

Г. Л. ПОЛИСАР и Л. В. ЛОКТЕВА

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМИСТОРОВ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ

(Представлено академиком А. В. Винтером 23 XI 1950)

В различных областях техники широко применяются нелинейные электрические сопротивления типа термисторов. К этой категории относятся сопротивления, нелинейность которых обусловлена теплом, выделяющимся при прохождении тока. Различные нелинейные сопротивления характеризуются, в первую очередь, своей вольт-амперной характеристикой, которая для значительного числа термисторов может быть представлена аналитическим выражением:

$$U = KI^{\alpha},$$

где  $K$  — коэффициент нелинейности,  $\alpha$  — показатель нелинейности.

Различают термисторы с отрицательным показателем нелинейности (полупроводники) и термисторы с положительным показателем нелинейности. К числу нелинейных элементов с положительным коэффициентом нелинейности относятся также и лампы накаливания с вольфрамовой нитью.

В литературе имеются данные о показателях нелинейности для некоторых типов термисторов <sup>(1)</sup>. Эти данные, характеризуя значительный разброс в величине показателя нелинейности даже для термисторов одной и той же серии, не содержат, однако, указаний о том, какой же показатель нелинейности может быть получен в том или ином случае.

В лаборатории теоретической электротехники ЭНИН АН СССР были исследованы различного рода нелинейные элементы (варисторы и термисторы) с точки зрения возможности применения их в моделях трубопроводных сетей, характеризующихся квадратичной зависимостью между напорами и расходами <sup>(2)</sup>.

Настоящее сообщение содержит некоторые данные, относящиеся к одному из типов исследованных нелинейных сопротивлений, а именно к термисторам с нитью накаливания, обладающим положительными показателями нелинейности. Известны попытки использования вольфрамовой нити накала для создания термисторов с показателем нелинейности  $\alpha = 1,83$  <sup>(3)</sup>.

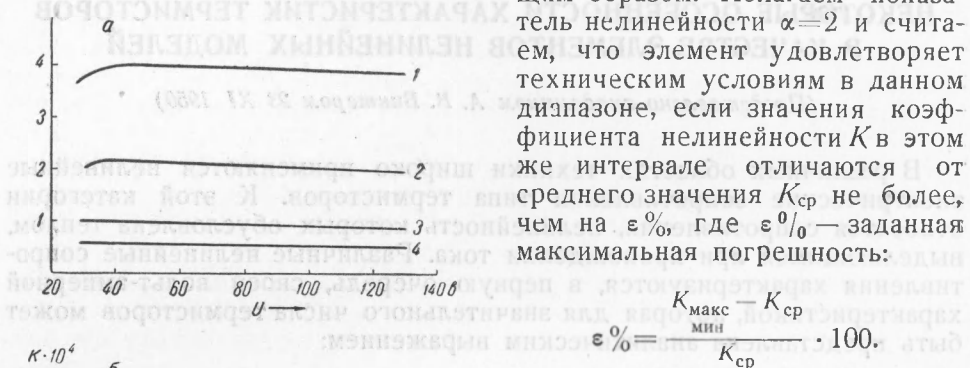
Из числа тугоплавких металлов (вольфрам, молибден, тантал, платина) вольфрамовая нить, помещенная в газонаполненный баллон, дает возможность получить вольт-амперную характеристику термистора, наиболее близкую к квадратичной. Теоретические и эксперименталь-

ные исследования подтвердили возможность создания нелинейных элементов с квадратичной зависимостью между током и напряжением на базе указанных термисторов. В определенных диапазонах приложенных напряжений вольт-амперная характеристика газополных термисторов с нитью накаливания может быть представлена с погрешностью, не превышающей заданную, квадратичной зависимостью:

$$U = KI^2,$$

где  $U$  — приложенное напряжение в вольтах;  $I$  — ток через термистор в миллиамперах;  $K = U/I^2$  в  $\text{ма}^2$  — коэффициент нелинейности термистора.

В этом случае рабочий диапазон термистора, т. е. интервал напряжений, в котором сохраняется квадратичный закон, выбирается следующим образом. Полагая коэффициент нелинейности  $\alpha = 2$  и считая, что элемент удовлетворяет техническим условиям в данном диапазоне, если значения коэффициента нелинейности  $K$  в этом же интервале отличаются от среднего значения  $K_{\text{ср}}$  не более, чем на  $\epsilon\%$ , где  $\epsilon\%$  — заданная максимальная погрешность:



Значительное число газополных термисторов обладает весьма стабильными значениями коэффициента  $K$  в определенных интервалах напряжений. Для иллюстрации на рис. 1, а и б изображены зависимости  $K = f(U)$  в рабочих диапазонах для некоторых серийных элементов с вольфрамовой нитью накала.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что рабочий диапазон испытанных нелинейных элементов начинается с напряжений, равных примерно  $0,3 U_{\text{нсм}}$ .

Если задаться максимальной допустимой погрешностью  $\epsilon \leq 2\%$ , то почти все указанные термисторы обладают квадратичными характеристиками в интервале напряжений от  $0,7 U_{\text{нсм}}$  до  $U_{\text{нсм}}$ . Чем выше номинальная мощность элемента при данном номинальном напряжении, тем шире диапазон с квадратичной зависимостью  $U = KI^2$ . Некоторые данные, характеризующие эти выводы, приведены в табл. 1.

С точки зрения эксплуатации нелинейных элементов большое значение имеет стабильность вольт-амперных характеристик во времени.

