Programm 1 – Linearisierte Temperaturmessschaltung

Aufgabenstellung:

Unter Verwendung des Silizium-Temperatursensors KTY16-6 ist eine linearisierte Temperaturmess-Schaltung zu entwickeln.

Angaben:

Sensortyp: KTY16-6 (R=2000Ω bei $\vartheta = 25°C$)

ϑ_{min} = **-20°C** $U_{out,min}$ = **0V** U_{Ref} = **5,25V**

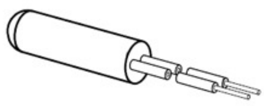
ϑ_{max} = **+80°C** $U_{out,max}$ = **8,5V** U_B = **+- 12V**

Das Programm umfasst die folgenden Teilaufgaben:

1) Berechnung des optimalen Linearisierungswiderstandes:
2) Dimensionierung der Referenzspannungsquelle:
3) Dimensionierung der Sensorschaltung:
4) Simulation der Temperaturabhängigkeit des Sensorwiderstandes:
   Das Simulationsergebnis ist in 3 Punkten durch Rechnung zu überprüfen.
   Alle Pspice-Einstellungen sind zu dokumentieren.
5) Simulation der Sensorspannung $U_M = f(\vartheta)$:
   Es ist der Wendepunkt der linearisierten Sensorkennlinie zu bestimmen.
   Es ist weiters der maximale Linearitäsfehler (in Grad) zu bestimmen.
   Alle Pspice-Einstellungen sind zu dokumentieren
6) Simulation der gesamten Sensorschaltung $U_{out} = f(\vartheta)$ mit den Rechenwerten
   Es ist der maximale Linearitätsfehler (in Grad) zu bestimmen.
   Alle Pspice-Einstellungen sind zu dokumentieren.
7) Simulation der gesamten Sensorschaltung $U_{out} = f(\vartheta)$ unter Verwendung von Normwerten für die Widerstände:
   Das Simulationsergebnis ist mit dem von Punkt 6 zu vergleichen.
8) Erstellung eines Gesamtschaltplanes:
   Es sind 2 Anschlüsse für den Sensorwiderstand und 3 Anschlüsse für Versorgungsspannung und Messsignal vorzusehen.
9) Vollständiges einseitiges Layout
   (Bestückungsplan, Top-Layer, Bottom-Layer, Bauteilliste)

Entwicklung einer linearisierten Temperaturmessschaltung

Als Temperatursensor wird ein Siliziumsensor KTY16 -6 verwendet.
R bei 25°C = **2000** Ohm.



KTY 16-6

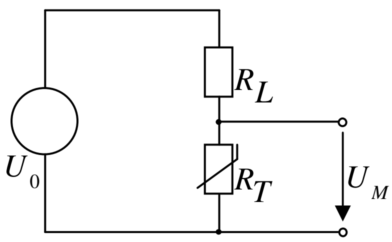
Berechnung des Widerstandswertes in Abhängigkeit der Temperatur:

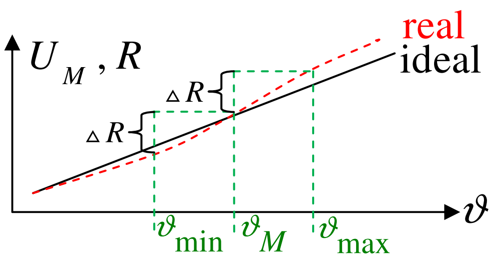
$$R_T = R_0[1+\alpha(\vartheta-\vartheta_0)+\beta(\vartheta-\vartheta_0)^2]$$

$\alpha = 7,88 * 10^{-3} K^{-1}$ α...Linearer Temperaturkoeffizient

$\beta = 1,937 * 10^{-5} K^{-2}$ β...Nichtlinearer Temperaturkoeffizient

Da es sich hier um einen quadratischen Term handelt, ist eine Linearisierung erforderlich.



