

“Разгон” резисторов

В.В. Некрасов

27 апреля 2021 г.

1 Цель

В ГОСТ 24238-84 [6] п. 2.3.4.4. сказано, что резисторы должны выдерживать воздействие импульсной нагрузки. Параметры допустимой импульсной нагрузки должны быть указаны в стандартах или ТУ на резисторы конкретных типов. Однако в этих стандартах и ТУ обычно нормируется допустимая мощность для импульса одной длительности.

Попробуем с помощью термодинамики определить зависимость допустимой мощности от длительности импульса. Недостатком этой оценки является невозможность учесть влияние местных перегревов, вызывающих постепенную деградацию.

2 Уравнение нагревания

Предположим, что резисторы обладают равномерным рассеиванием тепла со всей поверхности и бесконечно большой теплопроводностью.

Также предположим, что вся подводимая мощность превращается в тепло Q . Эта теплота частично аккумулируется в теле резистора, повышая его температуру, частично отдаётся во внешнюю среду.

При аккумулировании мощности за время dt потребляется энергия $Q \cdot dt$. Это приводит к разогреву тела резистора. Величина изменения температуры $d\Theta = \frac{Q \cdot dt}{G \cdot c}$, где G - масса тела, c - его удельная теплоёмкость.

Разность температуры Θ между телом и окружающей средой вызывает теплообмен. Количество теплоты Q , отдаваемое в окружающее пространство за время dt будет $Q \cdot dt = S \cdot \lambda \cdot \Theta \cdot dt$, где S - площадь тела, λ - коэффициент теплопередачи.

Тогда:

$$Q \cdot dt = G \cdot c \cdot d\Theta + S \cdot \lambda \cdot \Theta \cdot dt \quad (1)$$

3 Установившаяся температура и постоянная времени нагревания

Когда пройдёт бесконечное время температура тела достигнет установившегося значения. Тогда $d\Theta = 0$ и $\Theta = \Theta_\infty$. Подставив эти значения в выражение (1). Получим:

$$Q \cdot dt = S \cdot \lambda \cdot \Theta_\infty \cdot dt \quad (2)$$

откуда:

$$\Theta_\infty = \frac{Q}{S \cdot \lambda} \quad (3)$$

разделим обе части выражения (1) на $S \cdot \lambda$.

$$\frac{Q}{S \cdot \lambda} \cdot dt = \frac{G \cdot c}{S \cdot \lambda} \cdot d\Theta + \Theta \cdot dt \quad (4)$$

подставим (3)

$$\Theta_\infty \cdot dt = \frac{G \cdot c}{S \cdot \lambda} \cdot d\Theta + \Theta \cdot dt \quad (5)$$

обозначим

$$T = \frac{G \cdot c}{S \cdot \lambda} \quad (6)$$

и получим

$$\Theta_{\infty} \cdot dt = T \cdot d\Theta + \Theta \cdot dt \quad (7)$$

Величина T имеет размерность времени. Она называется **постоянной времени**.

4 Решение уравнения нагревания

Перепишем уравнение (7) в виде:

$$\frac{dt}{T} = \frac{d\Theta}{\Theta_{\infty} - \Theta} \quad (8)$$

Проинтегрировав по времени получим:

$$\frac{t}{T} = -\log(\Theta_{\infty} - \Theta) + C \quad (9)$$

Постоянная C определяется из начального условия: при $t = 0$ имеем $\Theta = \Theta_0$. Подставив в (9) найдём:

$$C = \log(\Theta_{\infty} - \Theta_0) \quad (10)$$

Подставим это значение C в (9).

$$\log \frac{\Theta_{\infty} - \Theta}{\Theta_{\infty} - \Theta_0} = -\frac{t}{T} \quad (11)$$

Выразим Θ :

$$\Theta_{(t)} = \Theta_{\infty} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + \Theta_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (12)$$

Для упрощения расчётов примем начальную температуру за 0. Тогда Θ и Θ_{∞} будут иметь значения превышения над начальной температурой. Уравнение упрощается:

$$\Theta_{(t)} = \Theta_{\infty} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (13)$$

Это уравнение показывает зависимость температуры от времени при подаче постоянной мощности. Из (3) видно что Θ_{∞} пропорциональна подводимой мощности.

Обозначим допустимую температуру как Θ_{nom} . Перепишем (13) для $\Theta_{\infty} = \Theta_{nom} \cdot q$

$$\Theta_{(t)} = \Theta_{nom} \cdot q \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (14)$$

Но температура не должна превышать Θ_{nom} . Тогда:

$$\Theta_{nom} = \Theta_{nom} \cdot q \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (15)$$

Теперь можем узнать за какое время достигается Θ при $\Theta_{\infty} = \Theta_{nom} \cdot q$.

$$t_{(q)} = -T \cdot \log(1 - \frac{1}{q}) \quad (16)$$

5 Исходные данные

В АЛЯР.434110.005 ТУ-ЛУ [1] резисторов P1-12-0,25 в п. 4.3.6.2 рисунке 2 показано, что предельная температура работы этих резисторов равна 155° . Можно предположить, что при импульсном режимах определённых в п. 4.3.6.5 достигается такая же температура. Тогда допустимый перегрев резистора от максимальной рабочей температуры $155 - 50 = 105^{\circ}$. Т.е. при коэффициенте перегрузке $q = 20$ и длительности импульса в 1000 мкс достигнет предельной температуры.

Из (3) видно, что температура в установившемся режиме Θ_{∞} пропорциональна подводимой мощности. Подставляем эти данные в (13)

$$105 = 105 \cdot 20 \cdot (1 - e^{-\frac{1 \cdot 10^{-3}}{T}}) \quad (17)$$

Получаем значение постоянной времени T резисторов P1-12-0,25 в секундах.

$$T = \frac{1}{\log\left(1 - \frac{1e-3}{20}\right)} = 19,5 \cdot 10^{-3} \quad (18)$$

Теперь можно узнать зависимость допустимой мощности от длительности импульса.



Список литературы

- [1] Резисторы постоянные непроволочные Р1-12. Технические условия АЛЯР.434110.005 ТУ
- [2] Резисторы постоянные непроволочные С2-33. Технические условия ОЖО.467.093 ТУ
- [3] Резисторы постоянные непроволочные С2-36. Технические условия ОЖО.467.089 ТУ
- [4] Резисторы постоянные непроволочные С5-47. Технические условия ОЖО.467.531 ТУ
- [5] Резисторы методы испытания импульсной нагрузкой ГОСТ 21342.14-86
- [6] Резисторы постоянные общие технические условия ГОСТ 24238-84
- [7] Нагревание и охлаждение идеального однородного твердого тела. URL: <https://www.electromechanics.ru/direct-current/591-heating-and-cooling-is-ideal-homogeneous-solid.html>