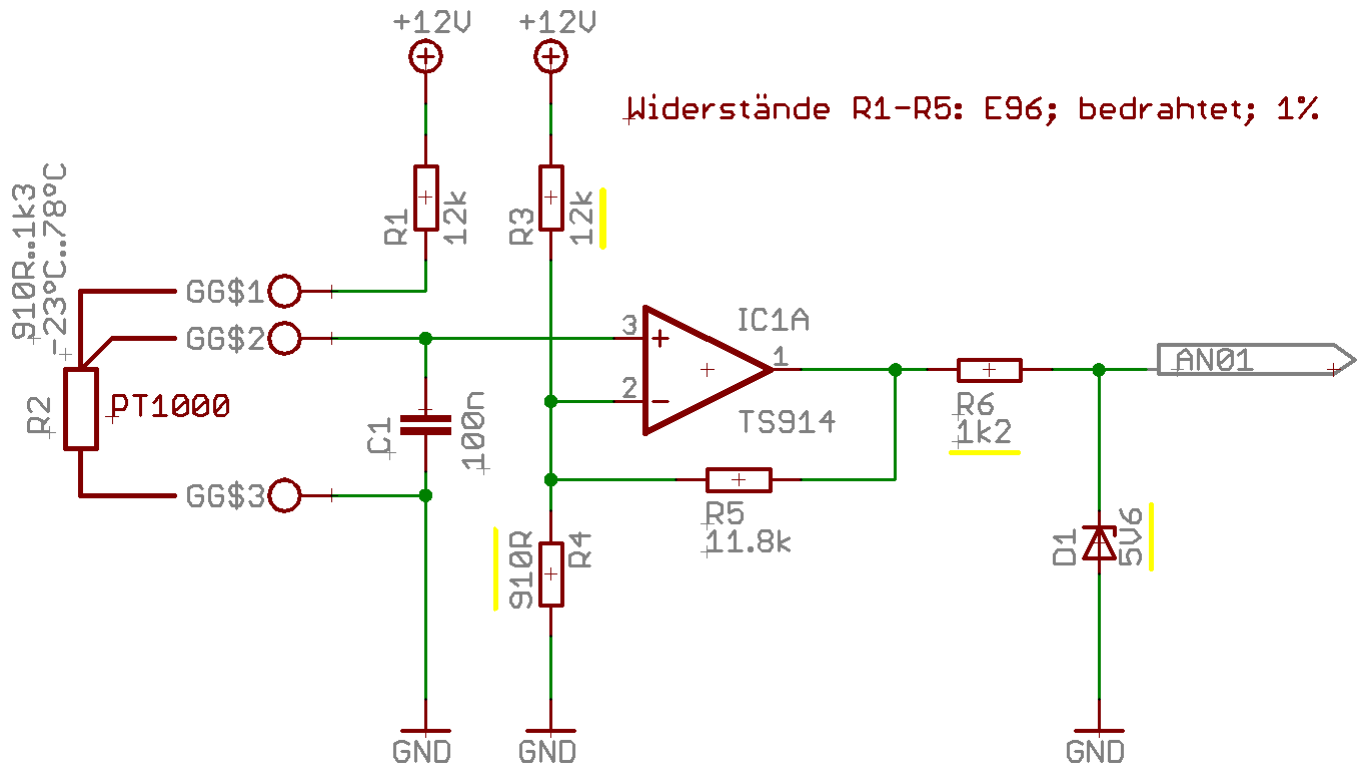


PT1000 – Schaltungsberechnung v2.0 (2007-02-20)

1.) PT1000-Auswerteschaltung



(Bild 1: Auswerteschaltung)

1. Forderung: Der Messstrom durch den PT1000 darf 1mA nicht übersteigen:

$$I_{\text{mess}} \leq 1\text{mA} \quad \Rightarrow \quad R_1 + R_2 \geq 12\text{k}$$

Wahl: $R_1 = 12\text{k}$

$R_2 = 910\text{R} \dots 1.3\text{k}$ (-23°C ... 78°C)

$$U_p = 12\text{V} * (R_2 / (R_1 + R_2))$$

U_p ist die Spannung am positiven OPV-Eingang

Für $R_2 = 910\text{R}$ gilt: $U_p = 0,846\text{V}$

Für $R_2 = 1\text{k3}$ gilt: $U_p = 1,173\text{V}$

2. Forderung: R_3 und R_4 sollen so gewählt werden, dass $U_n \leq 0,846\text{V}$ ist. Damit kann der gewünschte Messbereich weit aufgezogen werden. Alles was dann an $U_p > 0,846\text{V}$ ist, wird dann (mit Faktor V_u) verstärkt (da OPV als nicht-invertierender Verstärker betrieben wird).