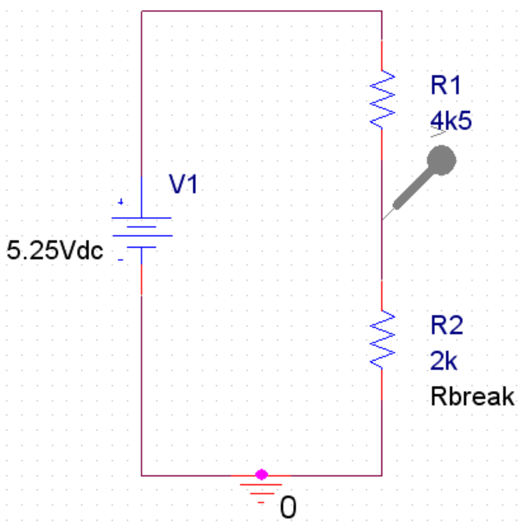


Widerstandskennlinie in Abhängigkeit der Temperatur

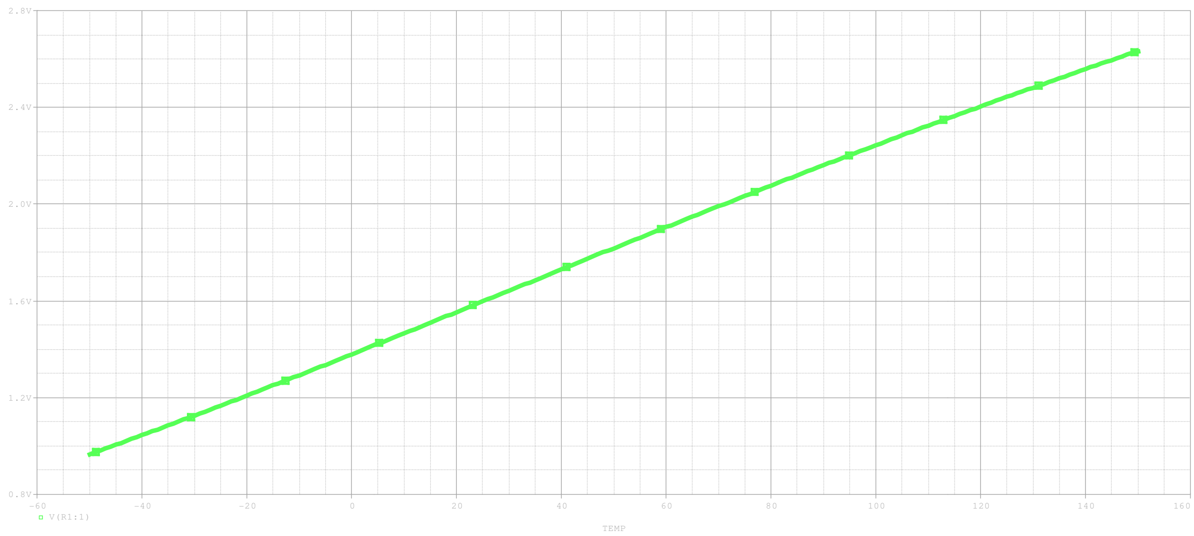
Angaben zur Berechnung:

R_0 = 25°C
U_B = 24V
U_{Ref} = 5,25V
T_{min} = -20°C
T_{max} = 80°C
U_{amin} = 0V
U_{amax} = 8,5V

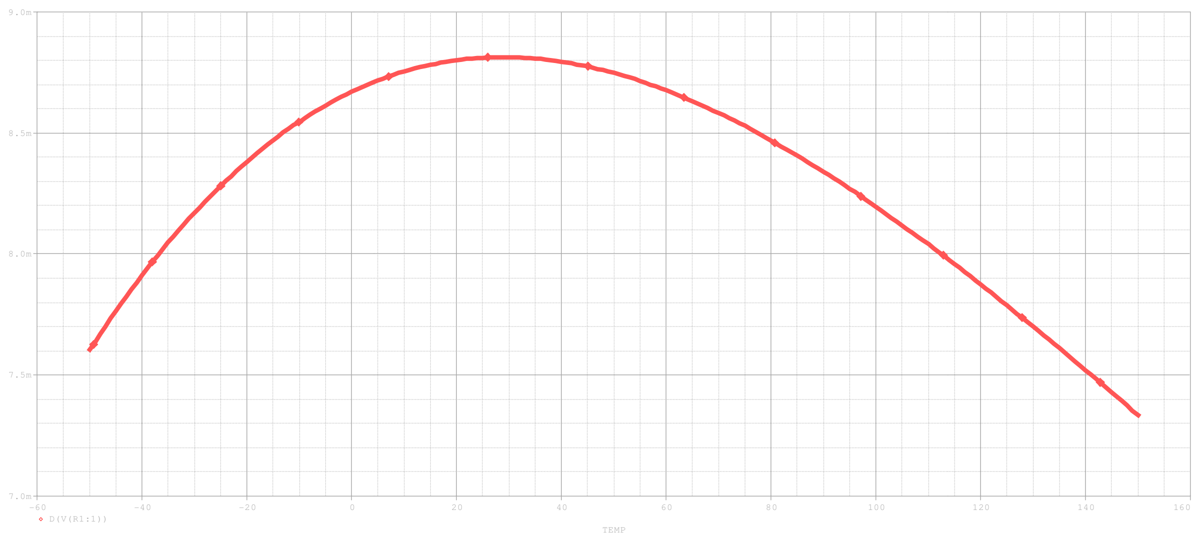
1.) Messschaltung:



