

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕИЗВЕСТНОГО ТЕРМОРЕЗИСТОРА

Указанное на корпусе **номинальное сопротивление терморезистора** – это его сопротивление при определенной температуре (обычно 20°C). Терморезисторы изготавливают с допустимым отклонением от номинального сопротивления ± 20 , 10 и 5%.

Температурная характеристика терморезистора – это зависимость его сопротивления от температуры. Общепринятая форма записи температурной характеристики выглядит так.

$$R = Ae^{\frac{B}{T}}, \quad (1)$$

где T – температура, выраженная в градусах по шкале Кельвина. Она связана с температурой $t^\circ\text{C}$ по привычной шкале Цельсия следующим простым выражением

$$T = t^\circ\text{C} + 273,15. \quad (2)$$

$A = R_\infty$ – постоянная, соответствующая сопротивлению терморезистора при бесконечно большой температуре (т. е. когда $1/T=0$).

Коэффициент температурной чувствительности B – это коэффициент в показателе экспоненты температурной характеристики терморезистора. Значение этого коэффициента, зависящее от свойств материала терморезистора, практически постоянно для данного терморезистора в узком рабочем диапазоне температур и для различных типов терморезисторов находится в пределах от 700 до 15000К.

По правде говоря, более точно экспериментальная температурная характеристика терморезистора описывается эмпирическим уравнением вида

$$R = Ae^{\frac{B}{T+\theta}},$$

где θ – постоянная, выражаемая в градусах Кельвина. Чтобы построить более точную температурную характеристику, нужно провести три замера сопротивления терморезистора при трех разных температурах. Далее записывается система трех нелинейных уравнений

$$\begin{cases} R_1 - Ae^{\frac{B}{T_1+\theta}} = 0, \\ R_2 - Ae^{\frac{B}{T_2+\theta}} = 0, \\ R_3 - Ae^{\frac{B}{T_3+\theta}} = 0. \end{cases}$$

из которой и находятся постоянные A , B и θ исследуемого терморезистора. Увы, аналитически эта система уравнений не решается. Однако решение можно найти средствами вычислительной математики. Проще всего набрать в поисковике фразу «решить систему нелинейных уравнений online» и обратиться к специальным сайтам в Интернете, на которых бесплатно решаются подобные системы уравнений. Далее я изложу более простую, но менее точную методику определения постоянных A и B исследуемого терморезистора. Упрощение достигается за счет игнорирования постоянной θ . Это общепринятая практика.

Ввиду очень большого технологического разброса параметров терморезисторов, в упрощенной методике постоянные A и B также определяются экспериментально. Их числовые значения можно определить по двум значениям сопротивления R_1 и R_2 , измеренным при температурах T_1 и T_2 . В качестве T_1 обычно берется комнатная температура, а в качестве T_2 – либо температура кипения воды (100°C), либо температура плавления льда (0°C). Постоянная B немного зависит от температуры, поэтому температуры T_1 и T_2 лучше всего выбирать вблизи крайних границ рабочего диапазона регулятора. Из (1) находим

$$R_1 = Ae^{\frac{B}{T_1}} \text{ и } R_2 = Ae^{\frac{B}{T_2}}$$

Разделив эти два уравнения друг на друга, получим

$$\frac{R_1}{R_2} = e^{\frac{B}{T_1} - \frac{B}{T_2}},$$

или

$$\ln \frac{R_1}{R_2} = B \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right),$$

откуда

$$B = \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}, \text{ и } A = R_1 e^{\frac{-B}{T_1}} \text{ либо } A = R_2 e^{\frac{-B}{T_2}}.$$

Пример. Есть терморезистор с маркировкой 270к. Нужно определить неизвестные постоянные A , B и построить температурную характеристику.

Измеряем сопротивление терморезистора при комнатной температуре. При температуре $t_1=23^\circ\text{C}$ сопротивление R_1 составило 267900ом.

Измеряем сопротивление терморезистора при температуре кипения воды. При температуре $t_2=100^\circ\text{C}$ сопротивление R_2 составило 13990ом.

