Elektronische Auswerteschaltungen für den Silizium-Temperatursensor KTY 10

Best.-Nr. 17 67 88

Elektronische Auswerteschaltungen für den Silizium-Temperatursensor KTY 10

Der Meßgröße »Temperatur« kommt als der am häufigsten erfaßten physikalischen Größe besondere Bedeutung zu.

Mit dem neuen Silizium-Temperatursensor KTY 10 wird dem steigenden Bedarf für einen kostengünstigen Fühler mit enger Toleranz und eindeutig reproduzierbarer Kennlinie Rechnung getragen. Die vorgestellten temperaturgesteuerten Spannungs- und Stromquellenschaltungen sind für die in der analogen Meßtechnik üblichen Standaidschnittstellen mit Spannungseinprägung bzw. mit Stromeinprägung (0 bis 20 mA) geeignet. Das Fehlerverhalten dieser Schaltungen wird eingehend erläutert. Der Anwender kann daherohne zeitraubendes Messen feststellen, ob die gewählte Schaltungsanordnung seinen Genauigkeitsanforderungen entspricht. Die im Datenblatt angegebenen Toleranzen des Sensorwiderstandes (je nach Toleranzgruppe zwischen ±10% und fl %) gelten nurfür die Bezugstempe ar von + 25 "C. An den Bereichsgrer treten unvermeidliche Streuungei duf. Bei hohen Anforderungen an die Genauigkeit sollte man den Abgleich in der Mitte des gewählten Meßbereichs durchführen.

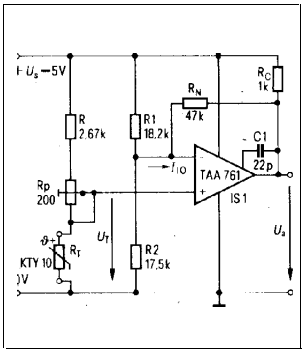


Bild 1 Schaltbild der temperaturgesteuerten Spannungsquelle

Temperaturgesteuerte Spannungsquelle mit Ausgangsspannungen von 1 bis 4 V (+40 °C ≦ T_{Meas} ≦ +100 °C)

Es handelt sich bei der Schaltung nach Bild 1 um eine Brückenschaltung, die für einen Ausgangsspannungshub von 1 bis4 V ausgelegt ist. Der linke Brükkenzweig mit dem Silizium-Temperatursensor KT Y IO wird nurvorn geringen Eingangsruhestrom I_{Io} des TAA761 belastet. Als Eingangsgröße tritt daher die Spannung U_T auf. Die Berechnung der Widerstände R_1, R_2 und R_N erfolgt unter Berücksichtigung der Eingangs-Offsetspannung U_{Io} und des Eingangsruhestroms I_{Io}. Die Übertragungsfunktion ist aus Formel (1) -s. unten -zu ersehen.

Bei hochohmigem R_N kann der Ausdruck $R_N \cdot I_{Io}$ nicht vernachlässigt werden. Die Eingangsnullspannung U_{Io} liegt beim TAA761 typisch bei ±6 mV und überlagert sich der Eingangsspannung U_T. Für die Widerstände R_1, R_2 und R_N gilt Formel (2).

Nach Bild 2 ergeben sich folgende Werte, wenn das Potentiometer in Mittelstellung steht:

$U_S = 5$ V, $U_{T1} = 2{,}2165$ V, $U_{T2} = 2{,}6949$ V, $U_{a1} = 1$ V, $U_{a2} = 4$ V, $U_{Io} = 0$ v, $I_{Io} = 0.1$ µA.

Für R_N wurde ein Wert von 47 kΩ gewählt. Dann ergeben sich für R_1 = 18,216 kΩ und R_2 = 17,477 kΩ. Die Übertragungsfunktion dieser Schaltung zeigt Bild 3.

Fehlerverhalten

Folgende Einflüsse wirken sich auf das Abweichen der Schaltung vom in Gleichung (1) beschriebenen Verhalten aus:

. Toleranz des Sensors und des Vorwiderstandes R,
. Toleranz der Widerstände R_1, R_2, R_N,
. Eingangs-Offsetspannung U_{Io} und
. Versorgungsspannungsänderungen ΔU_S.