2.) Temperaturkennlinie



3.) Wendepunkt



Formeln für die Berechnung:

$$R_L = \frac{R_{T_M}(R_{T_{\min}} + R_{T_{\max}}) - 2R_{T_{\min}} * R_{T_{\max}}}{R_{T_{\min}} + R_{T_{\max}} - 2R_{T_M}}$$

$$UM_{\min} = U_{\mathrm{Re}f} * \frac{R_{T_{\min}}}{R_L + R_{T_{\min}}} = 5{,}25 * \frac{1369}{4580 + 1369} = 1{,}208V$$

$$UM_{\max} = U_{\mathrm{Re}f} * \frac{R_{T_{\max}}}{R_L + R_{T_{\max}}} = 5{,}25 * \frac{2984}{4580 + 2984} = 2{,}071V$$

Berechnung des temperaturspezifischen Widerstandes:

$$R_T = R_0[1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0) + \beta(\vartheta - \vartheta_0)^2]$$

$$R_{T_{\min}} = 2000[1 + 7{,}88 * 10^{-3}(-20 - 25) + 1{,}937 * 10^{-5}(-20 - 25)^2]$$

$$\underline{\underline{R_{T_{\min}} = 1369\Omega}}$$

$$R_{T_M} = 2000[1 + 7{,}88 * 10^{-3}(30 - 25) + 1{,}937 * 10^{-5}(30 - 25)^2]$$

$$\underline{\underline{R_{T_M} = 2080\Omega}}$$

$$R_{T_{\max}} = 2000[1 + 7{,}88 * 10^{-3}(80 - 25) + 1{,}937 * 10^{-5}(80 - 25)^2]$$

$$\underline{\underline{R_{T_{\max}} = 2984\Omega}}$$

Berechnung des optimalen Lastwiderstandes RL:

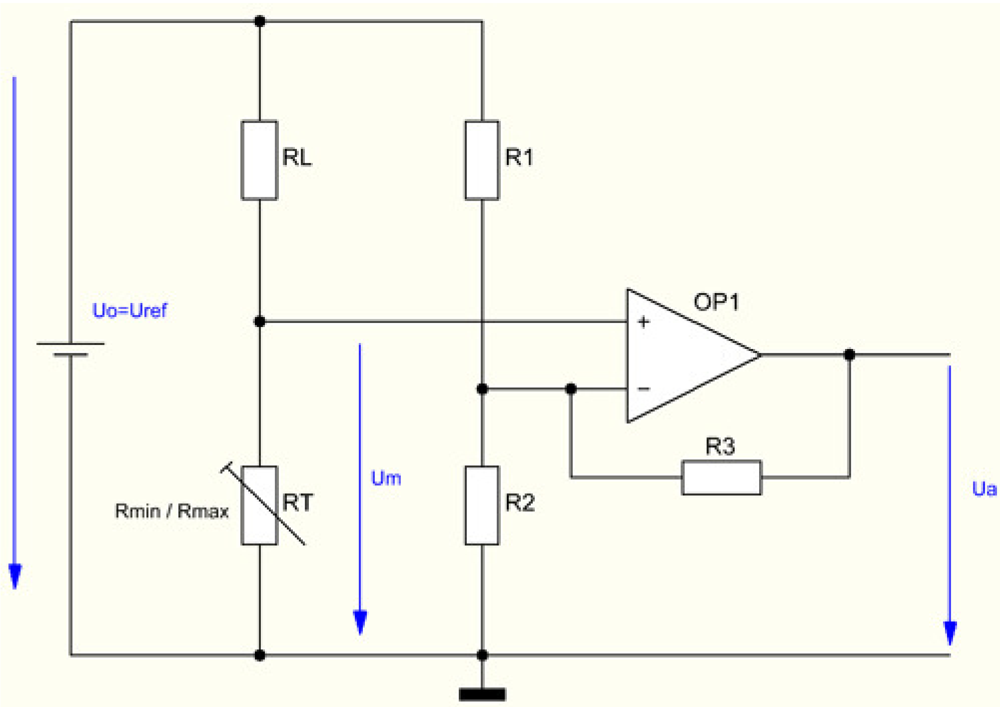
$$R_L = \frac{R_{T_M}(R_{T_{\min}} + R_{T_{\max}}) - 2R_{T_{\min}} * R_{T_{\max}}}{R_{T_{\min}} + R_{T_{\max}} - 2R_{T_M}}$$

