätzt wird (siehe Abbildung 1). An geeigneten Stellen werden lokal Fremdatome in den Siliziumkristall eindiffundiert oder implantiert, so daß Zonen mit geänderter Leitfähigkeit entstehen, die elektrisch als Widerstände in Erscheinung treten. Sobald ein Druck auf die Meßzelle einwirkt, deformiert sich die dünne Siliziummembran. Durch die auftretenden inneren Kräften wird die molekulare Struktur des Kristalls reversibel verändert. Insbesondere in den eindiffundierten Widerstandsgebieten finden im Kristallgitter starke Potentialverschiebungen statt, die zu einer meßbaren Änderung der elektrischen Werte führen (piezoeresistiver Effekt). Werden diese integrierten Widerstände zu einer Brücke verschaltet, so erhält man bei Strom- oder Spannungsspeisung druckabhängige, elektronische Signale. Da diese elektronisch/physikalischen Wandlerelemente mit den Methoden der Halbleitertechnologie hergestellt werden, genügen sie den hohen Ansprüchen in Bezug auf Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit, durch die sich integrierte Schaltungen seit langem auszeichnen. Die nachfolgend beschriebenen Transducer und Sensoren basieren auf solchen Druckmeßzellen und stellen den derzeitigen Stand der Technik im Bereich der industriellen Druckmessung dar.

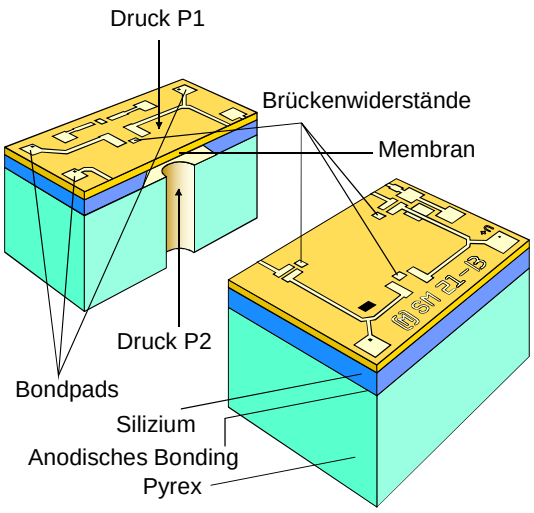

Abbildung 1: Schnittbild piezoresistive Druckmeßzelle

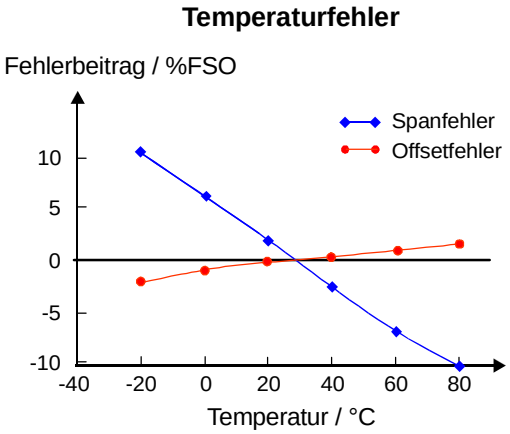

Abbildung 2: Offset- und Spannenfehler einer nichtkompensierten Siliziummeßzelle als Funktion der Temperatur

Einfache Transducer

Da die wenigsten Anwender die Siliziummeßzellen in Chipform handhaben können, werden von einigen Anbietern (IC-Sensors, Motorola usw.) Einfachtransducer angeboten. Dabei wird die Siliziummeßzelle anodisch auf einem Glassockel (z.B. Pyrex) gebondet (elektrochemisches Verfahren), auf Dickschicht-

substrate aufgeklebt, mit Golddrähten an das Substrat angeschlossen und mit einer Schutzkappe versehen. Bei diesen Produkten handelt es sich um nicht-kalibrierte Transducer, die kostengünstig als SMD-Bauteile (AMS5310) oder als DIL-Versionen[1] (AMS5410) zur Druckerfassung eingesetzt werden können (zu beziehen von AMSYS [1]). Das Ausgangssignal dieser Einfachtransducer ist fehlerbehaftet (typische Temperaturfehler sind in Abbildung 2 dargestellt) und muß für die meisten Anwendungsfälle kalibriert und kompensiert werden. Unter Kalibration wird dabei der Abgleich des Offsets- und des Full-Scale-Signals verstanden und unter Kompensation die Korrektur der Fehler, die durch äußere Störgrößen wie die Temperaturänderungen verursacht werden.

