

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

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, α — 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 ⁽¹⁾. 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 ⁽²⁾.

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 $\alpha = 1,83$ ⁽³⁾.

Из числа тугоплавких металлов (вольфрам, молибден, tantal, 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 мА^2 — коэффициент нелинейности термистора.

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

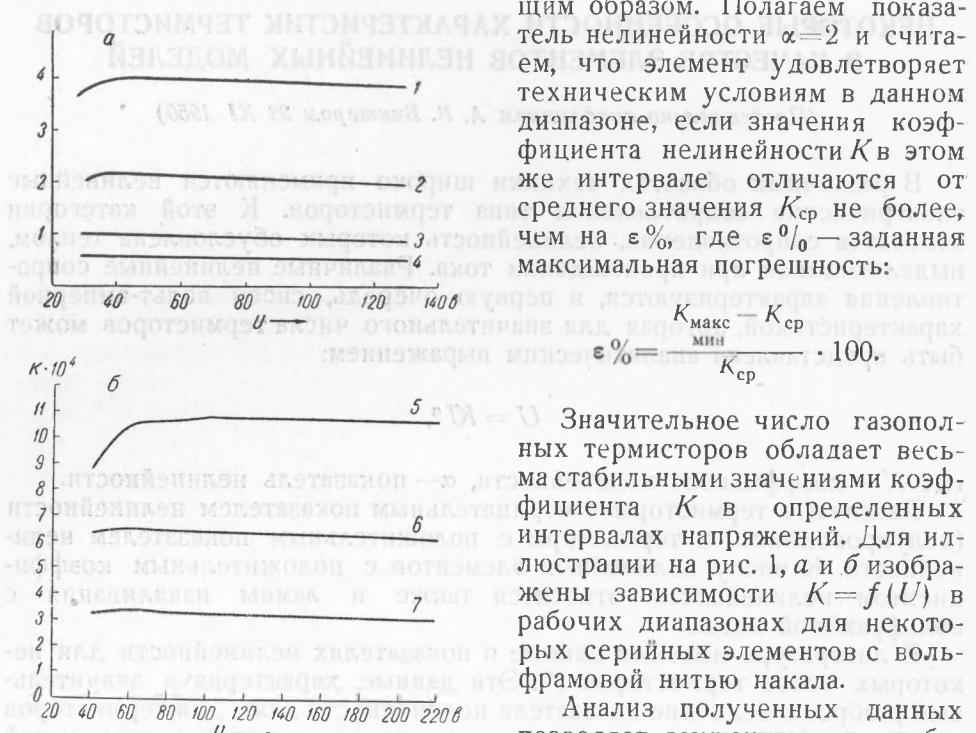


Рис. 1. 1—75 вт, 127 в; 2—100 вт, 125 в; 3—150 вт, 127 в; 4—200 вт, 127 в; 5—100 вт, 230 в; 6—150 вт, 220 в; 7—200 вт, 220 в

Если задаться максимальной допустимой погрешностью $\epsilon \leq 2\%$, то почти все указанные термисторы обладают квадратичными характеристиками в интервале напряжений от $0,7 U_{ном}$ до $U_{ном}$. 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 $K_{ср}$ в диапазоне квадратичности изменяется не более, чем на заданную величину $\epsilon_t\%$. При использовании термисторов как элементов нелинейных моделей возможно

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 $0,3 U_{ном}$.

Таблица 1

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

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

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

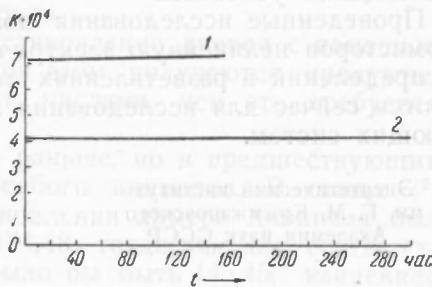


Рис. 2. 1—127 в, 55 вт; 2—127 в, 75 вт

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/м².

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 повышается до значения $nU_{\text{нач}} + nU_{\text{кон}}$, 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

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