Старение элементов с нитью накала может быть охарактеризовано промежутком времени их работы в часах, в течение которого среднее значение коэффициента нелинейности  $K_{\text{ср}}$  в диапазоне квадратичности изменяется не более, чем на заданную величину  $\epsilon_t\%$ . При использовании термисторов как элементов нелинейных моделей возможно

Таблица 1

Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ , в	Номинальная мощность $W_{\text{ном}}$ , вт	Рабочий диапазон напряжений $U$ , в	Средн. значение коэфф. нелинейно- сти в рабочем диа- пазоне $K_{\text{ср}} \cdot 10^4$	Максим. погреш- ность $\varepsilon_{\text{макс}}$ , %
220	200	90 ÷ 210	3,200	1,88
220	200	{ 40 ÷ 90	3,171	1,93
220	150	{ 100 ÷ 210	3,055	1,80
220	75	{ 90 ÷ 210	5,520	1,81
		{ 120 ÷ 200	16,480	1,50
127	200	{ 30 ÷ 70	0,595	1,80
		{ 80 ÷ 120	0,569	1,86
127	150	{ 30 ÷ 70	1,025	1,79
		{ 80 ÷ 130	0,983	1,53
125	100	70 ÷ 110	2,057	1,60
127	55	80 ÷ 120	7,220	1,80
50	50	25 ÷ 60	0,460	1,75
50	25	30 ÷ 55	2,100	0,43
64	15	50 ÷ 65	10,660	1,32
26	25	6 ÷ 26	0,250	1,69
26	10	20 ÷ 28	1,525	1,71
26	5	18 ÷ 24	52,500	1,715

полагать  $\varepsilon_t \% \leq 2\%$ . Некоторые данные, характеризующие старение термисторов, приведены на рис. 2, где показаны кривые  $K_{\text{ср}} = f(t_{\text{час}})$  для двух типов термисторов. Как видно из рис. 2, можно считать, что коэффициент нелинейности  $K_{\text{ср}}$  остается неизменным с заданной погрешностью в течение значительного времени.

При испытании термисторы включались на номинальное напряжение. Понижение испытательного напряжения на 5 ÷ 10% значительно увеличивает срок службы нелинейного элемента. Как показали исследования, даже серийные термисторы могут удовлетворить техническим условиям, предъявляемым к моделям с точки зрения старения. Экспериментально установлено, что границы диапазона квадратичности меняются со временем незначительно.

Для проверки значения коэффициента нелинейности  $K_{\text{ср}}$  достаточно измерить напряжение и силу тока в средней точке диапазона и определить коэффициент нелинейности по формуле

$$K = \frac{U}{I^2} \frac{\text{в}}{\text{ма}^2}.$$

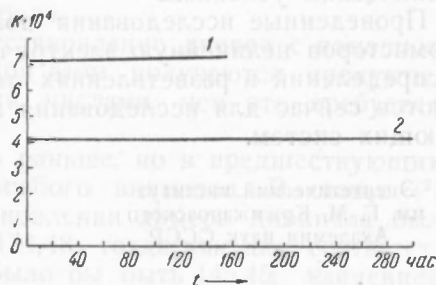


Рис. 2. 1—127 в, 55 вт; 2—127 в, 75 вт

Если с течением времени значение  $K$  отклонится от первоначального более чем, на 2%, то в паспорте данного термистора указывается новое значение  $K_{\text{ср}}$  как номинальное.

Термисторы с различными номинальными значениями напряжения и мощности отличаются между собой значениями коэффициента нелинейности  $K$ . Выпускаемые в настоящее время промышленностью серийные термисторы с нитью накаливания дают возможность получить

квадратичные элементы со значением коэффициента нелинейности  $K_{\text{ср}}$  в пределах, в среднем, от  $0,006 \cdot 10^{-4}$  до  $600 \cdot 10^{-4}$  в/ма<sup>2</sup>.

Комбинированное включение термисторов — параллельное, последовательное и смешанное соединение их — позволяет получить новые значения коэффициентов нелинейности, что еще более расширяет возможности моделирования потокораспределений в нелинейных цепях.

Так, при последовательном включении  $n$  одинаковых термисторов новое значение коэффициента нелинейности выражается следующим образом:

$$K_{\text{эКВ}} = nK_0,$$

где  $K_0$  — коэффициент нелинейности каждого термистора.

Диапазон рабочих напряжений в этом случае изменяется, он соответствует до значения  $nU_{\text{нач}} \div nU_{\text{кон}}$ , где  $U_{\text{нач}}$  и  $U_{\text{кон}}$  — напряжения, соответственно, начала и конца рабочего диапазона одного термистора.

Более эффективен метод изменения коэффициента нелинейности при параллельном включении термисторов. В общем случае коэффициент нелинейности разветвления будет

$$K_{\text{эКВ}} = \frac{K_1}{(1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n)^2},$$

$$\alpha_2 = \sqrt{K_1/K_2}, \dots, \alpha_n = \sqrt{K_1/K_n},$$

$K_1, \dots, K_n$  — коэффициенты нелинейности 1-го, ...,  $n$ -го термисторов.

При этом за рабочий диапазон следует принимать тот интервал напряжений, в котором все параллельно включенные термисторы отвечают техническим условиям.

Проведенные исследования позволили создать на базе серийных термисторов нелинейную электрическую модель для расчета потокораспределений в разветвлениях тепловых сетей. Эти модели применяются сейчас для исследования гидравлических режимов теплоснабжающих систем.

Энергетический институт  
им. Г. М. Кржижановского  
Академии наук СССР

Поступило  
23 XI 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. А. Топчибашев, Автоматика и телемеханика, № 1 (1949). <sup>2</sup> Г. Л. Полисари В. Я. Хасилев, ДАН, 74, № 2 (1950). <sup>3</sup> Т. Р. Сатр, Proc. New England Water Works Association (1943).