

Generationenwechsel

Thermische Massenflussmessung mit CMOSens Mass Flow Controllern



Seit über 30 Jahren ist die thermische Massenflussmessung mit Drahtwicklungen um eine kleine Stahlkapillare der Standard in der genauen Messung und Dosierung von Gasflüssen. Die neue CMOSens-Technologie nimmt das zugrunde liegende erfolgreiche physikalische Messprinzip auf und integriert einen miniaturisierten Sensor zusammen mit der gesamten hochpräzisen Auswerteschaltung auf einem einzigen CMOS Mikrochip. Im Zusammenspiel mit einem speziell entwickelten Sensor-Packaging entsteht so zu niedrigeren Kosten ein System, das mit einer 10x höheren Regelgeschwindigkeit (150 ms) und einer deutlich höheren Genauigkeit (0,8% vom Messwert über 10%-100% FS) einen eigentlichen Quantensprung in der Massenflussmessung darstellt.

CMOSens bezeichnet die Verschmelzung von Sensor und dazugehöriger Auswerteschaltung auf einem einzigen CMOS-Chip. Damit wird sichergestellt, dass die empfindlichen analogen Sensorsignale störungsfrei und hochpräzise verstärkt und digitalisiert werden können. CMOSens Sensoren enthalten immer zusätzlich auch einen Temperatursensor, der für die exakte Temperaturkompensation verwendet wird. Meistens enthalten die Sensoren auch zusätzliche Intelligenz für Funktionskontrollen des Sensorelementes oder für Low Power Funktionen.

Für die Integration eines thermischen Strömungssensors auf einem Siliziumchip wurde für die CMOSens Gasströmungssensoren ein aufwendiger, aber robuster Ansatz gewählt: Von hinten wird eine nach vorne geschlossene, druckstabilisierte und mit Glas passivierte Membran in den Siliziumchip geätzt. Auf dieser Membran wird in der Mitte ein steuerbares Heizelement und symmetrisch davon jeweils aufwärts und abwärts in Strömungsrichtung je ein Temperatursensor aufgebracht. Jede Strömung über der Membran verursacht eine thermische Verfrachtung der Wärme und generiert somit ein präzise messbares Signal. Dank der geringen thermischen Masse der Membran reagiert der Sensor in nur 1,7 ms ($1/e$) auf Änderungen der Gasströmung.

Die auf demselben Chip integrierte und patentierte CMOS-Auswerteschaltung erlaubt eine programmierbare, hochgenaue Verstärkung und Auswertung des analogen Sensorsignals. Die digitale 20-bit Linearisierungseinheit korrigiert bei jedem Messpaket die Nichtlinearität des Strömungssensors und kompensiert mit Hilfe des Temperatursignals eventuell auftretende Temperatureffekte. So entsteht ein sehr schnelles und hochgenaues Sensorsignal. Der CMOSens Chip kann je nach Bedarf mit einem digitalen oder analogen Ausgang betrieben werden.

Präzise und schnell

Ein entscheidendes Leistungskriterium bei thermischen Massenflussreglern ist die Regelgeschwindigkeit. Da bei konventionellen thermischen Massenflussreglern (MFC) das Sensorelement typischerweise eine Reaktionszeit von einigen Sekunden hat, wird bei guten MFCs zur Beschleunigung der Regelzeit mit Hilfe zusätzlicher Elektronik die Reaktion des Sensors bereits in den Ansätzen der Signaländerung analysiert und der mögliche Endwert im voraus abgeschätzt. Das ergibt schnellere Regelzeiten im Bereich von knapp einer Sekunde für den Preis höherer Systemkosten und tieferer Reglerstabilität. Da ein CMOSens Massenflusssensor thermisch rund 1000 mal schneller reagiert, kann direkt und

viel schneller geregelt werden, was zu typischen Regelzeiten ^[1] von weniger als 150 ms führt. Abb. 2 zeigt einen Vergleich der Regelzeiten eines CMOSens MFCs mit einem Gerät konventioneller Bauart.

Das zweite wichtige Leistungsmerkmal eines MFCs ist seine Genauigkeit und die zugrundeliegende Reproduzierbarkeit. Besonders wichtig sind dafür die Stabilität und die Störresistenz der Auswerteschaltung sowie die Offsetfreiheit des Sensors. Durch die Symmetrie des Sensorelementes und die auf dem Sensorchip integrierte offsetkompensierte Auswerteschaltung erreichen CMOSens Gasströmungssensoren typischerweise eine Offsetstabilität von $< 0,01\%FS^{(2)}/y$. Deshalb erreichen CMOSens-MFC Genauigkeiten von $0,8\%SP^{(3)}$ im Bereich $10\%–100\% FS$ oder je nach Bedarf noch mehr (Abb. 3). Dieser hohe dynamische Bereich zwingt zum Umdenken bei der Auswahl und dem Einsatz eines entsprechenden Gerätes. Die Genauigkeit des Controllers wird in Prozenten des Sollwertes (%SP) statt in Prozenten des Endwertes (%FS) angegeben. D.h. ein und derselbe MFC kann hier für 400 sccm und 40 sccm verwendet werden und das jeweils immer mit einer Genauigkeit von 0.8% des Sollwertes. Bisher war beim Einsatz von MFCs konventioneller Technologie für jeden Bereich ein eigenes, entsprechend kalibriertes Gerät notwendig.