Переводим измеренные по шкале Цельсия значения температуры в значения температуры по шкале Кельвина.

$$T_1 = t_1^\circ\text{C} + 273,15 = 23 + 273,15 = 296,15\text{K},$$

$$T_2 = t_2^\circ\text{C} + 273,15 = 100 + 273,15 = 373,15\text{K}.$$

Находим коэффициент температурной чувствительности B :

$$B = \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{\ln \frac{267900}{13990}}{\frac{1}{296,15} - \frac{1}{373,15}} = 4237,02158505\text{K}.$$

Находим постоянную терморезистора A . Найти ее можно двумя идентичными способами. Ниже приведены оба способа.

$$A = R_1 e^{\frac{-B}{T_1}} = 267900 e^{\frac{-4237,02158505}{296,15}} = 0,1638763857\text{ом},$$

$$A = R_2 e^{\frac{-B}{T_2}} = 13990 e^{\frac{-4237,02158505}{373,15}} = 0,1638763857\text{ом}.$$

Окончательная температурная характеристика терморезистора в аналитическом виде выглядит так.

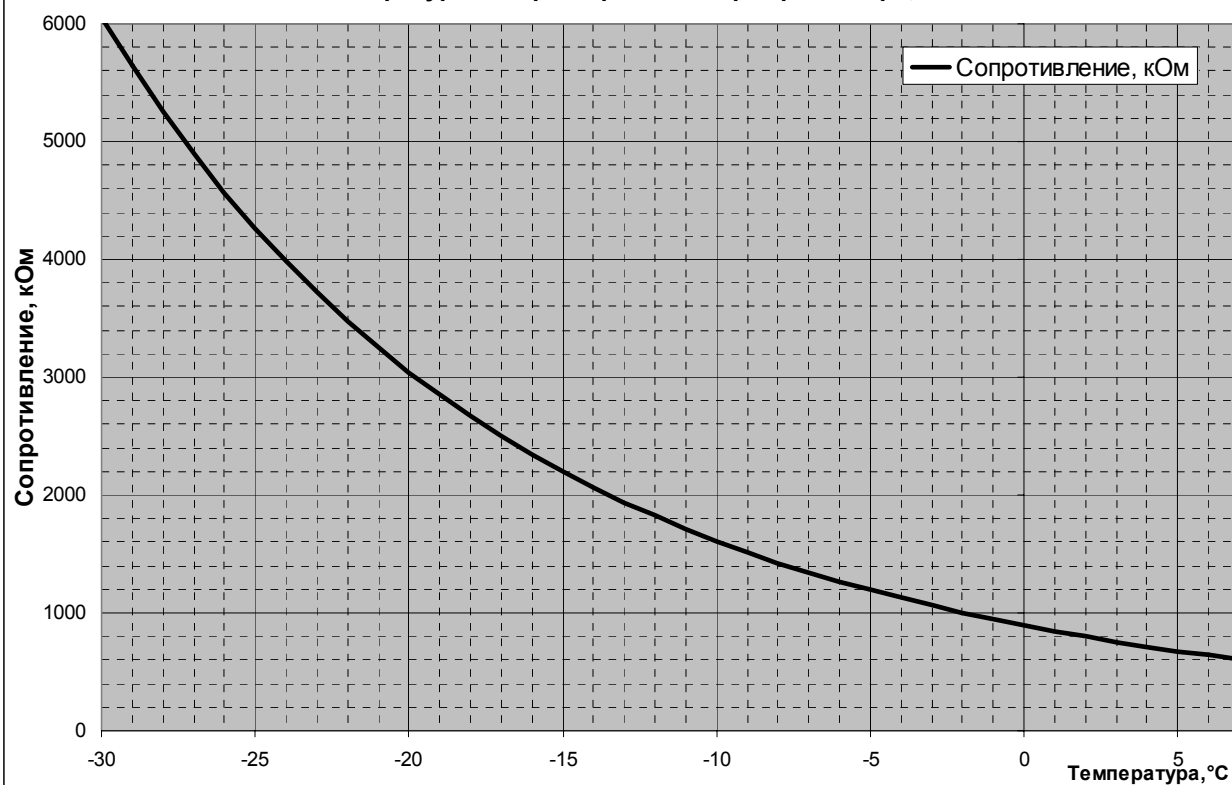
$$R = A e^{\frac{B}{T}} = 0,1638763857 \cdot e^{\frac{4237,02158505}{T}}.$$