$$R_L = \frac{2080*(1369+2984)-2*1369*2984}{1369+2984-2*2080}$$

$$\underline{\underline{R_L = 4580\Omega}}$$

Auswerteschaltung

$$\boldsymbol{R_L = R_1}$$



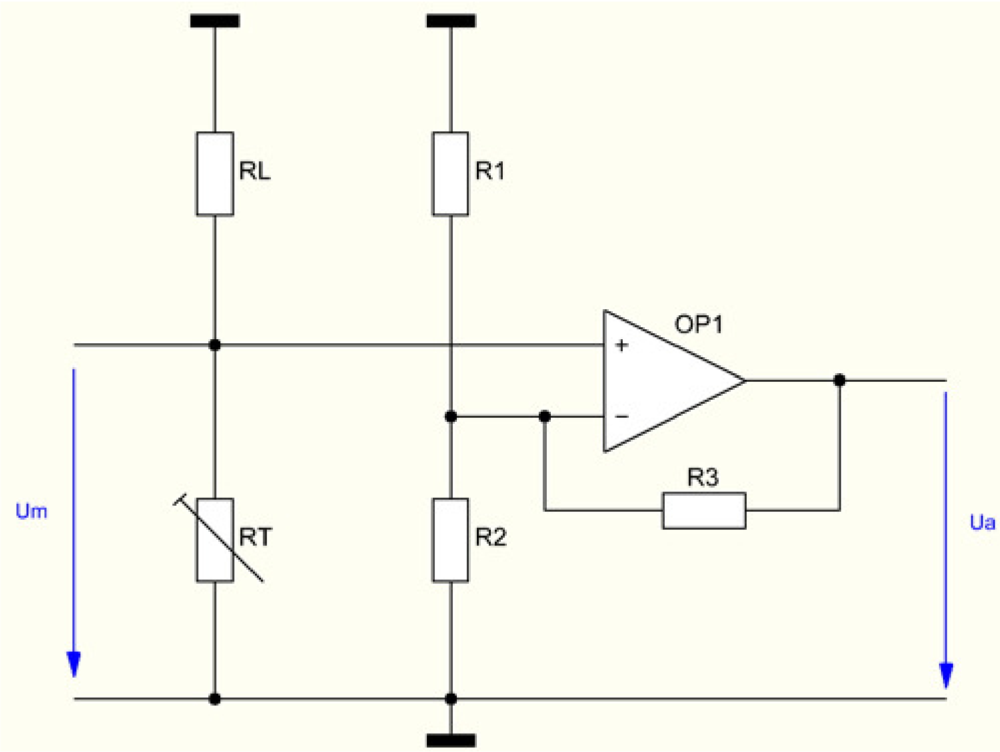
U_0=0V (U$_0$ wird kurzgeschlossen lt. Helmholtz)

U_D = 0V (kleine Differenzen werden ausser Acht gelassen)

