

Präzise und langzeitstabile Feuchtemodule mit ASIC's

Von Martin Friedrich

Die Feuchtemessung findet mittlerweile den Einstieg in Massenmärkte wie Lüftungs-Geräte, Haushaltsgeräte oder Automotive-Anwendungen. Für solche Produkte werden in der Regel vollständig integrierte und kalibrierte Subsysteme gefordert, die bei günstigem Systempreis eine kalibrierte Standard-Schnittstelle bereitstellen.

Die innovativen Feuchtemodule vereinen modernste Dünnschicht-Sensortechnologie mit der flexiblen Signalverarbeitung eines ASIC bei optimalem Preis-Leistungsverhältnis. Die Module messen sowohl die relative Feuchte, als auch die Temperatur, somit können auch weitere klimatische Größen, beispielsweise der Taupunkt oder die absolute Feuchte, bestimmt werden.

Ein Großteil der am Markt verkauften Feuchtemessgeräte sind für den Consumer Bereich bestimmt. Typische Massenprodukte sind Wetterstationen, Wohnraumhygrometer bis hin zum Radiowecker. Die Feuchtesensoren derartiger Produkte sind in der Regel nicht betauungsbeständig und innerhalb kurzer Zeitspanne ist die Messgenauigkeit oft unbrauchbar.

In den letzten Jahren ist der Bedarf an hochwertigen, präzisen und langzeitstabilen Feuchtefühlern im unteren Preissegment rasant gestiegen, angestoßen durch die Nachfrage aus den Bereichen „Automotive“ und „weiße Ware“. Die Produktzykluszeit in diesen Sparten beträgt mindestens 10 Jahre, in dieser Zeitspanne muss der Feuchtefühler innerhalb der Spezifikationen ohne Rekalibrierung arbeiten, unabhängig von den Störstoffen in der Umgebung. Trotz dieser hohen Anforderungen an die Produktqualität ist der Marktpreis für das kalibrierte „Feuchte-Subsystem“ so gering, dass praktisch nur automatisiert gefertigte oder monolithische Lösungen eine Chance am Markt haben. Dabei muss auch die Kalibrierung in großen Batches automatisiert erfolgen, da die Kalibrierkosten aufgrund der langen Stabilisierungszeiten bei einem Mehrpunktgleich wesentlich den Produktpreis mit bestimmen.

Sensorelement

Der Sensor ist die Schlüsselkomponente und bestimmt maßgeblich die Performance des kompletten Systems. Ein gutes Signal-Rauschverhältnis und eine hohe Grundkapazität des Sensors vereinfachen die Auswerteschaltung und verbessern die Stabilität.

Prinzipiell lassen sich alle reproduzierbaren Fehler wie der Linearitätsfehler und die Temperaturdrift rechnerisch korrigieren. Nicht reproduzierbare Fehler wie Drift bei Betauung, oder Veränderungen im Polymer über die Zeit (Alterung) lassen sich dagegen nicht kompensieren und führen in der Folge zu einem permanenten Fehler.

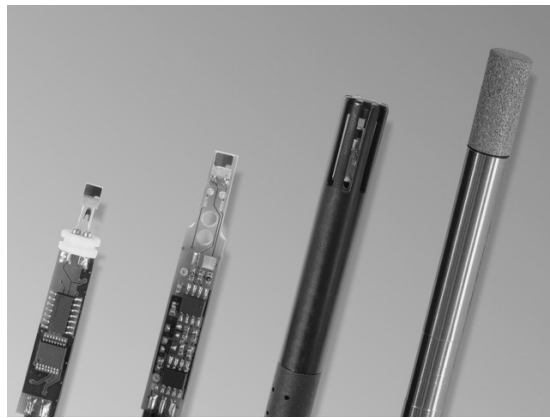


Abb 1: Feuchtemodule als Steckmodul oder im Gehäuse mit Anschlusskabel

In den letzten Jahren wurden von verschiedenen Herstellern monolithisch integrierte Lösungen erarbeitet, die trotz einem attraktiven Preis noch nicht den Einzug in den Automotive-Markt geschafft haben. Gründe sind unter anderem:

- Ein eingeschränkter Feuchte- Messbereich
- Der nach oben eingeschränkte Temperatur-Einsatzbereich
- nicht ausreichende Langzeit-Stabilität
- fehlende Betauungsbeständigkeit
- Empfindlichkeit gegen Lichtbestrahlung
- der schlechte Signal-Rauschabstand
- fehlende Resistenz gegen chemische Störstoffe
- ungünstige mechanische Adaptierbarkeit
- die fehlende Möglichkeit der Rekalibrierung
- spezielle Schnittstellen, kein Standardsignal

Nach aktuellem Stand der Technik sind die monolithisch integrierten Lösungen für den industriellen Einsatz ungeeignet und hochwertige Lösungen sind trotz neuer mikrosystemtechnischer Ansätze noch nicht in Sicht.

