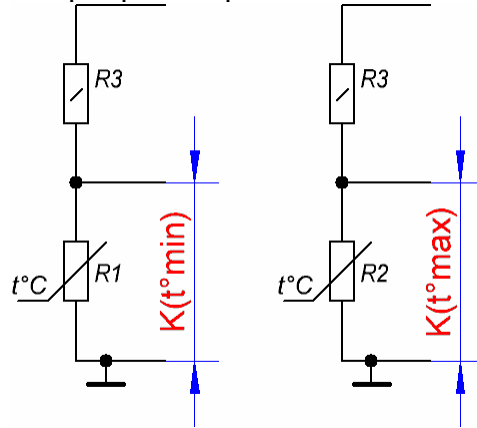


ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Терморегулятор с предельно высокой температурной чувствительностью.

Допустим, проектируется регулируемый термостабилизатор, способный поддерживать любую температуру из заданного диапазона от $t^{\circ}C_{\min}$ до $t^{\circ}C_{\max}$. Параметры терморезистора A и B предполагаются известными, либо предварительно замеряются по изложенной в приложении №1 методике. Цепь измерения температуры обычно состоит из резистора R_3 с постоянным сопротивлением и терморезистора.



Пусть при минимальной температуре диапазона $t^{\circ}C_{\min}$ сопротивление терморезистора будет равно некоторой величине R_1 , а при максимальной температуре диапазона $t^{\circ}C_{\max}$ – некоторой величине R_2 . Тогда при изменении температуры от $t^{\circ}C_{\min}$ до $t^{\circ}C_{\max}$ коэффициент передачи резистивного делителя будет изменяться от некоторого значения $K(t^{\circ}C_{\min})$ до некоторого значения $K(t^{\circ}C_{\max})$. Эти коэффициенты передачи, соответственно, будут равны

$$K(t^{\circ}C_{\min}) = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \quad \text{и} \quad K(t^{\circ}C_{\max}) = \frac{R_2}{R_2 + R_3}.$$

Чем больше будет разница между коэффициентами $K(t^{\circ}C_{\min})$ и $K(t^{\circ}C_{\max})$, тем больше будет изменение выходного напряжения делителя. Следовательно, тем больше будет и температурная чувствительность термостабилизатора. Чтобы термостабилизатор обладал предельно высокой температурной чувствительностью, нужно подобрать такое сопротивление резистора R_3 , которое обеспечит предельно большой перепад выходного напряжения при изменении температуры от $t^{\circ}C_{\min}$ до $t^{\circ}C_{\max}$. Иными словами, нужно найти максимум функции

$$\Delta K(R_3) = K(t^{\circ}C_{\min}) - K(t^{\circ}C_{\max}) = \frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_3}.$$

Производная функции будет равна

$$\begin{aligned} \Delta K'(R_3) &= \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right)' = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} \right)' - \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right)' = \frac{-R_1}{(R_1 + R_3)^2} - \frac{-R_2}{(R_2 + R_3)^2} = \\ &= \frac{R_2(R_1 + R_3)^2 - R_1(R_2 + R_3)^2}{(R_1 + R_3)^2 \cdot (R_2 + R_3)^2} = \frac{R_2(R_1^2 + 2R_1R_3 + R_3^2) - R_1(R_2^2 + 2R_2R_3 + R_3^2)}{(R_1 + R_3)^2 \cdot (R_2 + R_3)^2} = \\ &= \frac{R_1^2R_2 + 2R_1R_2R_3 + R_2R_3^2 - R_1R_2^2 - 2R_1R_2R_3 - R_1R_3^2}{(R_1 + R_3)^2 \cdot (R_2 + R_3)^2} = \frac{R_1R_2(R_1 - R_2) + R_3^2(R_2 - R_1)}{(R_1 + R_3)^2 \cdot (R_2 + R_3)^2}. \end{aligned}$$

Найдем значение R_3 , при котором производная $K'(R_3)$ будет равна нулю.

$$\begin{aligned} \frac{R_1R_2(R_1 - R_2) + R_3^2(R_2 - R_1)}{(R_1 + R_3)^2 \cdot (R_2 + R_3)^2} &= 0, \\ R_1R_2(R_1 - R_2) - R_3^2(R_1 - R_2) &= 0, \\ R_1R_2 - R_3^2 &= 0, \end{aligned}$$

$$R_3 = \sqrt{R_1 R_2}$$

Как отмечалось выше, параметры A и B терморезистора считаются известными, поэтому можно сразу вычислить сопротивление резистора R_3 , минуя расчет промежуточных величин R_1 и R_2

$$R_3 = A e^{\frac{B}{2} \left(\frac{1}{t^{\circ}C_{\min} + 273,15} + \frac{1}{t^{\circ}C_{\max} + 273,15} \right)}$$

ПРИМЕР 1. Проектируется термостабилизатор на температурный диапазон от 30°C до 95°C. Параметры терморезистора $A=0,1638763857\text{ом}$, $B=4237,02158505^{\circ}\text{K}$.