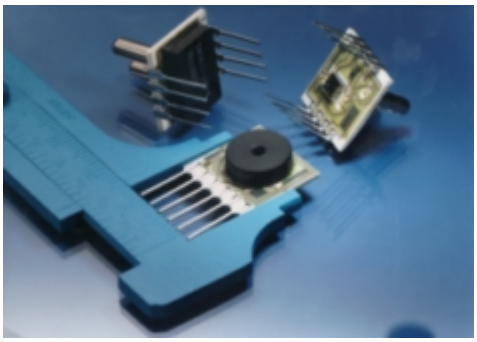

Abbildung 3: Kompensierte und kalibrierte Drucktransducer der Reihe AMS5600

Neben einfachen Transducern werden auch Lösungen angeboten, bei denen die Fehler bereits korrigiert sind. Dazu werden z.B. Widerstände, die parallel und/oder seriell zu den Brückenwiderständen angeordnet sind, auf einem Dickschichtsubstrat zu Kompensations- und Kalibriernetzwerken verknüpft. Durch Lasertrimmen der Widerstände erreichen die Hersteller eine normierte und temperaturkompensierte Übertragungskennlinie. Abhängig vom Druckbereich und der benutzten Meßzelle kann das Full-Scale-Ausgangssignal typischerweise zwischen 15 und 75mV liegen. Als Sensoren in DIL-Ausführung (siehe Abbildung 3) werden diese kalibrierten und kompensierten Transducer z.B. von LucasNova (NPC1210) und AMSYS (AMS56XX [2]) angeboten.

Transducer plus Signalverarbeitung

Das Ausgangssignal der kompensierten und kalibrierten Transducer ist, wie oben beschrieben, meist klein und nicht unmittelbar zur Weiterverarbeitung geeignet. Um Signale in industrieller Umgebung störungsfrei zu übermitteln, wird in industriellen Anwendungen neben der digitalen Signalübertragung meist ein Stromschleifensignal (0/4...20mA) oder ein Spannungssignal (0...5/10V) benötigt. In Automobilanwendungen verlangt man hingegen ein zur Versorgungsspannung ratiometrisches Spannungssignal von 0,5...4,5V.

Das Problem bei den einfachen kalibrierten und kompensierten Drucktransducern ist, eine verstärkende Auswerteelektronik zu entwickeln, die das geforderte Standardausgangssignal erzeugt, ohne die Ungenauigkeit zu vergrößern. Ein Problem insofern, als daß man die Verstärkerschaltung an den Transducer respektive an die verwendete Meßzelle anpassen und u.U. beide Bauteile in Abhängigkeit von der gewünschten Ausgangsgenauigkeit an verschiedenen Parametern abgleichen muß. Selbst unter der Annahme, daß der Eingangsspannungsbereich (CMIR – Common Mode Input Range) und die Bezugspotentiale des Verstärkers an den Drucktransducer angepaßt sind, ist es nicht zu vermeiden, daß sich die verbleibenden Fehler und Ungenauigkeiten des Transducers wie z.B. *TCO* (Temperaturkoeffizient des Offsets) mit den Fehlern der Verstärkerschaltung (z.B. Temperaturdriften, Eingangsoffset usw.) additiv überlagern. Dies bedeutet, daß die Kombination eines kalibrierten Transducers mit der notwendigen Verstärkerschaltung immer einen höheren Fehler als der Transducer selbst haben wird. Unter dem Genauigkeitsaspekt ist die Kombination eines *kalibrierten* Transducers mit einer anschließenden Verstärkerschaltung also nicht die optimale Lösung. Vom wirtschaftlichen Standpunkt ist die Benutzung einer hochpräzisen Auswerteschaltung (Kosten) mit einem vorgeschalteten Transducer gleichermaßen unbefriedigend.