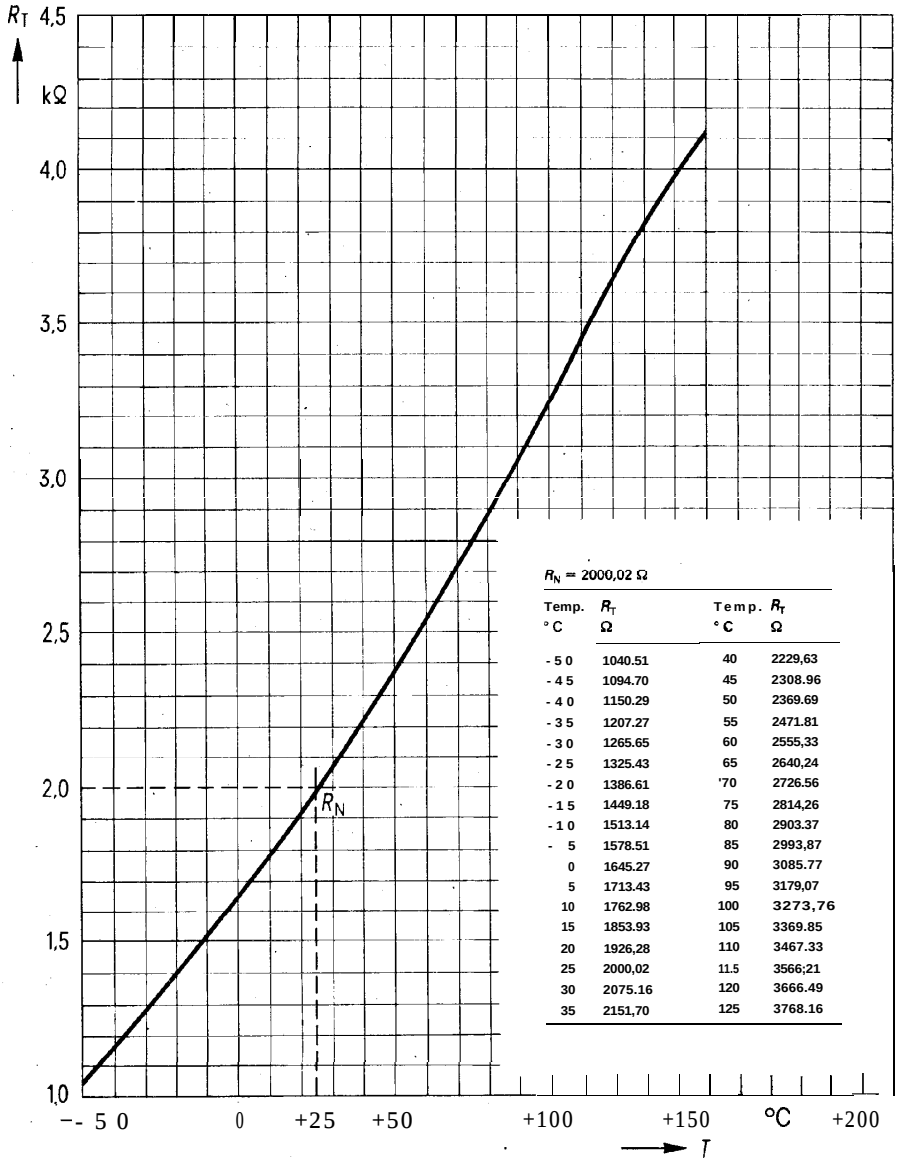
Geht man von 1 %igen Widerständen aus, so entsteht bereits bei der Ableitung der Spannung U_T ein Fehler in der Größenordnung von ±5% vom Meßbereich, bedingt durch den imVerhältnis zur versorgungsspannung U_S *nur* geringen Hubvon470 mV für U_T. Dadurch wirkt sich die Offsetspannung

$$U_A = (U_T - U_{Io})\left(1 + \frac{R_N}{R_1}\,\frac{(R_1+R_2)}{R_2}\right) - \frac{R_N}{R_1}\,U_S + R_N\,I_{Io}. \qquad (1)$$

$$\frac{R_1}{R_2} - U_S \quad \frac{U_{a2} - U_{a1} + U'_{T1} - U'_{T2}}{U'_{T1}\,U_{a2} - U'_{T2}\,U_{a1} + R_N\,I_{Io}\,(U'_{T2} - U'_{T1})} - 1 \qquad (2)$$