1. Найти сопротивление постоянного резистора делителя R_3 , при котором будет достигнута предельно высокая температурная чувствительность в заданном температурном диапазоне.
2. Найти среднюю температурную чувствительность в заданном температурном диапазоне, если на делитель будет подано напряжение 16,5В.
3. Построить на графике зависимость средней температурной чувствительности резистивного делителя в заданном температурном диапазоне при изменении сопротивления резистора R_3 вблизи оптимального значения R_d . Оценить, как влияет отклонение сопротивления резистора R_d от номинального значения на среднюю температурную чувствительность.

Решение, пункт 1.

Резистивный делитель будет иметь максимальную температурную чувствительность при сопротивлении постоянного резистора равном

$$R_d = A e^{\frac{B}{2} \left(\frac{1}{t^{\circ}C_{\min} + 273,15} + \frac{1}{t^{\circ}C_{\max} + 273,15} \right)} = 0,1638763857 e^{\frac{4237,02158505}{2} \left(\frac{1}{30^{\circ}C + 273,15} + \frac{1}{95^{\circ}C + 273,15} \right)} = 56058,97702\text{ом}$$

Решение, пункт 2.

Находим сопротивление терморезистора при минимальной температуре диапазона

$$R_1 = A e^{\frac{B}{t^{\circ}C_{\min} + 273,15}} = 0,1638763857 e^{\frac{4237,02158505}{30 + 273,15}} = 192530,0593\text{ом}$$

Находим сопротивление терморезистора при максимальной температуре диапазона

$$R_2 = A e^{\frac{B}{t^{\circ}C_{\max} + 273,15}} = 0,1638763857 e^{\frac{4237,02158505}{95 + 273,15}} = 16322,69224\text{ом}$$

Находим коэффициент передачи резистивного делителя и напряжение на его выходе при минимальной температуре диапазона.

$$K(t^{\circ}C_{\min}) = \frac{R_1}{R_1 + R_d} = \frac{192530,0593}{192530,0593 + 56058,97702} = 0,774491354,$$

$$U(t^{\circ}C_{\min}) = K(t^{\circ}C_{\min}) \cdot U_d = 0,774491354 \cdot 16,5 = 12,77910734\text{В}.$$

Находим коэффициент передачи резистивного делителя и напряжение на его выходе при максимальной температуре диапазона.

$$K(t^{\circ}C_{\max}) = \frac{R_2}{R_2 + R_d} = \frac{16322,69224}{16322,69224 + 56058,97702} = 0,225508646$$

$$U(t^{\circ}C_{\max}) = K(t^{\circ}C_{\max}) \cdot U_d = 0,225508646 \cdot 16,5 = 3,720892661\text{В}$$

Находим среднее значение температурной чувствительности резистивного делителя в заданном температурном диапазоне.

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{U(t^{\circ}C_{\max}) - U(t^{\circ}C_{\min})}{t^{\circ}C_{\max} - t^{\circ}C_{\min}} = \frac{3,720892661 - 12,77910734}{95 - 30} = -0,139357149 \frac{\text{В}}{^{\circ}\text{C}} \approx -139,4 \frac{\text{мВ}}{^{\circ}\text{C}}$$