Um ein vielfaches überlegen sind kapazitive Polymer-Feuchtesensoren in diskreter Bauweise. Durch neue Entwicklungen im Schichtenaufbau, innovative Hochleistungs-Polymere und hochwertige Trägersubstrate sind derartige Sensoren qualitativ um Größenordnungen stabiler als integrierte, monolithische Lösungen. Durch optimierte Fertigungsverfahren und automatisierte Endkontrolle erreichen auch solche hochwertigen Sensorelemente preisliche Regionen, dass sie sich für low cost Applikationen, auch bei großen Stückzahlen, eignen.

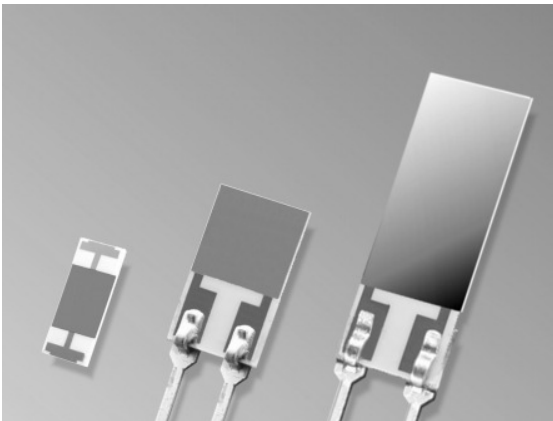


Abb 2: Größenvergleich kapazitiver Polymer Feuchtesensor als bedrahtetes- oder als SMD Bauelement

Die Sensorelemente sind unempfindlich gegen eine Vielzahl von Chemikalien und Lösemittel und sind betauungsresistent und Temperaturschockbeständig. Der Einsatzbereich deckt das Feuchte-Temperaturfenster bis 150°C bei einem maximalen Taupunkt von 80°C ab.

Besonders wichtig zur Reduzierung der Kosten ist, dass der Sensor als RoHS konformes Bauteil in SMD-Technik verfügbar ist, um lohnkostenintensive, manuelle Montage einzusparen. Bedenkt man, dass beim SMD Reflow-Lötprozess Temperaturen von 250° in der Spitze entstehen, so ist zu verstehen, dass die Anforderungen an das Polymer des Sensors extrem hoch sind. Nur moderne Hochleistungs-Polymere auf Polyimid-Basis überstehen derartige Beanspruchung ohne Veränderung der Struktur. Letztlich kann daraus auf die Stabilität des Sensors in der späteren Anwendung geschlossen werden.

ASIC

Der geforderte Zielpreis ist praktisch nur durch einen ASIC realisierbar unter der Prämisse, die Anzahl der passiven Bauteile so weit als möglich zu reduzieren.

Polymer Feuchtesensoren arbeiten kapazitiv bei einer Nennkapazität von ca. 120 pF und nur 10% Hub. Das heißt, dass der kapazitive Wandler bis in den Femtofarad-Bereich auflösen muss.

Auf dem ASIC sind alle Funktionen des Feuchtemesssystems integriert: Im Frontend werden die Kapazität des Feuchtesensors und der Widerstandswert eines PTC in ein hoch aufgelöstes, digitales Signal (14 bit) umgewandelt. Die nachfolgende Signalverarbeitung erfolgt rechnerisch mit Hilfe eines im ASIC integrierten Mikrocontrollers, der sowohl den Linearitätsfehler, als auch die Temperaturdrift des Sensorelements korrigiert. Der Kompensationsalgorithmus basiert auf Polynomen dritten Grades, so dass nur die Koeffizienten der Korrekturfunktion im integrierten Speicher hinterlegt werden müssen. Der Koeffizientenspeicher ist vergleichsweise klein, so dass wenig Chipfläche benötigt wird, was erneut einem günstigen Systempreis zu Gute kommt.

Der Betriebsspannungsbereich des ASIC deckt den gesamten Bereich von 2,7 V bis 36 V ab. Über 5,5 V wird die Betriebsspannung mittels des ebenfalls integrierten Stabilisators und einem externen N-Kanal FET geregelt.

Ein weiteres Leistungsmerkmal des ASIC ist der weite Temperaturbereich von -55 bis 150°C, was für Automotive-Applikationen Voraussetzung ist. Im ASIC sind umfangreiche Fehlererkennungs-Algorithmen integriert, um die Systemsicherheit auch unter diesen extremen Einsatzbedingungen zu gewährleisten. Der Chip ist für KFZ Applikationen zertifiziert und freigegeben.

Schnittstellen

Der aufbereitete Messwert wird dann über eine der zahlreichen Schnittstellen ausgegeben. Praktisch alle üblichen μC Schnittstellen sind im ASIC integriert:

Der integrierte D/A-Wandler mit 11 Bit Auflösung besitzt einen integrierten Ausgangsverstärker und kann sowohl Spannungssignale (0..3/4/5) als auch Stromschleifensignale (4..20 mA) erzeugen. Von 2,7 V bis 5,5 V Betriebsspannung ist am analogen Ausgang auch ratiometrischer Spannungsausgang möglich, alternativ auch absoluter Spannungsausgang.