$$\frac{R_N}{R_1} = \frac{U_{a1} - U'_{T1} - R_N\,I_{Io}}{\frac{R_1+R_2}{R_2}\,U'_{T1} - U_S} \qquad (3)$$

mit $U'_{T1} = U_{T1} - U_{Io}$ und $U'_{T2} = U_{T2} - U_{Io}$



R_N = 2000,02 Ω

Temp. °C	R_T Ω	Temp. °C	R_T Ω
- 5 0	1040.51	40	2229,63
- 4 5	1094.70	45	2308.96
- 4 0	1150.29	50	2369.69
- 3 5	1207.27	55	2471.81
- 3 0	1265.65	60	2555,33
- 2 5	1325.43	65	2640,24
- 2 0	1386.61	'70	2726.56
- 1 5	1449.18	75	2814,26
- 1 0	1513.14	80	2903.37
- 5	1578.51	85	2993,87
0	1645.27	90	3085.77
5	1713.43	95	3179,07
10	1762.98	100	3273,76
15	1853.93	105	3369.85
20	1926,28	110	3467.33
25	2000,02	11.5	3566;21
30	2075.16	120	3666.49
35	2151,70	125	3768.16

Bild 2 Typischer Verlauf des Sensorwiderstandes R_T in Abhängigkeit von der Temperatur T für den Silizium-Temperatursensor KTY 10

mit *6 mVauch mit einem Fehler von ±1.2% aus.

Die Brückenschaltung reagiert am empfindlichsten auf das Verstimmen der Widerstände R_T und R_N. Die arößte Abweichung der Anzeige ergibt sich bei gleicher Toleranz der Widerstände R_N und R_2, wie aus dem Toleranzband, Bild 4. erkennbar ist. Sie liegt in der Größenordnung von +4 bis -3 K.

Im ungünstigsten Fall addieren sich die o. g. Fehler einseitig, was einen Abgleich notwendig macht. Durch einen Ein-Punkt-Abgleich mit R_p können die Toleranzen von R_T und Rsowie der Einfluß von U_{Io} vollständig kompensiert werden.
Der Toleranzeinfluß von R_1, R_2 und R_N läßt sich für die ungünstigen Fälle a und c in Bild 4 nur auf einen Restfehler von + 1.6 bis -0.5 K reduzieren, wie aus Bild 5 hervorgeht. Die zusätzliche Steilheitsänderung durch Abgleich mit R_p bewirkt, daß nun die Kurven b und d den Bereich des maximalen absoluten Fehlers begrenzen. Er liegt in den Grenzen von + 1,9 bis – 1 K, wenn der Abgleich bei der oberen Temperatur durchgeführt wird.
Änderungen der Versorgungsspannung um x% bewirken eine Änderung von U_a im prozentual gleichen Ausmaß, solange der TAA761 im linearen Bereich betrieben wird.
Für allgemeine Anwendunoen emofiehlt es sich, die Brückenspannung durch eine Z-Diode oder einen integrierten Spannungsreglerzu stabilisieren. DieTemperaturabhängigkeit der Schaltung wird vor allem durch den Temperaturkoeffizienten der Widerstände bestimmt. Werden alle Widerstände gleichmäßig erwärmt, resultiert ein Restfehler im Promillebereich*.

• Bei Verwendung von Metallschichtwiderständen mit einem Temperaturkoeffizient $\alpha_R = \pm 50 \cdot 10^{-6}$/K

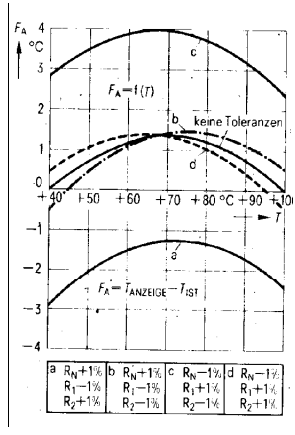


Bild 4 Fehlerverhaken $F_A = f(T)$ der Schaltung nach Bild 2 aufgrund der Widerstands. Toleranz von R_1, R_2 und R_N

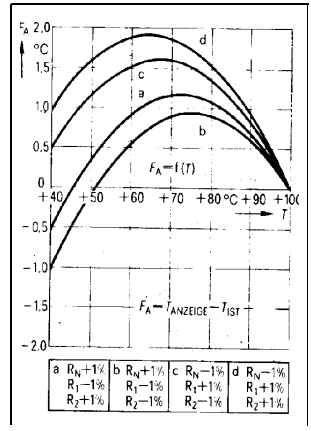


Bild 5 Fehlerverhalten $F_A = f(T)$ der Schaltung nach Bild 2 bei Abgleich mit R_p für ungünstigeToleranzen; Toleranzband: Kurven b bis d