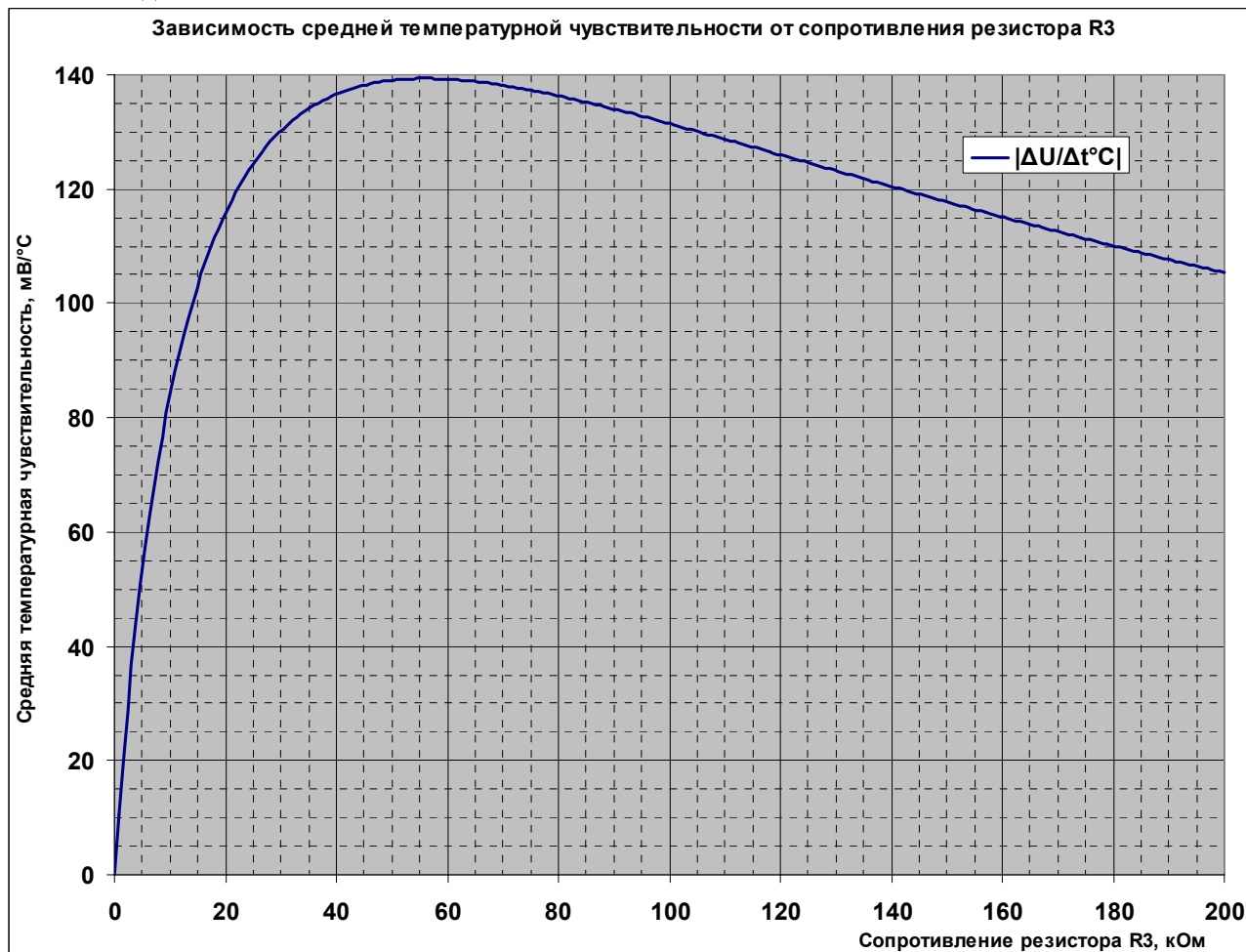
Знак минус показывает, что при повышении температуры напряжение на выходе резистивного делителя снижается.

Решение, пункт 3.

График зависимости средней температурной чувствительности резистивного делителя в заданном температурном диапазоне от сопротивления резистора R_3 может быть построен по выражению

$$\frac{\Delta U}{\Delta t}(R_3) = U_{\text{д}} \cdot \Delta K(R_3) = U_{\text{д}} \cdot \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right).$$

Тут $U_{\text{д}}=16,5\text{В}$, $R_1=192530,0593\text{Ом}$, $R_2=16322,69224$. Изменяется только R_3 .



В заданном диапазоне максимум средней температурной чувствительности $139,4\text{мВ}/^{\circ}\text{C}$ достигается при сопротивлении резистора R_3 равном $56058,97702\text{Ом}$. Из графика видно, что температурная чувствительность снизится не более чем на 5% от предельно высокой, до $132,4\text{мВ}/^{\circ}\text{C}$ при сопротивлении резистора R_3 от 32813Ом до 96094Ом . Температурная чувствительность снизится не более чем на 10% от предельно высокой, до $125,4\text{мВ}/^{\circ}\text{C}$ при сопротивлении резистора R_3 от 25781Ом до 121875Ом . Иначе говоря, даже при двукратном отклонении сопротивления резистора R_3 от расчетного, средняя температурная чувствительность снижается менее чем на 10%. Т.е. высокая точность подбора номинала резистора R_3 не требуется. Можно применить обычный резистор с номиналом 56кОм из ряда E24 с допуском $\pm 5\%$.