Zuverlässig und sicher

Zwei Schwachstellen der auf Silizium integrierten Flowsensoren waren bisher

	CMOSens	Konventionell
Sensor	thermisch	thermisch
Wiederholbarkeit	sehr hoch	mäßig
Druckbereich	10 bar	> 200 bar
Offset	Typ. < 0.01% FS	Typ. < 0.5% FS
Reaktionszeit Sensor	0.0017 s	1-5 s
Hochreine Anwendungen (polierter Edelstahl)	Nein	Ja

Tab. 1: Vergleich eines CMOSens MFCs mit einem konventionellen Gerät

die Druckfestigkeit und die Dichtheit des Sensorgehäuses (Packaging). Parallel wurde deshalb ein Edelstahlgehäuse mit integriertem Strömungskanal und vakuumdichten Glasdurchführungen für die elektrischen Kontakte entwickelt. Die Technik der Glasdurchführungen hat sich bereits in der Vakuumtechnik für sehr dichte und inerte Gehäuse bestens bewährt. Damit können jetzt Gasströmungssensoren aus Silizium vollständig in Edelstahl eingeschweißt werden. Die Zuverlässigkeit eines elektronischen Gerätes wird weitgehend durch die Anzahl der elektrischen Kontakte bestimmt, die sich mit der Zeit drastisch verschlechtern können. Bei CMOSens-Sensoren geschieht die ganze analoge Signalver-

arbeitung auf ein und demselben Chip. Dies hat den Vorteil, dass stör anfällige Lötstellen für kleine analoge Signale entfallen. Das erklärt unter anderem auch die unter härtesten Einsatzbedingungen bewiesene sehr hohe Zuverlässigkeit der CMOSens Feuchtesensoren.

Anwendungen und Einschränkungen

Aufgrund der revolutionären Genauigkeit und Messdynamik eignet sich CMOSens vor allem für OEM-Anwendungen, bei denen Leistung und Kosten im Vordergrund stehen. Typische Anwendungen sind analytische Geräte, Prozesssteuerung und Kalibrationsanlagen, aber auch medizinische Anwendungen wie z.B. in der Anästhesie oder der Einsatz in Brennstoffzellen. Beispiele von CMOSens MFCs sind der felddbusgesteuerte Highend-MFC von Bürkert, der preisgünstige Red-y Smart von Vögtlin/Insentys oder die Performance Line von Sensirion. Andere Eigenschaften von CMOSens eröffnen aber ganz neue Anwendungen wie z.B. batteriebetriebene Systeme. So hat Vögtlin/Insentys mit der Compact Linie einen thermischen Masseflussmesser realisiert, der mit einer einzigen AA Lithium-Zelle 20.000 h betrieben werden kann.

Alle bisher realisierten CMOSens-Lösungen beschränken sich auf einen Betriebsdruck von maximal 10bar. Prinzipiell ist auch ein höherer Betriebsdruck möglich, oft aber nicht sinnvoll. Konventionelle MFCs sind für Einsatzgebiete bis über 200 bar Betriebsdruck erhältlich. Wer einen MFC für sehr hohe Betriebsdrücke braucht, wird zur Zeit also weiterhin auf die konventionelle Technologie angewiesen sein. Ein Nachteil ist

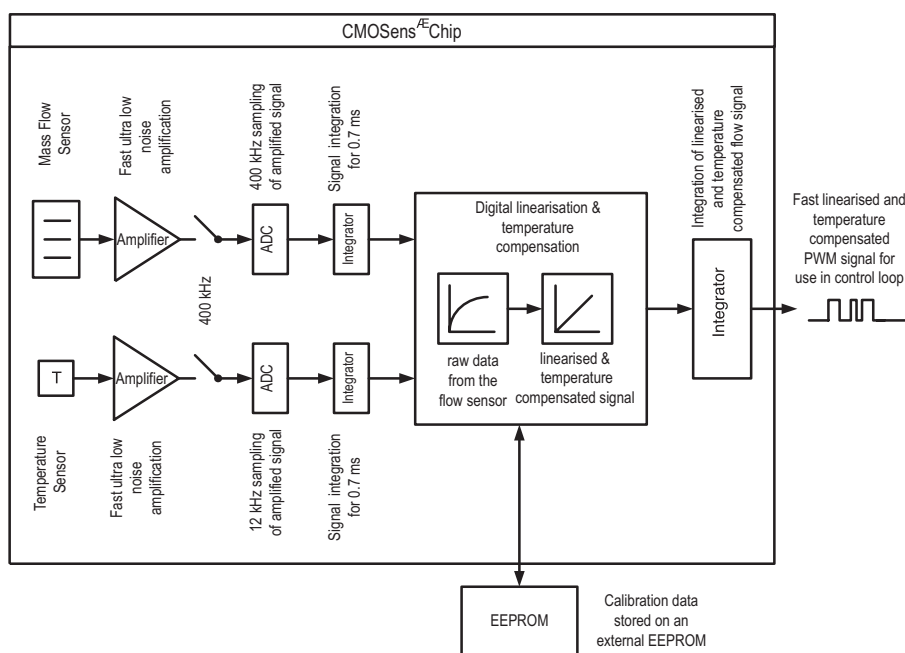


Abb. 1: Schema des CMOSens-Gasströmungssensors

ebenso, dass das mit Glas passivierte Silizium direkt mit dem Gas in Berührung kommt. Für sehr aggressive Gase empfiehlt sich daher weiterhin der Einsatz von konventionellen MFCs mit Edelstahlkapillare.