Или так

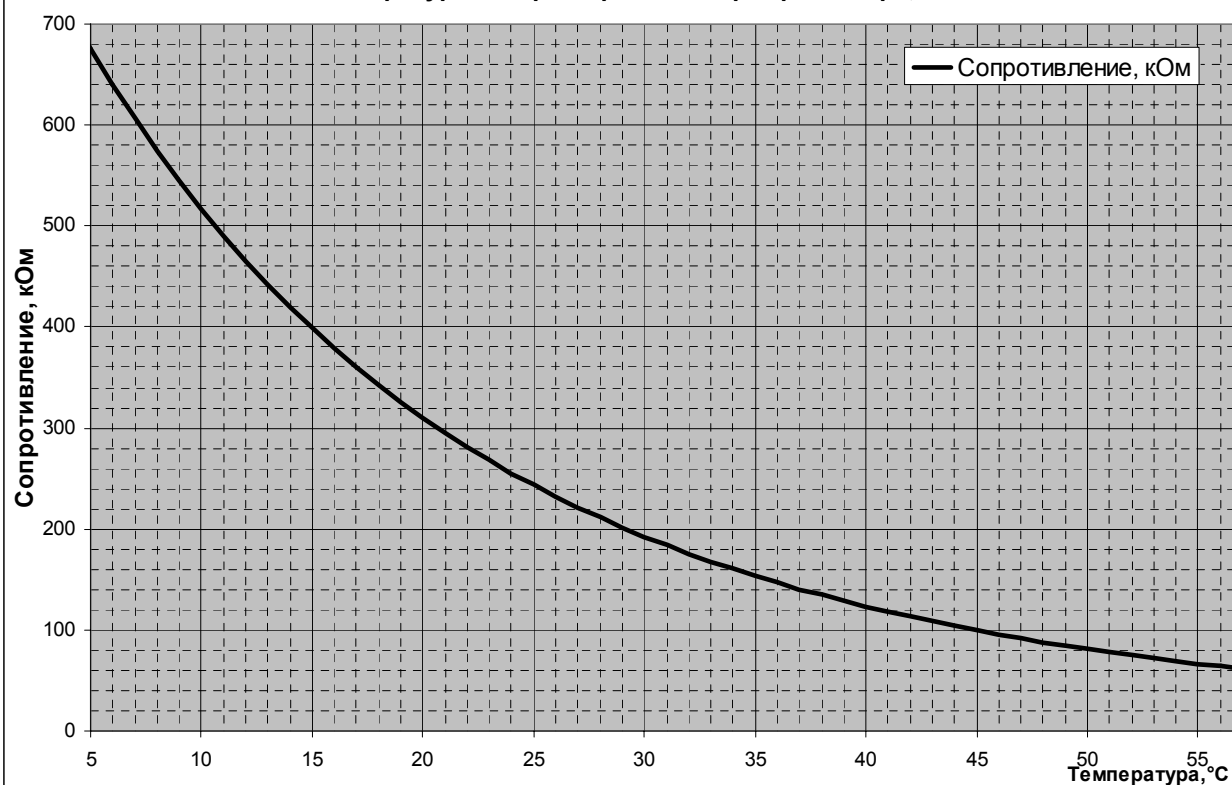
$$R = A e^{\frac{B}{t^\circ\text{C} + 273,15}} = 0,1638763857 \cdot e^{\frac{4237,02158505}{t^\circ\text{C} + 273,15}}.$$

Далее по полученным формулам уже легко представить температурную характеристику в виде графиков или таблицы.