Als digitale Schnittstelle werden sowohl ein I²C-Interface, eine SPI-Schnittstelle sowie zwei PWM-Ausgänge unterstützt. Zwei optionale Schaltausgänge ermöglichen darüber hinaus den Einsatz als Festpunkt-Hygrostat.

Eine ASIC-Variante mit LIN-Schnittstelle ist in Vorbereitung.

Mechanische Ausführung

Die Anforderungen an das Gehäuse und den Anschluss sind vielfältig: in Low Cost Applikationen werden in der Regel Kunststoffgehäuse verwendet, hingegen werden in der Gebäudetechnik oder in industriellen Anwendungen Edelstahlgehäuse gefordert.

Feuchtefühler werden in den meisten Anwendungen abgesetzt vom Regler betrieben, der elektrische Anschluss erfolgt daher oft über eine Kabelverbindung.

Für viele Anwendungen sind zur Verbesserung der Langzeitstabilität Filter notwendig. Für Anwendungen in Hochfeuchte werden spezielle Dichtstellen im Sensorkopf benötigt und der Schaltungsträger muss feuchteresistent ausgeführt sein.

Im Konzept für das neue Feuchtemodul wurde daher auch diesen Kundenanforderungen Rechnung getragen und ein flexibles Gehäusekonzept, quasi als „Baukasten“ entwickelt. Alle Komponenten, von der Schutzkappe über das Filter bis hin zum Anschlusskabel lassen sich kombinieren.

Natürlich lassen sich für spezielle Anforderungen durch ein einfaches Redesign der Standardvarianten auch kundenspezifische Lösungen realisieren. Des Weiteren sind auch steckbare Module ohne Gehäuse lieferbar.

Kalibrierung und Rückführbarkeit

Die Kalibrierung eines Feuchte-Sensormoduls bestimmt maßgeblich die Genauigkeit, den Aufwand und damit den Preis.

Die Kalibrierung der Sensormodule erfolgt in einem sogenannten Differenzdruck Feuchtgenerator direkt im Gasstrom. Damit ergeben sich bessere Ergebnisse bei wesentlich kürzeren Stabilisierungszeiten, als ein statischer Abgleich mittels gesättigten Salzlösungen. Das Verfahren basiert auf der Dampfdruck-Sättigungskurve, also einer Natur-Kennlinie und ist als primäres Verfahren zur Darstellung relativer Feuchte sehr genau. Zusätzlich wird der Gasstrom am Austritt mit einem Taupunktspiegel vermessen: Bei Kalibrierungen ist doppelte Sicherheit ein unbedingtes Muss, auch wenn es sich um Produkte im unteren Preissegment handelt.

Die Justage der Module erfolgt mittels einem Multiplexer an jeweils 128 Modulen je Kalibrier-Los gleichzeitig mit Hilfe eines PCs. Dabei wird über die I²C-Schnittstelle der Parametersatz für die Korrektur-Polynome übertragen und im EEPROM des ASIC gespeichert.

Die Kalibriersoftware unterstützt sowohl einen Einpunktabgleich mit statistischer Gain-Korrektur, als auch bis zu vier Kalibrierpunkte. Entsprechend ist das Ergebnis der Korrekturfunktion entweder eine Gerade oder ein Polynom zweiten oder dritten Grades.

Die Temperaturkompensation erfolgt anhand der statistischen Werte indem die bauarttypischen Kennlinien mittels einem mathematischen Modell an die exemplarspezifischen Kalibrierwerte angepasst werden.



Abb 3: Laboraufbau des Differenzdruck Feuchtgenerators

Fazit

Durch Entwicklung innovativer Lösungen lassen sich Produktmerkmale entscheidend verbessern, und dies bei gleichzeitiger, drastischer Verringerung des Systempreises.

Da die Funktionalität auf einem preisoptimierten ASIC und Software beruht, lässt sich die selbe Hardware sowohl für Messfühler im unteren bis zum mittleren Preissegment verwenden. Die Produkt-Differenzierung erfolgt über das Gehäuse und die Anzahl der Abgleichpunkte bei der Kalibrierung.

Durch hohe Integrationsdichte, automatisierte Fertigung und Kalibrierung in großen Batch-Größen lässt sich der Lohnkostenanteil so weit reduzieren, dass die Fertigung in Europa ohne weiteres möglich ist.

Zum Autor



Martin Friedrich ist seit über 15 Jahren auf dem Gebiet der industriellen Messtechnik tätig. Spezialgebiet sind die Entwicklung physikalischer und mathematischer Verfahren und Algorithmen zur Feuchtemessung. Er ist Geschäftsführer der HYGROSENS INSTRUMENTS GmbH in Löffingen.

Email-Kontakt: martin.friedrich@hygroSENS.com