Neuentwicklung

AMSYS GmbH & Co. KG, Mainz, geht nun einen Schritt weiter und kombiniert eine nicht-kalibrierte Siliziummeßzelle mit einer analog/digitalen Auswerteschaltung (siehe Abbildung 4). Die Kombination wird als komplette Einheit unter Druck und Temperatur vermessen und die Abweichungen von der gewünschten

[1] DIL – Dual-in-Line-Gehäuse eignen sich zur Leiterplattenmontage

Miniaturisierte Drucksensoren AMS5712 mit 4...20mA-Stromausgang *Ready-to-Use*

Kennlinie elektronisch in der Auswerteschaltung im Sensorsystem korrigiert. Die miniaturisierten Drucksensoren AMS5712 der AMSYS zeichnen sich im Gegensatz zu ca. abmessungsgleichen Typen (z.B. AMS56XX-Serie von AMSYS oder die NPC-1210-Serie von LucasNova), die nur kalibriert und kompensiert sind, durch den industriellen Standardstromausgang von 4 bis 20mA (für 3-Draht-Anwendungen) aus. Trotz der kleinen Bauform (8-poligen Dual-In-Line-Gehäuse) befinden sich Signalverstärkung, Ausgangsstufe, Meßzellenversorgung, Schutzbeschaltung und digitale Korrekturelektronik auf dem Dickschichtsubstrat und machen nachträgliche Einstellungen oder Korrekturen des Signals überflüssig. Außer der Leiterplattenmontage und dem Druckanschluß sind folglich keine weiteren Arbeiten oder zusätzliche Komponenten für die Inbetriebnahme notwendig. Der Sensor ist ein echtes ***Ready-to-Use***-Produkt für die Leiterplattenmontage und außerdem weltweit der kleinste derzeit angebotene industrietaugliche Drucksensor mit Stromausgang.

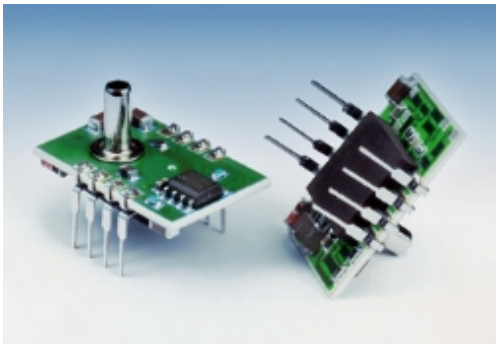

Abbildung 4: Dual-In-Line-Drucksensor mit industriellem Stromausgang

Das Konzept der Frame-ASICs

Basis des neuen Entwicklungsansatzes ist die Einteilung des Sensors in zweckmäßige Funktionseinheiten. In diesem Falle sind dies: Druckmeßelement, analoge Funktionen und digitale Korrektur. Gemäß dem Konzept der *Modularen Signalauswertung*[2] (oder auch Frame-ASIC-Konzept [3], siehe Abbildung 5) sind dabei analoge und digitale Funktionen in entsprechenden ICs getrennt. Damit umgeht man das Problem der Systemintegration (System-On-Chip), das mit Schwerpunkt auf analogen Funktionen nur in hochvolumigen Projekten rentabel ist und für den mittleren Stückzahlbereich noch keine befriedigenden Lösungen für die heterogenen Anforderungsprofile der Sensorindustrie ermöglicht. Die prinzipielle Schwierigkeit besteht in der Tatsache, daß die derzeit angebotenen Mixed-Mode-Integrationstechnologien entweder einen guten digitalen CMOS-Prozeß für digitale Funktionen mit mittelmäßigen analogen Elementen oder einen guten Analogprozeß mit unbefriedigenden digitalen Eigenschaften bieten.