Wahl: $R_4 = 910\Omega$ (damit der Strom durch R_3 und R_4 nicht zu groß und nicht zu klein wird -> gleiche Werte wie für R_1 und R_2)

$$U_n = 12\text{V} * (R_4 / (R_3 + R_4))$$

U_n ist die Spannung am negativen OPV-Eingang

$$\Rightarrow R_3 = R_4 * ((12\text{V}/U_n) - 1)$$

$$\Rightarrow R_3 = 910\Omega * ((12\text{V}/0.846\text{V}) - 1)$$

$$\Rightarrow R_3 = 12\text{k}$$

$$U_d = U_p - U_n$$

$$U_d (\text{bei } R_2 = 910R) = 0V$$

$$U_d (\text{bei } R_2 = 1.3k) = 0.327V$$

Dieser Bereich muss jetzt mittels OPV auf 0...5V aufgezoogen werden:
 $V_u = 5V / 0.327V = 15.29 \Rightarrow$ Wähle: 15 (und nicht 16, um nicht zu stark zu verstärken und damit den oberen Bereich abzuschneiden)

Dimensionierung von R_5 :

$$V_u = (R_5 / (R_3 || R_4)) + 1 \quad (R_3 || R_4, \text{ da zeitlich konstante Potentiale dem Nullpotential gleichzusetzen sind})$$

$$R_5 = (V_u - 1) * (R_3 || R_4)$$

$$R_5 = (15-1) * ((12k * 910\Omega) / 12k + 910\Omega) = 11,84k \text{ (wähle } \mathbf{R_5=11.8k})$$

Kontrollrechnung :

$$R_5 = 11.8k \Rightarrow V_u = (11.8k / 0.846k) + 1 = 14.9 \text{ (und kommt damit dem Wunschwert von 15.29 nahe).}$$

Was passiert bei Kurzschluss?

$$R_2 = 0$$

- $\Rightarrow U_p = 12V * 0 = 0V$
- $\Rightarrow U_d = U_p - U_n = 0 - 0,846V = -0.846V$
- $\Rightarrow U_a = U_d * 14.9 = -12,6V$ (theoretisch); praktisch kann der Singlesupply- und Rail-to-Rail-OPV nur 0V ausgeben -> alles i.O.

Was passiert bei Kabelbruch bzw. wenn kein PT1000 angeschlossen ist?

$$R_2 = \infty$$

- $\Rightarrow U_p = 12V * \infty / (R_1 + \infty) = 12V$
- $\Rightarrow U_d = U_p - U_n = 12V - 0.846V = 11.154V$
- $\Rightarrow U_a = U_d * 14.9 = +166V$ (theoretisch); praktisch muss schaltungstechnisch auf 5V begrenzt werden -> Zenerdiode vorsehen! Wert kann auch ohne Begrenzung nur den Maximalwert von 12V annehmen (Versorgungsspannung).

Dimensionierung der Spannungsbegrenzung am OPV-Ausgang

Die Spannungsbegrenzung soll den AD-Eingang des μC schützen, dabei aber möglichst wenig Strom verbrauchen. Z-Dioden müssen einen Mindeststrom ziehen, damit sie die Spannung stabilisieren können. Dieser Mindeststrom liegt bei $(0.05...0.1) * I_{Z,max}$.

$I_{Z,max}$ berechnet sich aus der max. Verlustleistung der Zenerdiode und der Spannung, die über der Diode abfällt:

$$I_{Z,max} = P_{tot} / U_Z = 0.5W / 5.6V = 89mA$$

$$\rightarrow I_{Z,min} = 0.05 * 89mA = 5mA$$

Für geringen Stromverbrauch bzw. dessen Auslegung ist es also vorteilhaft, wenn eine Zenerdiode mit geringer Verlustleistung eingesetzt wird.