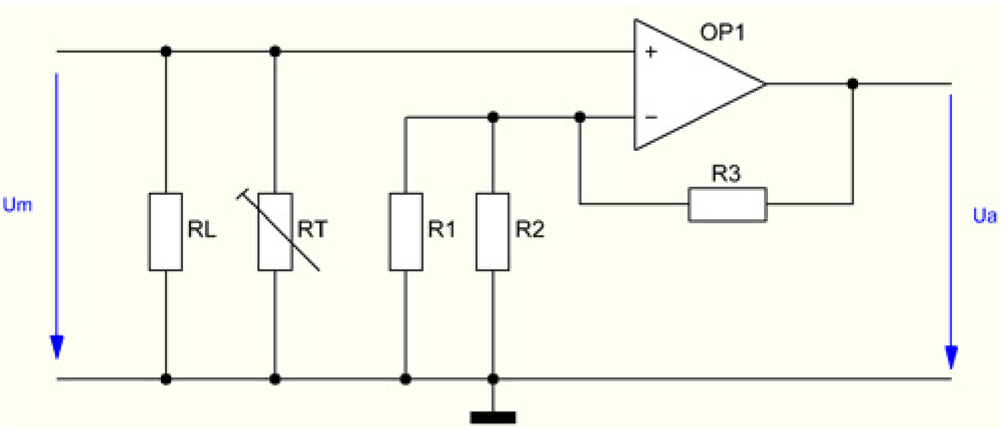
Bei T_{min} muss U_a 0V sein

RL = R1

$$\frac{R_2||R_3}{R_1||R_3 + R_1} = \frac{R_{min}}{R_{min} + R_2} \rightarrow R_{min} = R_2||R_3$$

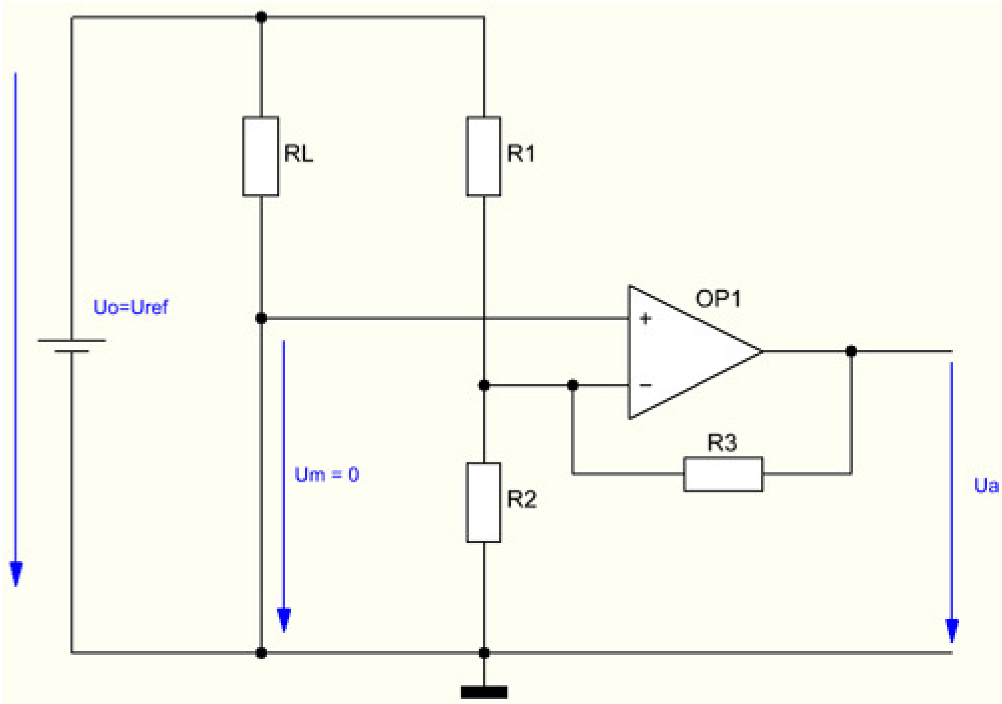


bzw:



$$U_a = \left(1 + \frac{R_3}{R_1||R_2}\right) * U_M$$

= Nichtinvertierender Verstärker



Über R_2 liegt praktisch Massepotential am invertierenden Eingang des OP.
D.h. **U_{R2}=0V**

Somit: $$U_a = -\frac{R_3}{R_1} * U_0$$

$$U_a = \underbrace{\left(1 + \frac{R_3}{R_1||R_2}\right)}_{\text{Verstärkung}} * U_M - \underbrace{\frac{R_3}{R_1} * U_0}_{\text{Offsetspannung}}$$

1.) $T = T_{min} * U_{amin} = 0 = \left(1 + \frac{R_3}{R_1||R_2}\right) * U_{min} - \frac{R_3}{R_1} * U_0$

