

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.317.332.3

Л. Ф. КУЛИКОВСКИЙ, Б. М. МАМИКОНЯН  
(Куйбышев)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ С ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕМ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПИТАНИИ

При измерении с помощью термосопротивления (ТС) температуры, меняющейся в узких пределах, выходной сигнал измерительной цепи относительно мал и становится соизмерим с уровнем помехи. В этом случае, как известно, оказывается целесообразным переход на импульсное питание измерительной цепи, что позволяет увеличить в импульсе ток через ТС, а следовательно, отношение полезного сигнала к помехе. Высота и скважность питающих импульсов выбираются [1, 2] обычно из условия равенства средней мощности рассеивания на ТС ее допустимому значению при непрерывном питании. Однако при относительно малой постоянной времени ТС указанное условие становится недостаточным, так как при импульсном питании мгновенные значения температуры ТС могут существенно отличаться от ее среднего значения, что в ряде случаев недопустимо.

При питании ТС прямоугольными импульсами тока электрическая мощность, передаваемая ТС, изменяется по закону

$$p(t) = \begin{cases} P & \text{при } nT \leq t \leq (n + \gamma)T; \\ 0 & \text{при } (n + \gamma)T \leq t \leq (n + 1)T. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $T$  — период следования;  $\frac{1}{\gamma} = Q$  — скважность импульсов;  $P$  — значение мощности в импульсе;  $n=0, 1, 2, 3, \dots$

Уравнение теплового баланса в неустановившемся тепловом процессе ТС имеет вид [3]

$$ks(\theta - \theta_0)dt + mc d\theta = p(t)dt, \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент теплоотдачи;  $s$  — площадь поверхности ТС;  $\theta$  — температура ТС (градиентом температур по объему ТС пренебрегаем);  $\theta_0$  — температура окружающей среды;  $m$  — масса ТС;  $c$  — теплоемкость.

Подставляя в (2) значение  $p(t)$  из (1) и применяя  $z$ -преобразование Лапласа при решении (2) относительно перегрева ТС  $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ , получаем общее уравнение перегрева ТС:

$$\Delta\theta[(n + \epsilon)T] = \frac{\sigma}{\beta} P \left\{ 1 - \left[ 1 - \frac{(e^{\beta\tau} - 1)(1 - e^{-\beta n})}{e^{\beta} - 1} \right] e^{-\beta\epsilon} \right\} \quad \text{при } 0 < \epsilon \leq \gamma, \\ \Delta\theta[(n + \epsilon)T] = \frac{\sigma}{\beta} P \left\{ 1 - \left[ 1 - \frac{(e^{\beta\tau} - 1)(1 - e^{-\beta n})}{e^{\beta} - 1} \right] e^{-\beta\tau} \right\} e^{-\beta(\epsilon - \gamma)} \\ \text{при } \gamma < \epsilon < 1, \quad (3)$$

$$\text{где } \sigma = \frac{T}{mc}; \quad \beta = \frac{Tks}{mc} = \frac{T}{\tau};$$

$\tau$  — температурная постоянная времени ТС;  $\epsilon$  — параметр, изменяющийся в пределах  $0 \leq \epsilon \leq 1$ .

Кривая перегрева приведена на рис. 1. Из уравнений (3), полагая  $n \rightarrow \infty$ , опре-

деляем при  $\epsilon=0$  минимальный (точки 1 на рис. 1) и при  $\epsilon=\gamma$  максимальный (точки 2 на рис. 1) перегрев ТС в установившемся режиме:

$$\Delta \theta_{y \min} = \frac{\sigma}{\beta} P \frac{e^{\beta\gamma} - 1}{e^{\beta} - 1}; \quad (4)$$

$$\Delta \theta_{y \max} = \frac{\sigma}{\beta} P \frac{1 - e^{-\beta\gamma}}{e^{\beta} - 1} e^{\beta}. \quad (5)$$

Из уравнений (4) или (5) при  $\gamma=1$  получаем значение установившегося перегрева ТС при его питании допустимой непрерывной мощностью  $P_0$ :

$$\Delta \theta_{y.н} = \frac{\sigma}{\beta} P_0. \quad (6)$$

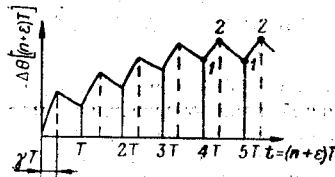


Рис. 1.

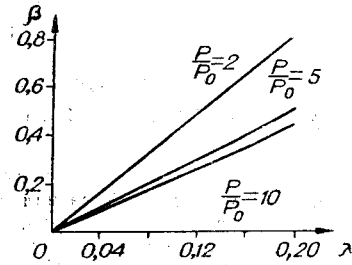


Рис. 2.