Mit der besprochenen Dimensionierung bietet sich der Einsatz in Heißwassergeräten, Wasch- und Geschirrspülmaschinen an. In der Umgebung des Siedepunktes wird mit hoher Genauigkeit gemessen. Tabelle 1 zeigt die technischen Daten der temperaturgesteuerten Spannungsquelle.

Temperaturgesteuerte Stromquelle 0 bis 20 mA
(+40 °C ≦ T_{Mess} ≦ +100 °C)

Bild 5 zeigt die modifizierte Brückenschaltung als temperaturgesteuerte Stromquelle, wobei der im Rückkopplungszweig des OP TAA761 fließende Strom I über den PNP-Längstransistor BC307 an die Last ausgekoppelt wird. Wenn die Schaltung für einen Strom I_{max} = 20 mA ausgelegt wird (Übertragungskennlinie Bild 7), muß aufgrund des Spannungsabfalles an den Zuleitungswiderständen eine Stabilisierung der Versorgungsspannung Us mit.einer Z-Diode vorgesehen werden.

Das Verhalten der Schaltung unter Berücksichtigung des Einflusses der Z-Diode wird anhand von Bild 8 untersucht. Die Kannlinie der Z-Diode wird durch eine Knickgerade nach Bild 9 approximiert. Für die Widerstände R_1 und R_2 folgt Gleichung (4) und (5) mit:
Us Versorgungsspannung
$R_{T2} \triangleq R_T$ bei T = + 100 °C
$R_{T1} \triangleq R_T$ bei T = +40 °C
I_m Maximaler Ausgangsstrom bei T = + 100 °C (20 mA)

Für den Strom I in Abhängigkeit vom Sensorwiderstand R_T gilt die Formel (6)

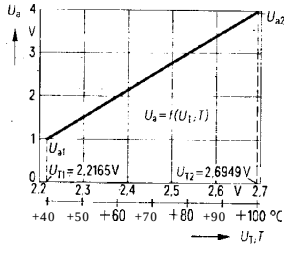


Bild 3 Übertragungskennlinie $U_a = f(U_T; T)$ der temperaturgesteuerten Spannungsquelle nach Bild 2

$$R_2 = (R + R_p)\,\frac{(U_S R_Z + U_{ZO} R_V)\left(\frac{R_{T2}}{R_{T1}} - 1\right) - I_m R_V R_Z}{I_m\,[(R + R_p + R_{T2})(R_V + R_Z) + R_V R_Z]} \qquad (4)$$

$$R_1 = R_2\,\frac{R_{T1}}{R + R_p} \qquad (5)$$

$$I = \frac{(R + R_p)(U_S R_Z + U_{Zo} R_V)\left(\frac{R_T R_2}{(R + R_p) R_1} - 1\right)}{R_2 (R + R_p + R_T)(R_V + R_Z) + R_V R_Z (R + R_p + R_2)} \qquad (6)$$

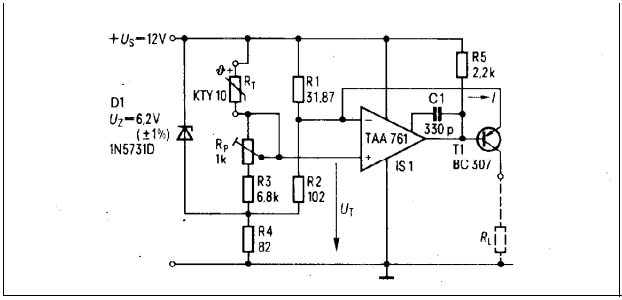


Bild 6 Schaltbild der temperaturgesteuerten Stromquelle mit Z-Dioden-Stabilisierung für Ausgangsströme Ivon 0 bis 20 mA, zwischen +40 und + 100 °C

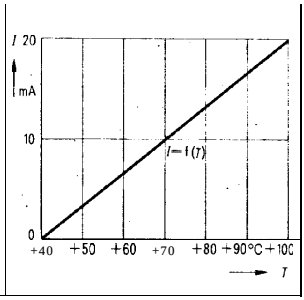


Bild 7 **Übertragungskennlinie** I = f(r) der temperaturgesteuerten **Stromquelle** nach **Bild 6** (I = **0 bis 20 mA**)