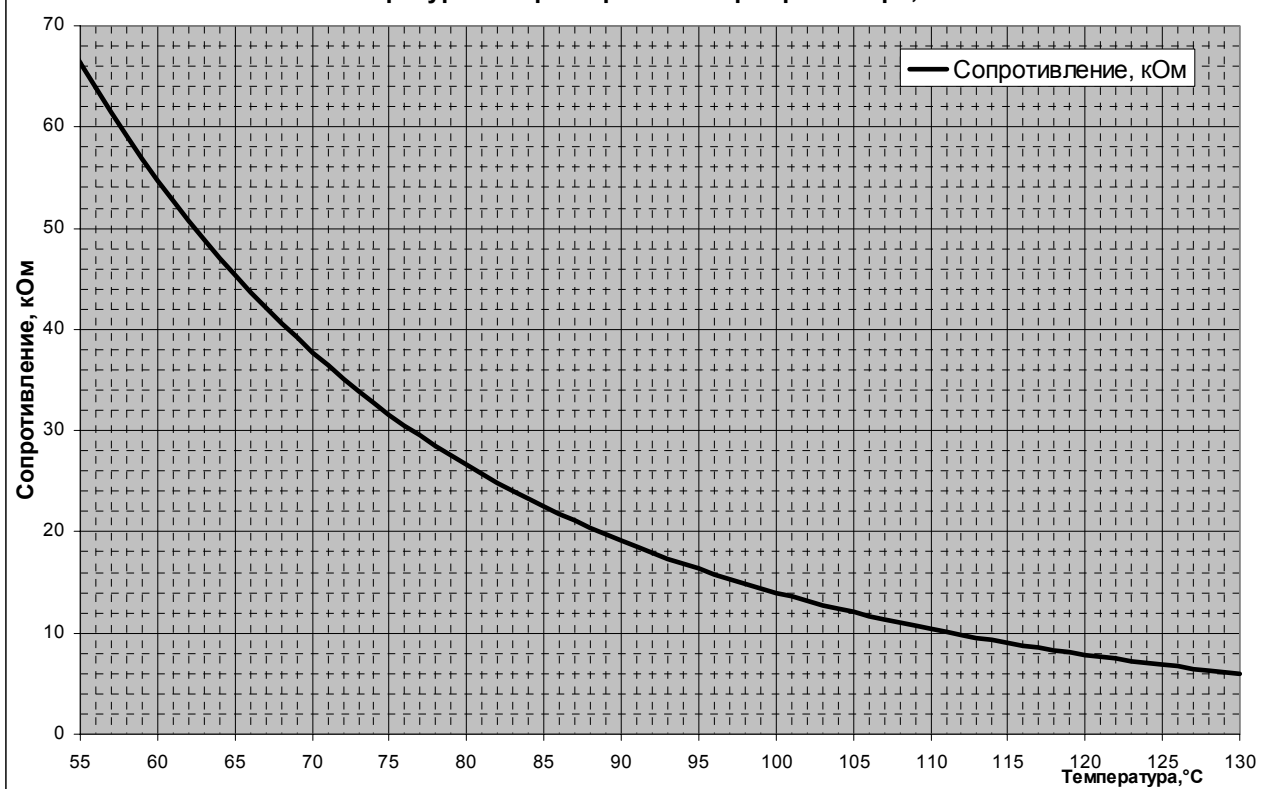
Температурная характеристика терморезистора, кОм



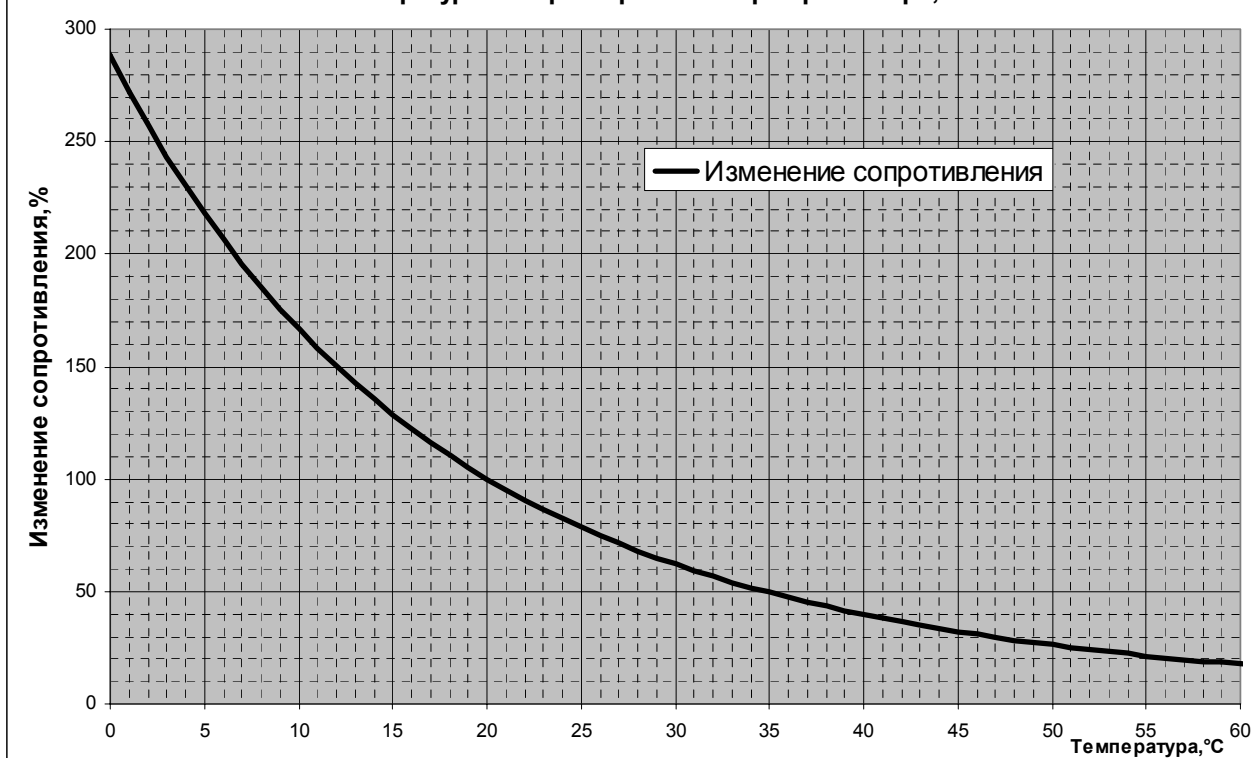
Температурная характеристика терморезистора, кОм