Приравняв левые части (5) и (6), определим условие, при котором максимальные значения установившегося перегрева при импульсном питании не будут больше допустимого перегрева при непрерывном питании:

$$P = P_0 \frac{e^{\beta} - 1}{e^{\beta} (1 - e^{-\beta\gamma})}.$$

Однако такое условие, применяемое в [4], может предъявить жесткие требования к параметрам импульсов, особенно при малой постоянной времени ТС, поэтому более приемлемо условие, при котором установившемуся перегреву ТС в непрерывном режиме приравняется средний установившийся перегрев при импульсном питании. Найдем это условие. Учитывая выражения (3) при  $n \rightarrow \infty$ , получаем:

$$\begin{aligned} \Delta \theta_{y.ср} &= \frac{1}{T} \left\{ \int_0^T \frac{\sigma}{\beta} P \left( 1 - \frac{e^{\beta} - e^{\beta\tau}}{e^{\beta} - 1} e^{-\beta\epsilon} \right) d(\epsilon T) + \right. \\ &\quad \left. + \int_{\gamma T}^T \frac{\sigma}{\beta} P \frac{e^{\beta} (e^{\beta\tau} - 1)}{e^{\beta} - 1} e^{-\beta\epsilon} d(\epsilon T) \right\} = \frac{\sigma}{\beta} P \gamma; \end{aligned}$$

отсюда видно, что средний установившийся перегрев ТС не зависит от периода следования импульсов и постоянной времени ТС. Сравнивая полученный результат с (6), видим, что

$$P = \frac{P_0}{\gamma}. \quad (7)$$

Уравнение (7) показывает, что, уменьшая относительную длительность импульсов, можно увеличить значение мощности, передаваемой ТС в импульсе, и от этого средний установившийся перегрев не изменится. Однако, помимо условия (7), необходимо также ограничить величину отклонений мгновенных значений перегрева от среднего значения, т. е. необходимо ограничить величину коэффициента пульсации перегрева. Коэффициент пульсации определим из (4) и (5):

$$\lambda = \frac{\Delta \theta_{y \max} - \Delta \theta_{y \min}}{\Delta \theta_{y \max} + \Delta \theta_{y \min}} = \frac{e^{\beta} - e^{\beta\gamma}}{e^{\beta} + e^{\beta\gamma}}. \quad (8)$$

При изменении  $\gamma$  в пределах  $0 < \gamma < 1$  коэффициент пульсации меняется в пределах  $0 < \lambda < \frac{e^\beta - 1}{e^\beta + 1}$ . Из (8) найдем

$$\gamma = 1 - \frac{1}{\beta} \ln \frac{1 + \lambda}{1 - \lambda}. \quad (9)$$

Подставляя значение  $\gamma$  в (7), получаем выражение для определения величины мощности в импульсе

$$P = P_0 \frac{\beta}{\beta - \ln \frac{1 + \lambda}{1 - \lambda}},$$

из которого определяем

$$\beta = \frac{\frac{P}{P_0} \ln \frac{1 + \lambda}{1 - \lambda}}{\frac{P}{P_0} - 1}. \quad (10)$$

Зависимость  $\beta = f(\lambda)$  при различных  $P/P_0 = \text{const}$  приведена на рис. 2. Кривые показывают, что при заданном коэффициенте пульсации перегрева с увеличением выигрывает мощность в импульсе должно уменьшаться отношение периода следования импульсов к постоянной времени ТС.

Выражение (10) позволяет по заранее заданному значению отношения  $P/P_0$  и допустимому значению коэффициента пульсации перегрева ТС определить максимальное значение периода следования импульсов, если известна постоянная времени ТС.

Рассмотрим пример определения периода и длительности импульсов при заданных значениях:  $\tau = 3$  сек;  $P/P_0 = 5$ . В установившемся режиме величина отклонения температуры перегрева ТС от среднего значения не должна быть больше 10%.

Решение. Пользуясь формулой (10), будем иметь

$$\beta = \frac{5 \ln \frac{1,1}{0,9}}{5 - 1} = 0,25.$$

Следовательно,  $T < 0,25 \cdot 3 = 0,75$  сек; поскольку  $\gamma = P/P_0 = 0,2$ , то длительность импульсов должна выбираться из соотношения  $t_n = \gamma T < 0,2 \cdot 0,75 = 0,15$  сек.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О. Хорна. Тензометрические мосты. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
2. Е. Е. Юдин. Анализ импульсной мостовой схемы.— Автоматика и телемеханика, 1962, № 3.
3. М. А. Бабиков. Электрические аппараты, ч. 1. М.—Л., Госэнергоиздат, 1951.
4. В. Ф. Бахмутский, И. И. Винштейн, С. Е. Сас. О применении импульсного питания мостовых измерительных схем с полупроводниковыми термосопротивлениями в устройствах двухпозиционного регулирования температуры.— Автоматика и телемеханика, 1961, № 2.

Поступило в редакцию  
23 мая 1967 г.,  
окончательный вариант —  
3 июня 1969 г.