Durch Einführen der Beziehung R_T = f(T) in Gleichung (6) erhält man eine Darstellung I = f(T). Die Rechnung wurde für das in Bild 6 gewählte Beispiel mit folgenden Werten durchgeführt:
U_S = 12 V; U_{Z0} = 6.1 V; R_Z = 10 Ω; R_V = 82 Ω; R_{T1} = $R_{T\,40°}$ = 2,24995 kΩ; R_{T2} = $R_{T\,100°}$ = 3.3036 kΩ; I_m = 20 mA; R = 6,8 kΩ; R_p = 400 Ω (gewählt 1 kΩ, Trimmerwiderstand); R_{T25} = 2018,2 Ω.
Aus Gleichung (4) und (5) erhält man

R_1 = 31,87 Ω und R_2 = 102 Ω.

Die Abweichung vom idealen Verhalten zeigt Bild 10, Kurve a. Der Linearitätsfehler F_A beträgt $6 \cdot 10^{-2}$ °C absolut oder 1‰ vom Meßbereich.

Fehlerverhalten

Grundsätzlich wirken sich die Widerstandstoleranzen wie bei der Spannungsquellenschaltung aus, hinzu kommt das Stabilisierungs- und Temperaturverhalten der Z-Diode. Fehlerquellen, nach ihrer Bedeutung geordnet, sind:

. Widerstandstoleranzen,
. Toleranz der Z-Spannung
. Versorgungsspannungsänderungen ΔU_S,
. Temperaturverhalten der Z-Spannung sowie
. Temperaturverhalten der Widerstände.

Bild 10 zeigt den Einfluß der Toleranzen von R, R_T, R_1 und R_2 für zwei Extremfälle. Unter Verwendung der Abkürzung

$R\,(1+\frac{x}{100})$ = R+x% gibt die Kurve b

den Fall

R_T −1%, R+1%, R_1 −1%, R_2 −1% wieder, Kurve cgiltfür R_T+1%, R-l%, R_1+1% und R_2+1%

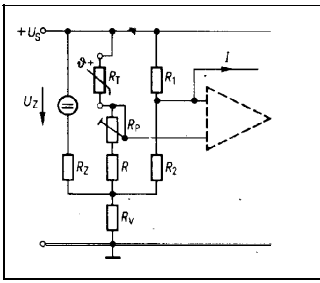


Bild 8 Ersatzschaltbild zur Berechnung der Brückenschaltung nach Bild 6

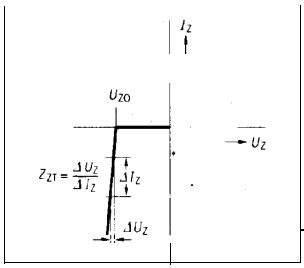


Bild 9 **Ersatzkennlinie** I_Z = f (U_Z) der **Z-Diode**

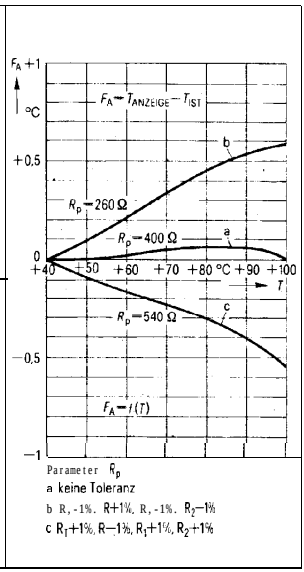


Bild 10 Einfluß der Widerstandstoleranzen auf den **absoluten** Fehler der Schaltung nach **Bild 6 über** den gesamten **Temperaturmeßbereich**

Alle übrigen 14 Toleranzkombinationen liegen zwischen den Kurven b und c von Bild 10.

Unter der Voraussetzung, daß der Abgleich jeweils mit dem Trimmerwiderstand R_p bei T = +40 °C auf I = 0 mA erfolgt, tritt der maximale Fehler bei. T = +100 °C auf. Da die Kurven b und c annähernd als Gerade erscheinen, arbeitet die Schaltung mit einem konstanten, relativen Fehler über den gesamten Bereich.