2.) $T = T_{max} * U_{amax} = \left(1 + \frac{R_3}{R_1||R_2}\right) * U_{max} - \frac{R_3}{R_1} * U_0$

Aus 1.): $(1 + \frac{R_3}{R_1||R_2} = \frac{R_3 * U_0}{R_1 * U_{min}})$ in 2.) einsetzen

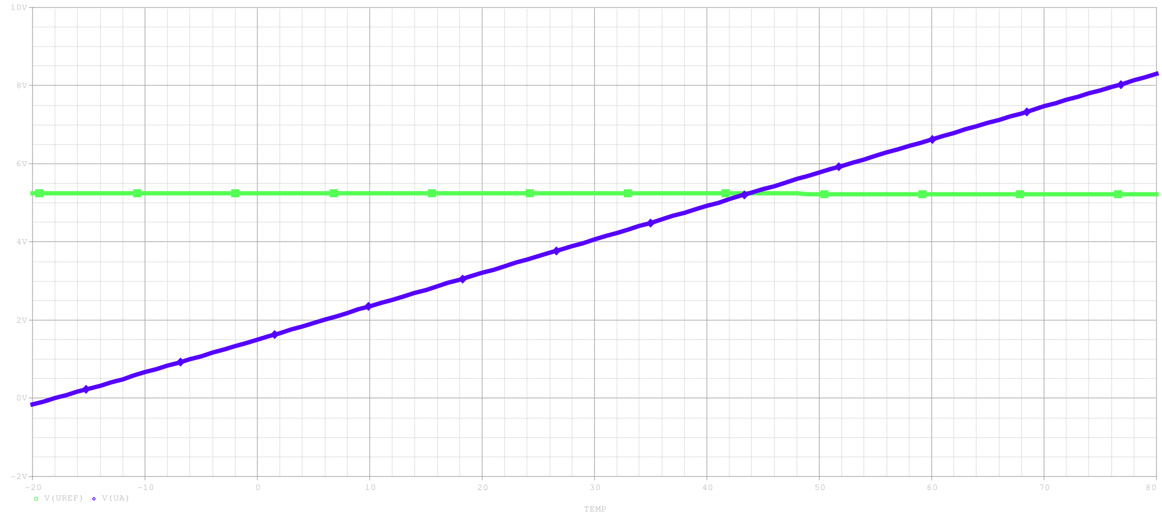
$$\rightarrow R_3 = R_1 * \frac{Ua_{max} * U_{\mathrm{Mmin}}}{U_0(U_{Mmax} - U_{\mathrm{Mmin}})}$$

$$R_3 = 4580 * \frac{8{,}5 * 1{,}208}{5{,}25 * (2{,}071 - 1{,}208)} = 10380\ \Omega$$

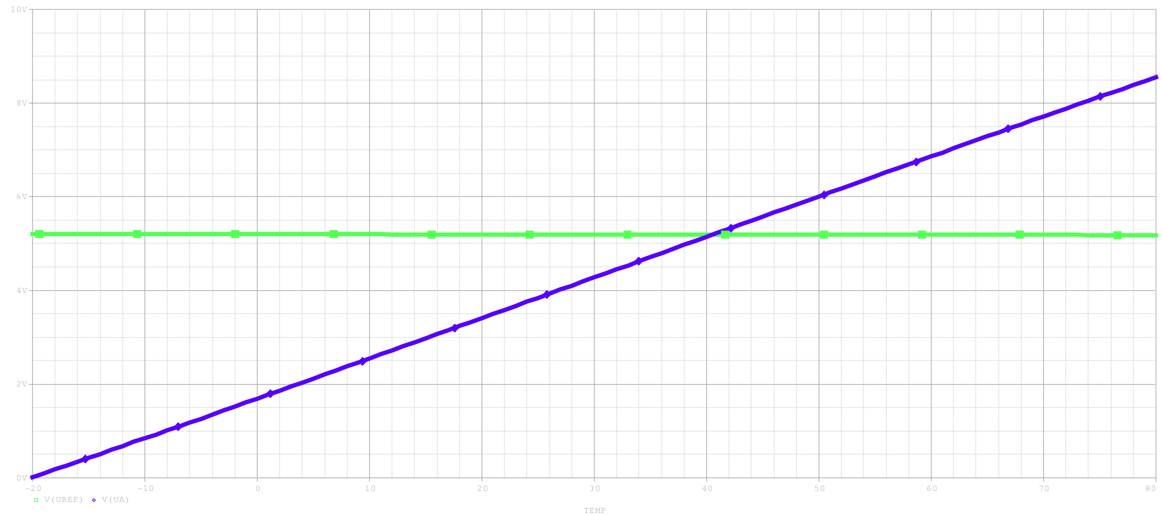
$$R_2 = \frac{R3 * R_{TU}}{R3 - R_{TU}} = \frac{10380 * 1369}{10380 - 1369} = 1577\ \Omega$$