Unter diesem Aspekt wurde mit der *Modularen Signalauswertung* ein pragmatischer Weg eingeschlagen, der

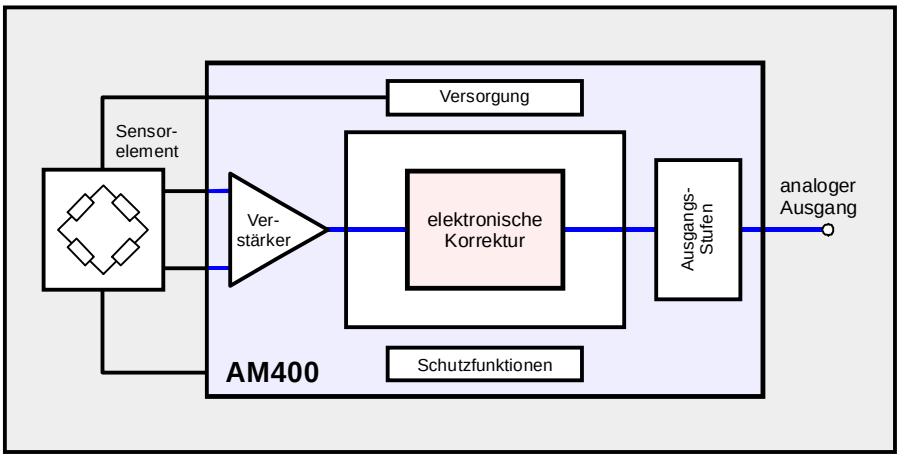

Abbildung 5: Konzept der Frame-ASICs

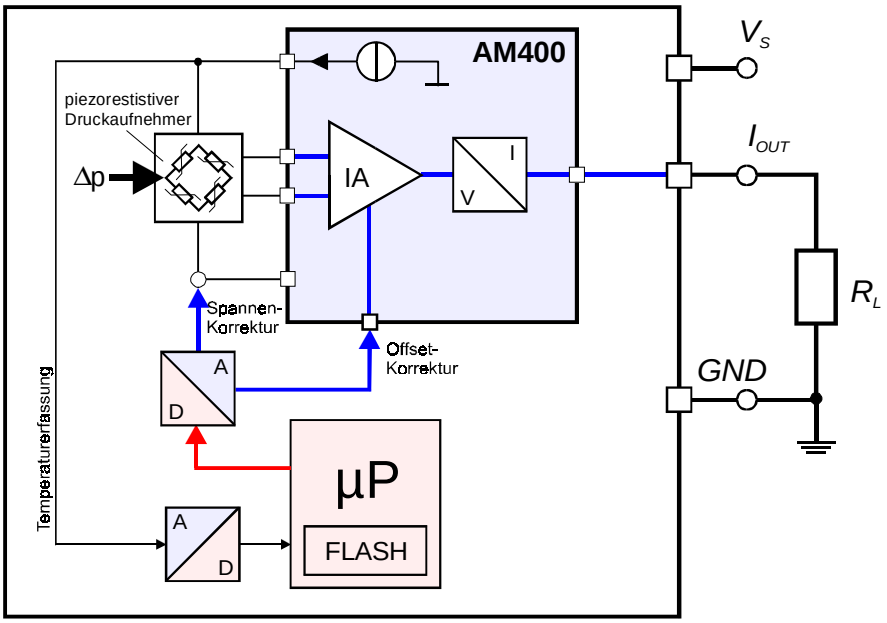

Abbildung 6: Schaltschema AMS5712 Dual-In-Line-Drucksensor mit industriellem Stromschleifenausgang

zudem den Vorteil hat, gangbar, flexibel und kostengünstig zu sein. Die Auswerteschaltung des Drucksensors AMS5712 (siehe Schaltschema in Abbildung 6) besteht neben der Siliziummeßzelle für verschiedene Druckbereiche aus einem 8bit RISC-Kontroller ATtiny11 der Firma Atmel [4] und dem *Frame-ASIC* AM400 der Analog Microelectronics GmbH [5].

Der Ausdruck Frame-ASIC wird deshalb benutzt, weil ein solches IC mit Eingangs-, Ausgangsfunktionen und analogen Peripheriefunktionen, den digitalen Korrekturanteil (Prozessor oder Kontroller) sinngemäß wie ein Rahmen (engl.: Frame) umschließt (siehe auch Abbildung 5). Alle Korrekturfunktionen werden im AMS5712 durch den Kontroller durchgeführt, der über eine Look-Up-Table die notwendigen Kompensationen und Kalibrationen durchführt.