Der Vorwiderstand R_6 errechnet sich somit aus:

$$R_6 = (12V - U_Z) / I_{Z,min} = (12V - 5.6V) / 5mA = 1280\Omega \text{ (-> Wähle: } \mathbf{R_6 = 1.2k\Omega})$$

Kontrollrechnung:

$$I_z = (12V - U_z) / R_6 = (12V - 5.6V) / 1.2k\Omega = 5.3mA \text{ (-> i.O.)}$$

Abschnitt 2:

Sämtliche Berechnungen (oben) gehen von einem Zweileiteranschluss aus. **Wie gross ist also der praktische Unterschied zwischen Zweileiteranschluss und Dreileiteranschluss?**

Der mittlere Temperaturkoeffizient von Platin beträgt 0.00385/K. D.h. für einen PT1000 ändert sich pro Kelvin der Widerstand um 3.85Ω.

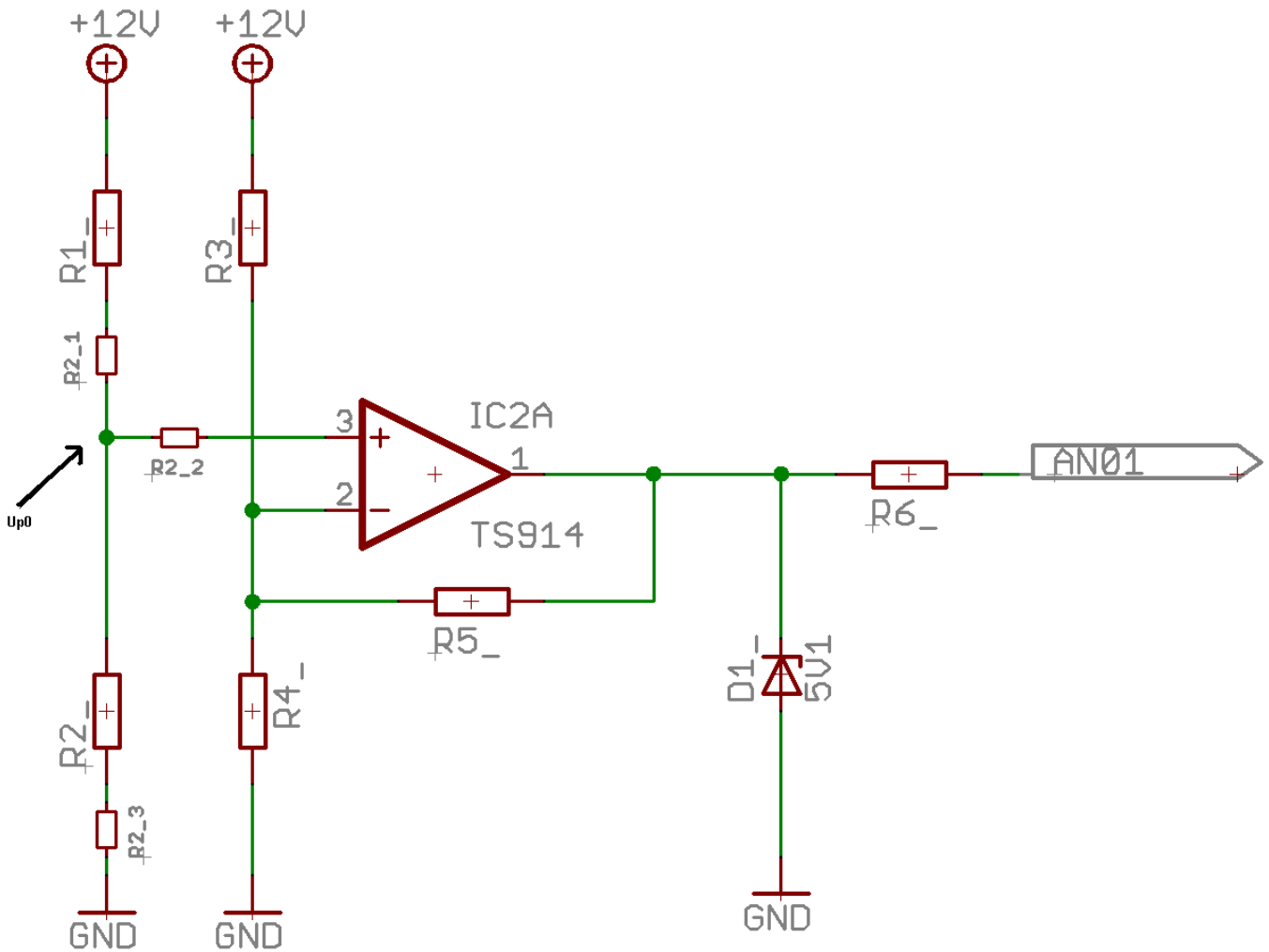
Zum Vergleich: Ein 1.5mm² starkes und 20m langes Kupferkabel hat einen Widerstand von:

$$R = 2 * l / (k * A) \quad \Rightarrow \quad 2 * 40m / (56S * m / mm^2 * 1.5mm^2) = 0.95\Omega$$

Beim Zweileiteranschluss wäre der Messfehler allein durch die Kabellänge etwa 0.25°C (= 0.95Ω / (3.85Ω/K)).