Kontrolle: $V_U = 1 + \frac{R_3}{R_1 || R_2}$

<u>OrCAD – Simulationsergebnisse</u>



<u>Simulationsergebnisse mit E48 - Normwerten:</u>



Ermittlung des maximalen Fehlers

1.) Fehlerkurve in OrCAD ermitteln:

Über den Verlauf der Ausgangsspannung wird eine Gerade angelegt und von der Ausgangsspannung abgezogen.

2.) Geradengleichung:

y = k * x + d

Lt. Angabe soll die Ausgangsspannung bei -20°C 0V betragen. Bei +80° ist die Ausgangsspannung 8,5V.

Temperaturunterschied $\Delta x = 100°C$
Spannungsunterschied $\Delta y = 8{,}5V$

$$k = \frac{dy}{dx} = \frac{8{,}5V}{100°C} = 0{,}085\,{}^{V}/_{°C}$$

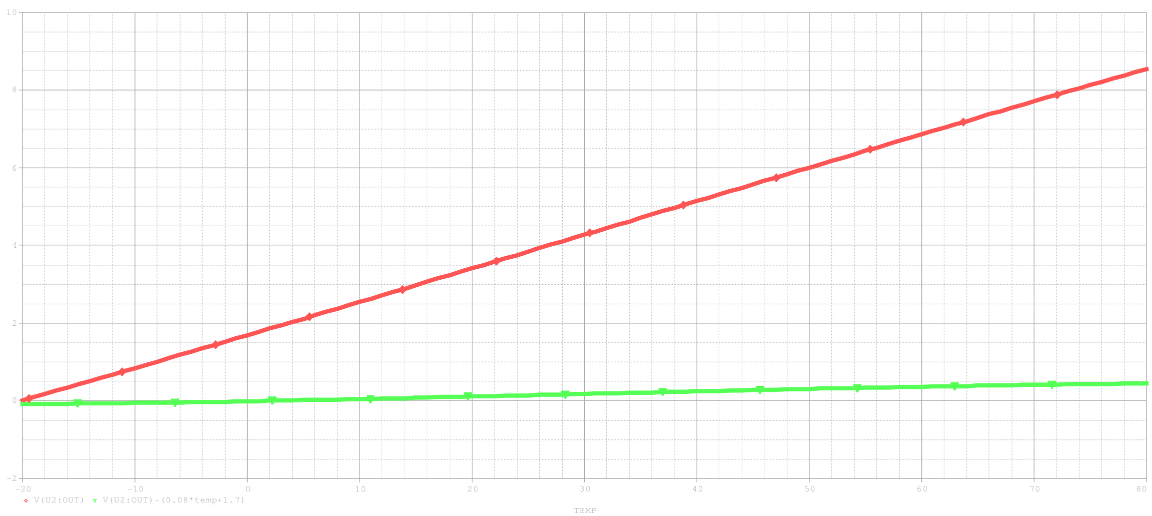
Daraus folgt: → y = k * x + d

$$0 = \frac{8{,}5}{100} * (-20) + d$$

$$d = 20 * \frac{8{,}5}{100} = 1{,}7$$

3.) Simulation in OrCAD

Über Add Trace die Geradengleichung ***V(Uaus) – ((8/100)*temp+1,7)*** hinzufügen.



4.) Ergebnis

Der max. Fehler beträgt 0,452V bei +80°C am Ausgang.

Der max. Fehler des Sensors beträgt:

$$V = \frac{Ua}{Ue} \rightarrow Ue = \frac{Ua}{V}$$

$$Ue = \frac{Ua}{V} = \frac{0{,}452V}{6{,}82} = 66{,}3mV$$