Genauigkeiten

Durch die Verwendung der ASICs[3], kann eine Genauigkeit[4] bei 25°C von typ. 0,7%FSO[5] erreicht werden. Im Temperaturbereich (0°C bis 60°C) sind Fehlergrenzen von ≤ 1,5%FSO und im erweiterten Bereich (–45°C bis 0°C und 60°C bis 85°C) Werte von max. 3%FSO gewährleistet. Die Linearität von typ. 0,1%FSO und eine und Druckhysterese von typ. 0,1%FSO sind weitere eindrucksvolle Spezifikationen, die bisher nur bei High-End-Sensoren anzutreffen sind (typische Verläufe der einzelnen Fehler sind in Abbildung 7 dargestellt). Ein eingangsseitiger Überdruckschutz, Verpolschutz (V_S vs. I_{OUT} vs. *Ground*) und Kurzschlußfestigkeit vervollständigen das Leistungsspektrum der neuen Produktserie. Mit dem Anspruch auf industrielle Anwendbarkeit liegt der Spannungsversorgungsbereich zwischen 10 und 35V und die Stromaufnahme bei < 10mA.

---

[2] Unter *Modularer Signalauswertung* versteht man die Trennung von digitalen und analogen Komponenten bei der Kompensation und Verstärkung von Sensorsignalen.

[3] ASIC – Application Specific Integrated Circuit

[4] Unter Gesamtgenauigkeit ist im Sinne des Anwenders die Summe von Temperatureffekten, Linearität, Hysteresen und Wiederholbarkeit zu verstehen.

[5] Full Span Output (FSO) ist die nominelle Signalspanne am Ausgang, definiert als FSO = FS – Offset , wobei Full Scale (FS) den Ausgangsstrom bei nominellem Maximaldruck bezeichnet, Offset den Ausgangsruhestrom ohne Druckbeaufschlagung

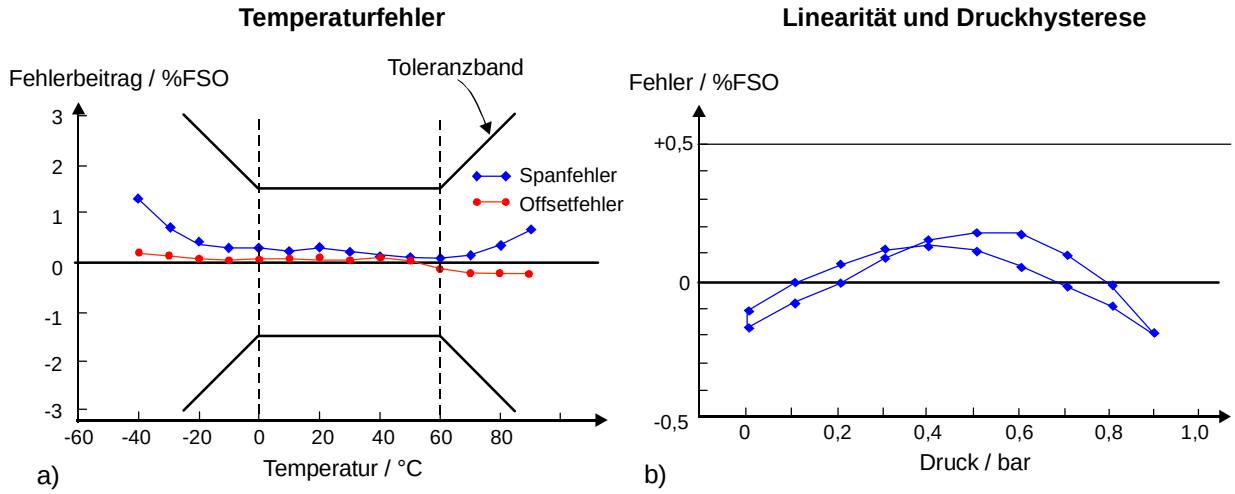

Abbildung 7: Temperaturfehler und Fehler bei Raumtemperatur der Sensoren AMS5712: a) Offsetfehler und Fehler der Ausgangsspanne als Funktion der Temperatur; b) Linearitäts- und Druckhysteresefehler

Die neuen miniaturisierten Drucksensoren AMS5712 sind prinzipiell als Absolutdruck-, Relativ- und Differenzdruckversionen im Druckbereich von 300mbar bis 6bar produzierbar. Zusätzlich zu barometrischen und medizinischen Anwendungen können die Sensoren der AMS5712 Serie unter Berücksichtigung der Mediekompatibilität in allen industriellen Bereichen eingesetzt werden. Die Sensoren AMS5712 werden in einem 8-poligen DIL-Gehäuse angeboten und gehören als OEM-Produkte trotz der hervorragenden Leistungsmerkmalen in den Bereich preisgünstiger Drucksensoren. Die grundlegenden Spezifikationen des AMS5712 sind in Tabelle 1 aufgeführt. Für detaillierte Informationen sei auf das Datenblatt [6] verwiesen.