Der Abgleich bei einer mit ±1% Toleranz behafteten Z-Spannung U_{Z0} führt zu einem den Kurven b und c in **Bild** 10 ähnlichen, zusätzlichen Fehler.

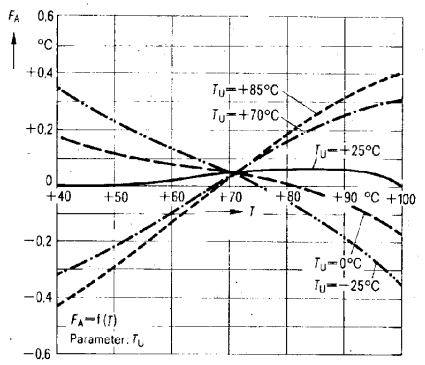


Bild 11 Temperaturverhalten der Schaltung nach Bild 6 mit Z-Dioden-Stabilisierung
T_U Umgebungstemperatur der Schaltung als Parameter
T Meßtemperatur des Sensors

R bei Tu = 25°C I = 1 mA Ω	
KTY 10	1890...2110 Ω - - - -
KTY 10 - 3	1910 Ω f 1%
KTY 10 - 4	1940 Ω f 1 %
KTY 10 - 5	1970 Ω ± 1 %
KTY 10 - 6	2000 Ω ± 1 %
KTY 10 - 7	2030 Ω ± 1 %
KTY 10 - 8	2060 Ω ± 1 %
KTY 10 - 9	2090 Ω ± 1 %

alte Bezeichnung	
KTY 10 A	2000 Ω ± 1 %
KTY 10 B	2000 Ω ± 2 %
KTY 10 C	2000 Ω ± 5 %
KTY 10 D	2000 Ω ± 10 %

Tabelle 1 Technische Daten der temperaturgesteuerten Spannungsquelle (Sild 2)

Speisespannung	U_S	4,5 bis6 V
Leerlaufstromaufnahme'	I_S	5.7 mA
Lastwiderstand[2]	&,,,"	10 kΩ
Ausgangsstrom	Io	0.4 mA
Umgebungstemperatur	T_u	0 bis +70 °C
Meßtemperatur	T	+40 bis +100 °C
Maximaler' Fehler[3]	F_A	+1,9 bis -1 °C

[1] Für R_C = 1 kΩ
[2] Größere Ausgangsleistungen durch Verringerung des Kollektorwiderstandes R_C; Grenzwerte: R_C = 100 Ω, $R_{L\,min}$ = 920 Ω, I_Q = 5 mA
[3] Für U_S = 5 V = konstant

Tabelle 2 Technische Daten der Stromquelle (Bild 6)

Speisespannung	U_S	11.5 bis 12,5 V
Ausgangsstrom	I	0 bis 20 mA
Leerlaufstromaufnahme bei I = 0 mA	I_{S0}	70 mA
Stromaufnahme bei I = 20 mA	I_S	91 mA
Z-Spannung	U_Z	6,2 V (±1%)
Z-Impedanz	Z_{ZT}	10 Ω
TK der Z-Spannung	TK	+2,3 mV/K
Umgebungstemperatur	T_U	0 bis +70 °C
Meßtemperatur	T	+40 bis +100 °C
Ausgangsspannung an R_L	$U_{L\,max}$	8 V
Maximaler Lastwiderstand	$R_{L\,max}$	400 Ω
Fehler bei T_{max} = +100 °C	F_A	±2 °C

Versorgungsspannungsänderungen ΔU_S wirken sich mit einem Durchgriff von 1 °C/V auf den absoluten Fehler der Schaltung aus.

Schließlich geht aus Bild 11 das Temperaturverhalten hervor, wobei Metallschichtwiderstände SIMEWID® gewählt wurden ($\alpha_R = \pm 50 \cdot 10^{-6}$/K). Der Temperaturkoeffizient der Z-Diode beträgt T_K = +2,3 mV/K. Das Fehlerverhalten ist hauptsächlich auf die Änderung der Z-Spannung zurückzuführen. Alle Kurven beziehen sich auf eine bei T_U = +25 °C abgeglichene Brücke ohne Widerstandstoleranzen.

Die O.P. Fehler addieren sich linear, so daß eine Gesamtgenauigkeit von ±2% vom Endwert bei Einhaltung der in Tabelle 2 genannten Betriebsgrenzen erreicht wird.