Zum Vergleich mit einem PT100: Hier beträgt die Widerstandsänderung pro Kelvin lediglich 0.385Ω. D.h. der Messfehler bei 20m Kabellänge wäre in diesem Fall: 2.5°C(!)

Für den Dreileiteranschluss gilt folgendes Ersatzschaltbild:



(Bild 2: Ersatzschaltbild für 3-Leiteranschluss)

Der Schaltplan aus Abschnitt 1. soll hier als Ersatzschaltbild gezeichnet sein. Die Leitungswiderstände der Dreileiterschaltung sind als kleine Widerstände eingezeichnet ($R_{2_1} \dots R_{2_3}$; die Widerstandsbezeichnung soll den zugehörigen Klemmen (oben) entsprechen).

R_{2_1} und R_{2_3} haben praktisch keinen Einfluss auf das Potential U_{p0} (siehe Pfeil), da die jeweils gleichen Widerstände ($R_{2_1} = R_{2_3}$) deutlich kleiner sind als R_2 (oder R_1).

Rechenbeispiel:

1.) **Theoretischer Idealfall:** U_{p0} (ohne R_{2_1} und ohne R_{2_3}):

$$U_{p0,ideal} = 12V \cdot (R_2 / (R_1 + R_2)) = 12V \cdot (910\Omega / (910\Omega + 12k\Omega)) = \mathbf{845,856mV}$$

2.) **Zweileiteranschluss:** U_{p0} (nur mit R_{2_3} und R_{2_2}):

$$R_2 = 910\Omega + 2 \cdot 0,95\Omega = 911,9\Omega$$

$$U_{p0,2Leiter} = 12V \cdot (911,9\Omega) / (911,9\Omega + 12k\Omega) = \mathbf{847,497mV}$$

3.) **Dreileiteranschluss:** U_{p0} (mit R_{2_1} und mit R_{2_3}): Annahme: R_{2_x} liegt bei 0.95Ω :

$$U_{p0,3\text{Leiter}} = 12V * (910\Omega + 0.95\Omega) / (910\Omega + 0.95\Omega + 12k\Omega + 0.95\Omega) = \mathbf{846.466mV}$$

R_{2_2} geht in die Betrachtung nicht ein, da hierdurch das Potential an U_p nicht verändert wird.

Um eine Aussage über die Schwere der Abweichung zu treffen, muss diese NACH dem OPV ermittelt werden, denn er verstärkt die Abweichung natürlich mit.

	3-Leiteranschluss	2-Leiteranschluss
Abweichung gegenüber Anschluss „ohne“ Leitung VOR dem OPV	0.610mV	1.641mV
Abweichung gegenüber Anschluss „ohne“ Leitung NACH dem OPV ($V_u=14.1$)	8.60mV	23.14mV
Abweichung gegenüber Anschluss „ohne“ Leitung NACH dem OPV und umgerechnet für einen 10Bit-ADC (bei 5V Referenzspannung; also 4.88mV/digit)	2digits	5digits

Bei der eingestellten Verstärkung bzw. Messbereich ($910\Omega \dots 1.3k\Omega$; $-23^\circ\text{C} \dots +78^\circ\text{C}$) entspricht 1digit etwa 0.381Ω bzw. 0.0987°C .

Damit beträgt die Abweichung (absolut):

	3-Leiteranschluss	2-Leiteranschluss
Abweichung gegenüber Anschluss „ohne“ Leitung	0.2°C	0.5°C

Ergebnis:

Der Unterschied zwischen 2-Leiter- und 3-Leiteranschluss wirkt sich hier weniger stark aus als zunächst vermutet.

Achtung: Dieser Text soll keine Musterrechnung sein, sondern Diskussionsgrundlage!
Möglicherweise sind wichtige Dinge noch unberücksichtigt!