Zusammenfassung

Nachdem AMSYS bereits ein reichhaltiges Sortiment an Druckmeßzellen und Transducern vorweisen kann, wird nun mit dem AMS5712 ein Drucksensor vorgestellt, der als fertig kompensierter, kalibrierter und verstärkter Sensor ideal für OEM-Anwendungen geeignet ist. Im Bereich der PCs spricht man von ***"Plug-and-Play"***. Was im Bereich der Computer nicht unbedingt immer funktioniert, ist mit dem AMS5712 garantiert. Einzig die Versorgungsspannung und die Druckzuleitungen müssen angeschlossen werden und der Sensor liefert ein temperaturstabiles 3-Draht-Stromschleifensignal.

Weiterführende Informationen

[1] Detaillierte Informationen zu den Drucksensoren der AMSYS: http://www.amsys.de

[2] Detaillierte Informationen AMS5600-Serie: http://www.amsys.de/html/ams5600.htm

[3] Detaillierte Informationen zu den Frame-ASICs: http://www.Frame-ASIC.de

[4] Detaillierte Informationen über Produkte von Atmel: http://www.IneltekMitte.de

[5] Homepage der Analog Microelectronics GmbH: http://www.analogmicro.de

[6] Datenblatt AMS5712: http://www.amsys.de/sheets/german/ams5712.pdf

Kontaktaufnahme

AMSYS GmbH & Co. KG
An der Fahrt 13, D – 55124 Mainz
Internet: http://www.amsys.de

Telefon: +49 (0) 6131/469875 – 0
Telefax: +49 (0) 6131/469875 – 66
E-Mail: info@amsys.de

Miniaturisierte Drucksensoren AMS5712 mit 4...20mA-Stromausgang *Ready-to-Use*

Tabelle 1: Elektrische Spezifikationen des Drucksensors AMS5712

Alle Parameter gelten für eine Versorgungsspannung von 24V bei Raumtemperatur (25°C) und einem Lastwiderstand von 300Ω, sofern nicht anders angegeben.

Parameter	Minimum	Typisch	Maximum	Einheit
Gesamtfehler:				
im Bereich 0..60°C		±1	±1,5	%FSO
im Bereich –25..85°C		±1,5	±3,0	%FSO
Einzelfehler:				
Ruhestrom des Ausgangs (Offset)	3.8	4.0	4.2	mA
Full Span Output (FSO)	15.8	16.0	16.2	mA
Linearitätsfehler		±0.1		%FSO
Druckhysterese		±0.1		%FSO
Versorgungsspannung (*VS* gegen *GND*)	10	24	35	V
Ausgangsrauschen (Bandbreite = 0...50kHz)			15	μA_{eff}
Reaktionszeit (10%...90%-Anstiegszeit)		1		ms
Eigenstromaufnahme		7	10	mA
Lastwiderstand am Ausgang R_L	0		600	Ω
Kapazitive Ausgangslast gegen *GND*	0		100	nF
Ausgangsstrombegrenzung bei Überdruck	21,0	23,5	26,0	mA
Versorgungsspannungsabhängigkeit		±0,03		%FSO/V
Lastwiderstandsabhängigkeit (R_L = 0...600Ω)		±0.06		%FSO
Nenndruckbereich (relativ)	0		1	bar
zulässiger Betriebsüberdruck			3	bar
Berstdruck			5	bar
Arbeitstemperatur	–25		85	°C
Lagertemperatur	–40		85	°C
Verpolschutz: *GND* vs. *VS* vs. *IOUT*			35	V
Gewicht		3,75		Gramm

Notizen: