



Feuchtigkeitssensor mit 4-20 mA Stromschleifenausgang HTU21P + AM 462

Dass die Feuchtigkeit als Messgröße immer wichtiger wird, liegt an der fortschreitenden Automatisierung; dass sie einfach und genau gemessen werden kann, liegt an den High-Tech-Sensoren, die kostengünstig in großen Mengen hergestellt werden können. Da diese in der Mehrzahl C_MOS Bauteile sind und deshalb digitale Ausgangssignale haben, aber z.B. in der Automatisierungsindustrie nach wie vor störungsfeste, analoge Signale benötigt werden, wird in der vorliegenden Anwendungsnotiz dem Rechnung getragen und eine entsprechende analoge 2-Draht- (Current loop) Schaltung in Verbindung mit einem Feuchtigkeitssensor beschrieben.

- [2-Draht-Stromschleife \(Current loop\)](#)
- [Feuchte- und Temperatursensor HTU21P](#)
- [Spannung/Stromwandler-IC AM 462](#)
- [Schaltungsbeschreibung/Dimensionierung](#)
- [Zusammenfassung](#)

2-Draht-Stropmschleife (Current loop)

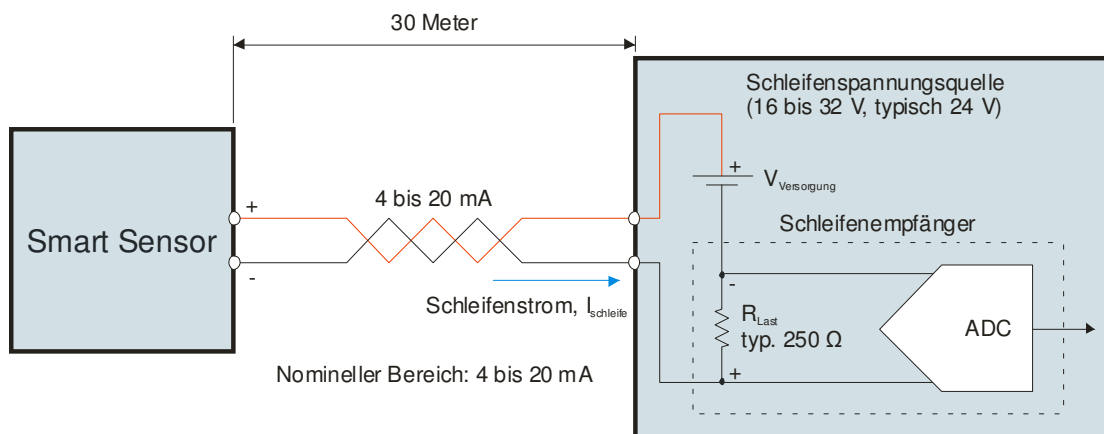


Abbildung 1: Sensor mit 4 - 20 mA Stromschleife als störffeste Signalübertragung zur speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS)

Bei der Übertragung in einer störungsreichen Umgebung oder über größere Entfernungen bevorzugt man seit Jahren genormte Stromsignale. Dient eine Stromquelle als Sender (Abbildung 1), so liefert diese unabhängig von eventuellen Kabelinnen- oder Kontaktwiderständen immer den gewünschten Strom.



Feuchtigkeitssensor mit 4-20 mA Stromschleifenausgang HTU21P + AM 462

Das bedeutet: die Signalinformation wird durch die externe Hardwarekonfiguration nicht beeinflusst. Durch den niederohmigen Empfängereingang einerseits und durch die Stromquelle mit floatender Masse andererseits (Parallelschaltung des realen Ausgangswiderstandes der Stromquelle und des Eingangswiderstandes des Empfängers) haben im Gegensatz zur Spannungsübertragung elektromagnetische Störungen keinen größeren Einfluss auf die übertragenen Stromsignale.

Im Prinzipschaltbild (*Abbildung 1*) geht man beim Sender davon aus, dass er in Abhängigkeit von einem Messwert den gewünschten Signalstrom von $I_{\text{Schleife}} = 4 \dots 20 \text{ mA}$ generiert. Als Empfänger in der SPS dient ein Widerstand R_{Last} , mit dem der Spannungsabfall V_A , der als Eingangssignal für die SPS dient.

Feuchte- und Temperatursensor HTU21P (Smart Sensor)

Bei dem OEM-Feuchtigkeitssensor der Reihe HTU21X [1] handelt es sich um eine integrierte Kombination aus einer kapazitiven Messzelle und einem Temperatursensor plus Auswerteelektronik.

Die Messzelle besteht aus einem dielektrischen Polymerfilm, der sich zwischen zwei Elektroden befindet und feuchtigkeitsempfindlich ist. Der Temperatursensor wird mit einer integrierten Bandgap-Schaltung realisiert. Man benötigt die Temperaturinformation, um die elektronische Temperaturkompensation im Sensor vornehmen zu können und profitiert davon in Form eines unabhängigen Temperatursensors.

Jeder Sensor ist individuell kalibriert und kompensiert. Dadurch kann eine Genauigkeit von $\pm 2 \text{ \% RH}$ im Feuchte-Messbereich von 20-85 % RH erreicht werden. Für Messungen im erweiterten Bereich von 5 bis 90 % RH wird eine Genauigkeit von max. $\pm 5 \text{ \% RH}$ angegeben. Prinzipiell ist der Sensor aber im gesamten Bereich von 0 bis 100 %RH einsetzbar.

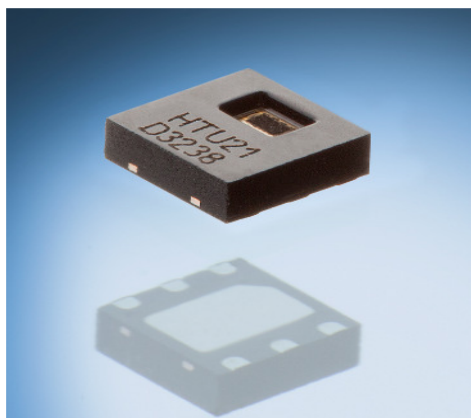


Abbildung 2: Feuchte- und Temperatursensor HTU21D, Ober- und Unterseite

Die Sensoren der HTU21X-Serie sind für den erweiterten Temperaturbereich konzipiert, der mittels des Temperatursensors mit einer Genauigkeit von $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ gemessen werden kann.

Die HTU21D haben einen I²C-Ausgang für Feuchtigkeit und Temperatur und die HTU21P einen PWM-Ausgang, den man mit einer geeigneten Beschaltung ein industrielles Analogsignal für die Feuchtigkeit umsetzen kann.

Die Sensoren der HTU21X-Serie sind in einem (Reflow-) lötbaren 3 x 3 mm² DFN-Chipgehäuse mit 0,9 mm Höhe montiert und werden mit oder ohne PTFE-Filterabdeckung angeboten.

Feuchtigkeitssensor mit 4-20 mA Stromschleifenausgang HTU21P + AM 462

Industrieller Spannung-/Stromwandler IC AM 462

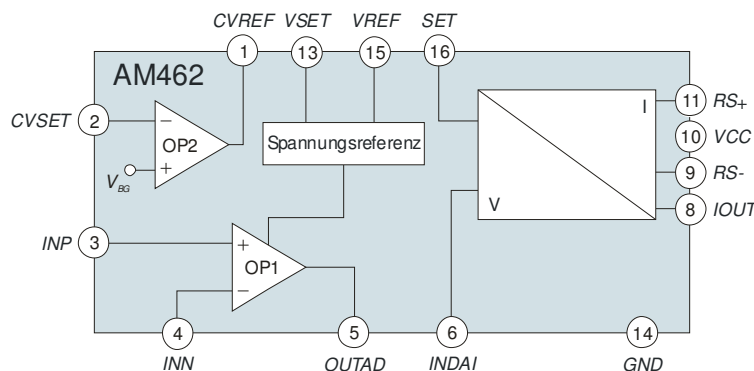


Abbildung 3: Prinzipschaltung des AM462 als Spannung/ Strom-Wandler-IC

Bei dem AM462 [2] (Abbildung 3) handelt es sich um einen Spannung/Strom-Wandler-IC in Form eines mehrstufigen Verstärkers mit einer Reihe von Zusatz- und Schutzfunktionen, die wahlweise benutzt werden können und somit eine hohe Flexibilität und Funktionalität ermöglichen. Das IC ist konsequent in allen Funktionen modular aufgebaut.

Die Funktionsblöcke sind einzeln über die entsprechenden Pins zugänglich und können extern verknüpft oder separat betrieben werden.

Die Funktionsblöcke des AM 462 sind im Einzelnen:

Operationsverstärkerstufe: Die Verstärkerstufe (OP1) eignet sich für massebezogene Eingangssignale von 0 bis $V_{CC}-5$ V. Die Verstärkung ist über zwei externe Widerstände einstellbar. Der Ausgang der Operationsverstärkerstufe ist so konzipiert, dass er bei entsprechender Belastung bis auf null eingestellt werden kann. Der OP1 ist spannungsbegrenzt, wodurch selbst bei einseitiger Überspannung die nachfolgenden Stufen geschützt sind.

V/I-Wandlerstufe: Auf der Ausgangsseite sorgt die Wandlerstufe (V/I-Stufe) für die Umsetzung der Eingangsspannung in einen zwischen 0 und 20 mA frei einstellbaren Ausgangsstrom. Hierbei steuert die Ausgangsstufe des Wandlers einen externen Transistor an (Abbildung 4), der dafür sorgt, dass die Verlustleistung außerhalb des ICs abgeführt wird. Der Ausgangsbereich lässt sich für den Stromnullpunkt und den Stromendwert über zwei externe Spannungsteiler einstellen.

Bandgapreferenz: Die Referenzspannungsquelle des AM462 erlaubt die Spannungsversorgung von externen Komponenten (z.B. Sensoren, μ Prozessoren usw.). Der Wert der Referenzspannung V_{REF} kann über den Pin VSET auf $V_{REF} = 5$ V / 10 V eingestellt werden. Unter Verwendung von zwei externen Widerständen (zwischen Pin VREF und Pin VSET sowie Pin VSET und GND) lassen sich auch Zwischenwerte einstellen.

Operationsverstärker: Die zusätzliche Operationsverstärkerstufe (OP2) ist als Strom- bzw. Spannungsquelle zur Versorgung von externen Komponenten einsetzbar. Der positive Eingang des OP2 ist dabei intern auf die Spannung V_{BG} gelegt, so dass der Ausgangsstrom bzw. die Ausgangsspannung durch einen bzw. zwei externe Widerstände einstellbar ist.

Feuchtigkeitssensor mit 4-20 mA Stromschleifenausgang HTU21P + AM 462

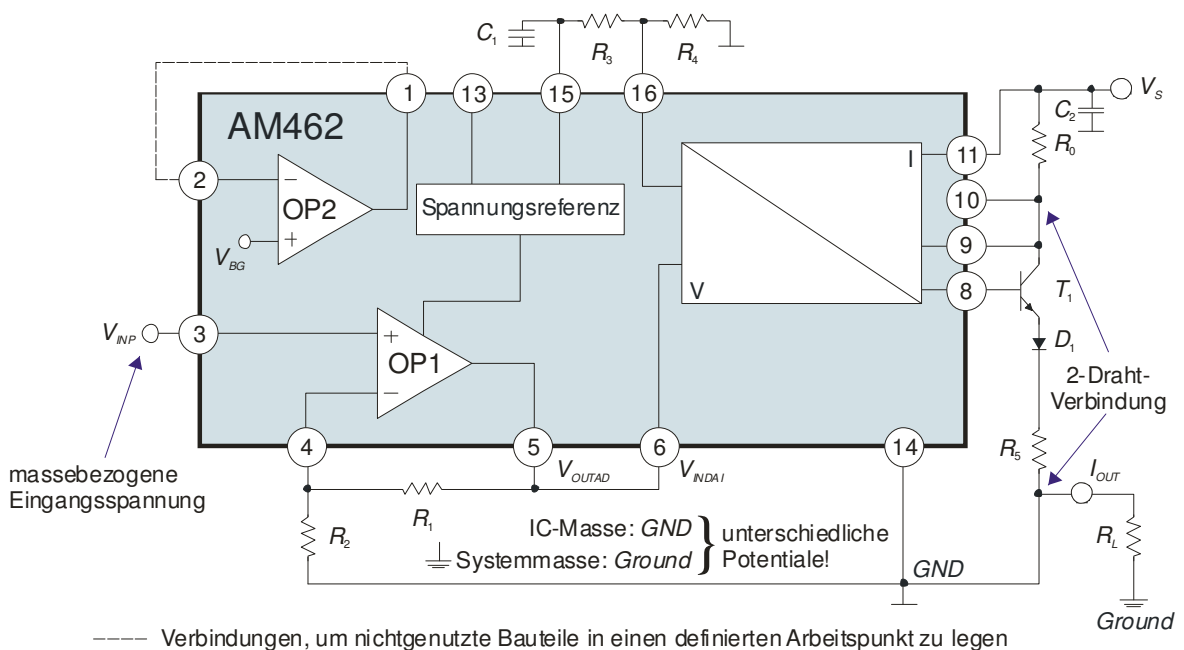


Abbildung 4: Typische 2-Draht-Anwendung 4-20 mA für Eingangssignale ohne Offset

Über die beschriebenen Module hinaus, besitzt das IC einen internen Überspannungsschutz für die Verstärkerstufe (OP1), einen integrierten Verpolschutz bezüglich der Ausgangsstufe (V/I-Wandler) über den vollen Spannungsbereich und eine Ausgangstrombegrenzung, die das IC gegen Zerstörung schützt. Mit einem Minimum an externer Beschaltung lässt sich somit eine geschützte industrielle Ausgangsstufe realisieren.

Schaltungsbeschreibung/Dimensionierung

Mit dem Feuchtesensor HTU21P (Variante mit PWM-Ausgang) und dem Analogwandler AM462 soll eine Schaltung aufgebaut werden, die ein 2-Draht-Stromsignal von 4 – 20 mA proportional zur Feuchtigkeit erzeugen soll.

Dabei sollen die externen Bauteile so dimensioniert werden, dass die relative Feuchte RH aus dem Ausgangsstromwert I_{out} nach der folgenden Formel bestimmt werden kann:

$$RH = \left(\frac{I_{out} - 4mA}{16mA} \right) * 100\% \quad (1)$$

Das Schaltungskonzept sieht vor, dass das Pulsweitenausgangssignal des Sensors mittels eines Tiefpasses in ein DC-Signal gewandelt wird. Dieses soll im anschließenden AM 462 in ein entsprechendes Stromsignal umgewandelt werden.

Feuchtigkeitssensor mit 4-20 mA Stromschleifenausgang HTU21P + AM 462

Für einen Sensor mit $T_F = 1/134\text{Hz} = 7,48\text{ ms}$ (typisch ist $1/120\text{ Hz} = 8,33\text{ ms}$) wurden exemplarisch die Bauteile dimensioniert und die Messungen durchgeführt.

Versorgungsspannung des Sensor HTU21P

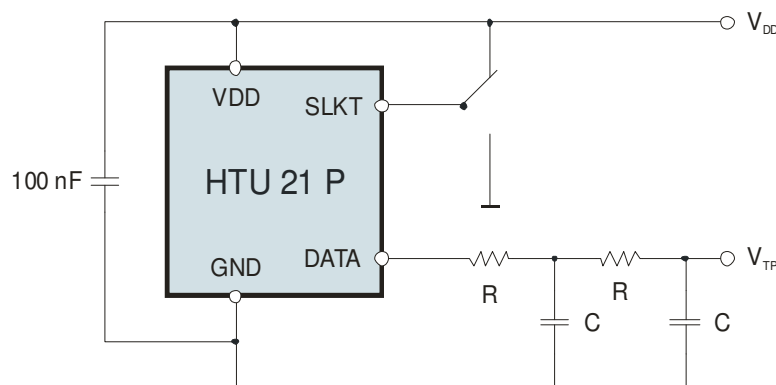
Mittels des internen Operationsverstärkers OP2 im AM 462 soll über die Widerstände R_6 und R_7 die Versorgungsspannung für den Sensor auf ca. 3 V eingestellt werden. $R_7 = 10\text{ k}\Omega$ wird vorgegeben. (Siehe Gleichung 10 – Datenblatt AM 462 [2])

$$\text{Mit } R_6 = \frac{3V - 1,27V}{1,27V} R_7 \quad (2)$$

ergibt sich: $R_6 = 13,6\text{ k}\Omega$. Es wird der nächste Wert (E24, $1\text{ k}\Omega$. +13 k Ω) gewählt: $R_6 = 14\text{ k}\Omega$. Damit ergibt sich die Versorgungsspannung V_{DD} für HTU21P zu 3,05 V.

Umwandlung des PWM-Signals mittels eines Tiefpasses

Um den Ripple gering zu halten, wurde zur Mittelwertbildung des PWM-Signals ein Tiefpass zweiter Ordnung gewählt (Abbildung 5).



$$R = 100\text{ k}\Omega$$

$$C = 0,33\text{ }\mu\text{F}$$

Mit diesen Werten beträgt der Ripple für die Spannung V_{TP} am Ende des Tiefpass nach Simulationrechnungen weniger als 0,5 %

Abbildung 5: HTU21P und Tiefpass

Abhängig von der Pulsbreite T_{PW} wird die relative Feuchte in % nach Herstellerangaben des Sensors mit folgender Gleichung berechnet:

$$RH = -6 + 125 \frac{T_{PW}}{T_F} \quad (3)$$

mit T_F der Periodendauer, die vom Sensor HTU21P vorgegeben ist:
 $T_F = \text{typ } 1/120\text{ Hz} = 8,33\text{ ms}$ (hier 7,48 ms)

Bei relativer Feuchte von 0 % beträgt die Pulsbreite des Sensors $T_{\min} = 0,359\text{ ms}$ und bei 100 % ist $T_{\max} = 6,343\text{ ms}$.

Die Signalspannung V_{TP} hinter dem Tiefpass ist:

Feuchtigkeitssensor mit 4-20 mA Stromschleifenausgang HTU21P + AM 462

$$V_{TP} = \frac{T_{PW}}{T_F} V_{DD} . \quad (4)$$

Bei einer Versorgungsspannung von $V_{DD} = 3 \text{ V}$ ergeben sich für V_{TP} bei minimaler und maximaler Feuchte die beiden Signalspannungen $U_{\min} = 0,146 \text{ V}$ und $V_{\max} = 2,585 \text{ V}$.

Versorgungsspannung des Sensor HTU21P

Mittels des internen Operationsverstärkers OP2 im AM 462 soll über die Widerstände R_6 und R_7 die Versorgungsspannung für den Sensor auf ca. 3 V eingestellt werden. $R_7 = 10 \text{ k}\Omega$ wird vorgegeben. (Siehe Gleichung 10 – Datenblatt AM 462 [2])

$$\text{Mit } R_6 = \frac{3V - 1,27V}{1,27V} R_7 \quad (5)$$

ergibt sich: $R_6 = 13,6 \text{ k}\Omega$, es wird der nächste Wert aus der E24-Reihe ($1 \text{ k}\Omega + 13 \text{ k}\Omega$) gewählt: $R_6 = 14 \text{ k}\Omega$.

Damit ergibt sich die Versorgungsspannung V_{DD} für HTU21P zu 3,05 V.

Dimensionierung des Spannungs- Stromwandler

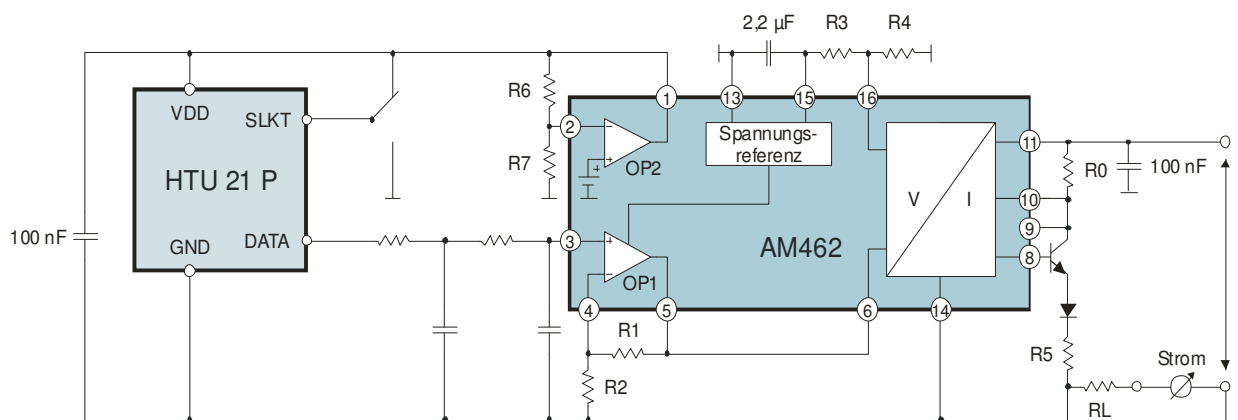


Abbildung 6: Schaltung HTU21P (PWM) mit AM 462 für den 4..20 mA Betrieb

Die Referenzspannung V_{REF} wird durch Pin 13 an Masse auf 10 V eingestellt. Der Arbeitswiderstand R_0 sollte zwischen 17Ω und 38Ω liegen und wird zu $R_0 = 30 \Omega$ gewählt.

Für die beiden Grenzwerte von 0 % und 100 % relativer Feuchte sollen die beiden Ausgangsströme von $I_{\min} = 4 \text{ mA}$ bzw. $I_{\max} = 20 \text{ mA}$ erreicht werden. Nach Gleichung 6 im Datenblatt des AM462 lässt sich die notwendige Verstärkung G des Operationsverstärkers OP1 bestimmen

$$G = 8R_0 \frac{I_{\max} - I_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} = 1,575 \quad (6)$$



Feuchtigkeitssensor mit 4-20 mA Stromschleifenausgang HTU21P + AM 462

Die Verstärkung wird mit R_1 und R_2 eingestellt, wobei $20 \text{ k}\Omega < R_1 + R_2 < 200 \text{ k}\Omega$. R_1 wird auf $22 \text{ k}\Omega$ festgelegt und R_2 bestimmt durch: (Siehe Gleichung 6 - Datenblatt AM 462)

$$R_2 = \frac{R_1}{G - 1} = 38,2 \text{ k}\Omega \quad (7)$$

Gewählt wird der nächste Wert aus der E24-Reihe, $R_2 = 39 \text{ k}\Omega$ und die eingestellte Verstärkung ist $G = 1,564$.

Die Eingangsspannungen V für den Spannungs- Stromkonverter betragen damit $V_{\min} = G U_{\min} = 0,229 \text{ V}$ und $V_{\max} = G U_{\max} = 4,043 \text{ V}$.

Der Ausgangsstrom I_{out} des Konverters ist (Siehe Gleichung 2 - Datenblatt AM 462):

$$I = \frac{V}{8R_0} + I_{set} \quad (8)$$

Bei relativer Feuchte von 0 % sollte:

$$I_{set} = 4 \text{ mA} - \frac{V_{\min}}{8R_0} = 3,05 \text{ mA} \quad \text{sein.}$$

Damit können die Widerstände R_3 und R_4 in den Grenzen $20 \text{ k}\Omega < R_3 + R_4 < 200 \text{ k}\Omega$ bestimmt werden. R_4 wurde zu $R_4 = 2,2 \text{ k}\Omega$ gewählt (Siehe Gleichung 5 - Datenblatt AM462 [2])

$$R_3 = R_4 \left(\frac{V_{ref}}{2I_{set}R_0} - 1 \right) = 120 \text{ k}\Omega . \quad (9)$$

Der Lastwiderstand R_L wird mit $R_L = 300 \Omega$, der Stabilisierungswiderstand R_5 mit $R_5 = 39 \Omega$ festgelegt.

Als Diode wurde 1N4148 und als Transistor MPS A43 gewählt.

Damit ergibt sich die Liste der externen Bautelemente für die Schaltung:

AM 462:

$R_0 = 30 \Omega$ $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$ $R_2 = 39 \text{ k}\Omega$ $R_3 = 120 \text{ k}\Omega$
 $R_4 = 2,2 \text{ k}\Omega$ $R_5 = 39 \Omega$ $R_6 = 14 \text{ k}\Omega$ $R_L = 300 \Omega$

Tiefpass:

$R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 0,33 \mu\text{F}$

Diode:

1N4148

Transistor:

MPS A43

Da sich wahrscheinlich kleine Abweichungen von den gemessenen zu den berechneten Werten ergeben, sollte eine Korrekturmöglichkeit für die Verstärkung G etwa durch parallele Widerstände zu R_1 oder R_2 vorgesehen werden.

Feuchtigkeitssensor mit 4-20 mA Stromschleifenausgang HTU21P + AM 462

Messergebnisse

Mit einem Versuchsaufbau wurden exemplarisch Feuchtemessungen durchgeführt. Der Feuchtesensor befand sich jeweils in einem thermisch isolierten Gefäß mit definierter, unterschiedlicher Feuchte. Die Messungen wurden bei Raumtemperatur durchgeführt. Es wurde der Strom in Abhängigkeit von der relativen Feuchte gemessen (*Abbildung 7*) und die Feuchte zum Vergleich über die Pulsweite bestimmt (*Abbildung 8*).

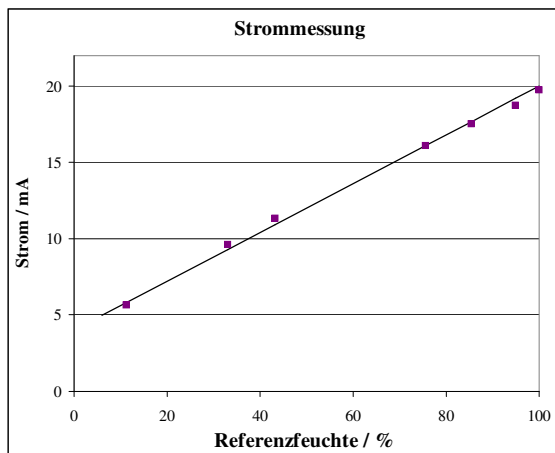


Abbildung 7: Ausgangsstrom in Abhängigkeit der relativen Feuchte

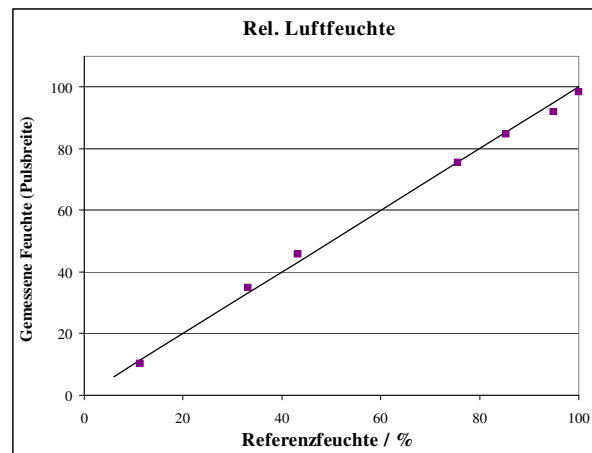


Abbildung 8: Pulsweite in Abhängigkeit der relativen Feuchte

Messungen an 6 Kombinationen: Feuchtesensor HTU21P und ASIC AM 462 haben gezeigt, dass bei jeweils 5 Minuten Sättigungszeit der Fehler im Bereich 20 – 80 % RH und im Temperaturbereich von 10 - 60°C bei 3,0 % FS liegt.

Zusammenfassung

Der Einsatzbereich von Feuchte-/Temperatursensoren ist nicht auf einzelne Branchen beschränkt. Die Sensoren können überall dort eingesetzt werden, wo man den Grad der Feuchte in Verbindung mit der Temperatur kennen und beeinflussen möchte.

In der industriellen Umgebung, wo man mit starken elektromagnetischen Störungen zu rechnen hat und wo man vielleicht mit langen Kabeln arbeiten muss, ist die 2-Draht Strommessung die adäquate Lösung. Wie eine solche Schaltung für einen OEM-Feuchtigkeitssensor auf MEMS-Basis aussehen kann, ist in der Anwendungsnotiz gezeigt.

Die beschriebene Schaltung gilt im Prinzip für alle Sensoren mit einem PWM-Ausgang, muss allerdings an die speziellen PWM-Signale angepasst werden.



Feuchtigkeitssensor mit 4-20 mA Stromschleifenausgang HTU21P + AM 462

Weiterführende Informationen

[1] Datenblatt HTU21

<https://www.amsys.de/produkte/feuchtigkeitssensoren/htu21p-feuchte-temperatursensor-mit-analogem-ausgang/>

[2] Datenblatt AM 462

http://www.analog-micro.com/pages/ics/am462/am462_data_sheet.pdf

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>