Fazit

Die Verbindung von Faktoren höherer Leistung bei gleichzeitig niedrigeren Systemkosten gibt der CMOSens Technologie das Potential, nach 30 Jahren thermischer Masseflussmessung mit Stahlkapillaren einen Generationswechsel herbeizuführen. Ein vollständiger Ersatz der Stahlkapillaren wird aber bis auf absehbare Zeit nicht geschehen. In Anwendungen, in denen höchste Drücke oder äußerst aggressive Gase auftreten, bleiben die konventionellen MFCs sicher in nächster Zeit die erste Wahl. Stehen aber bei

OEM Anwendungen Leistung oder Kosten im Vordergrund, so dürfte CMOSens schon bald der neue Standard werden.

Anmerkung:

- [1] Definiert als Zeitdauer bis 98% des neuen Vorgabewertes erreicht werden
- [2] FS = Full Scale = des Endwertes
- [3] SP = Set Point = vom Sollwert

DER AUTOR	
Dr. Jens Kubasch	
Projektleiter Entwicklung	
Performanceline	
Sensirion AG	
Fax 0041-13064030	
info@sensirion.com	
www.sensirion.com	
Easy Info · 207	

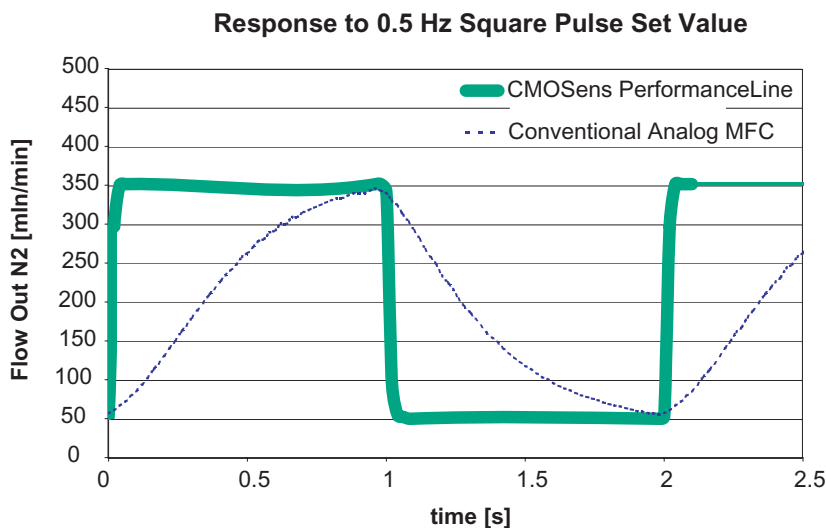


Abb. 2: Vergleich der Regelzeiten eines CMOSens MFCs mit einem Gerät konventioneller Bauart

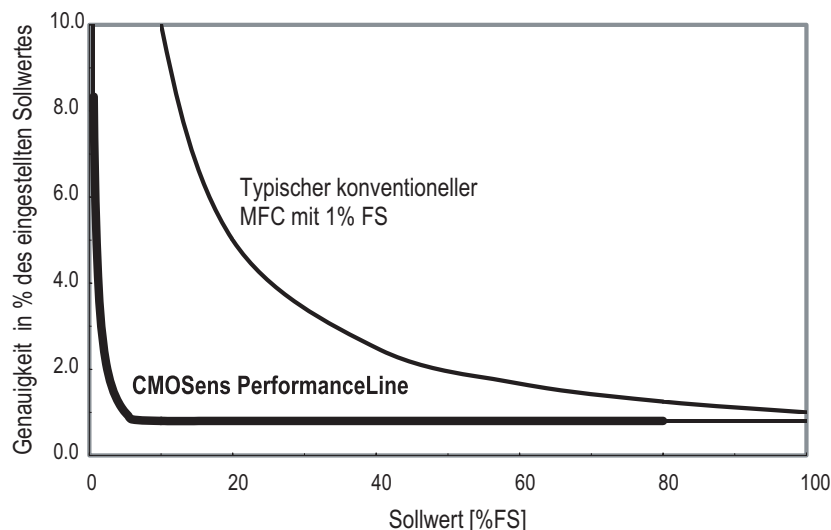


Abb. 3: Mit einer Genauigkeit von 0.8% v. Sollwert bietet CMOSens einen enormen dynamischen Bereich