Температурная характеристика терморезистора, кОм



Температурная характеристика терморезистора, %



Зависимость сопротивления терморезистора от температуры

Темпера- тура, °C	Сопротив- ление, Ом	Темпера- тура, °C	Сопротив- ление, Ом	Темпера- тура, °C	Сопротив- ление, Ом	Темпера- тура, °C	Сопротив- ление, Ом
-30	6058080	10	516708.1	50	81063.01	90	19125.38
-29	5640770	11	490201.4	51	77849.50	91	18522.32
-28	5255266	12	465226.2	52	74781.99	92	17941.41
-27	4898925	13	441684.9	53	71853.05	93	17381.75
-26	4569341	14	419486.5	54	69055.70	94	16842.46
-25	4264324	15	398546.4	55	66383.32	95	16322.69
-24	3981876	16	378785.7	56	63829.66	96	15821.65
-23	3720173	17	360131.0	57	61388.82	97	15338.58
-22	3477552	18	342513.8	58	59055.22	98	14872.73
-21	3252494	19	325870.4	59	56823.59	99	14423.43
-20	3043610	20	310141.0	60	54688.94	100	13990.00
-19	2849628	21	295270.2	61	52646.54	101	13571.81
-18	2669388	22	281206.0	62	50691.93	102	13168.25
-17	2501824	23	267900.0	63	48820.88	103	12778.74
-16	2345961	24	255306.9	64	47029.38	104	12402.72
-15	2200904	25	243384.3	65	45313.64	105	12039.67
-14	2065835	26	232092.8	66	43670.06	106	11689.08
-13	1939998	27	221395.1	67	42095.24	107	11350.47
-12	1822704	28	211256.7	68	40585.94	108	11023.36
-11	1713317	29	201645.2	69	39139.12	109	10707.32
-10	1611252	30	192530.1	70	37751.86	110	10401.92
-9	1515972	31	183882.9	71	36421.40	111	10106.75
-8	1426983	32	175677.0	72	35145.14	112	9821.43
-7	1343827	33	167887.4	73	33920.60	113	9545.58
-6	1266087	34	160490.5	74	32745.41	114	9278.84
-5	1193374	35	153464.5	75	31617.33	115	9020.87
-4	1125332	36	146788.5	76	30534.25	116	8771.34
-3	1061630	37	140443.2	77	29494.15	117	8529.94
-2	1001965	38	134410.4	78	28495.09	118	8296.37
-1	946055.7	39	128672.9	79	27535.27	119	8070.34
0	893641.3	40	123214.6	80	26612.94	120	7851.57
1	844482.0	41	118020.5	81	25726.46	121	7639.80
2	798355.2	42	113076.2	82	24874.25	122	7434.76
3	755055.0	43	108368.4	83	24054.82	123	7236.23
4	714390.7	44	103884.4	84	23266.74	124	7043.95
5	676185.5	45	99612.45	85	22508.68	125	6857.71
6	640275.6	46	95541.29	86	21779.32	126	6677.29
7	606509.0	47	91660.42	87	21077.46	127	6502.49
8	574744.6	48	87959.89	88	20401.92	128	6333.10
9	544851.5	49	84430.36	89	19751.58	129	6168.93