

В.И. ФОМИН, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков
Ю.И. МАЦ, студент, НТУ "ХПИ", Харьков

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫВОДОВ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ ПРИ ПРОТЕКАНИИ НОМИНАЛЬНОГО ТОКА ОТ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Analysis of influence of air temperature, cross-sectional area and current conductors length on temperature excess in high-speed fuses are resulted.

В статье приведен анализ влияния таких внешних факторов, как температура окружающего воздуха, сечение выводов предохранителя и длина токоподводящих шин на превышение температуры на выводах быстродействующих предохранителей.

У статі приведений аналіз впливу таких зовнішніх факторів, як температура навколишнього повітря, переріз виводів запобіжника та довжина струмопідвідних шин на перевищування температури на выводах швидкодіючих плавких запобіжників.

Введение. В процессе работы предохранителя по нему протекает, в основном, номинальный ток. Токи перегрузки и короткого замыкания протекают лишь в аварийных режимах. Поэтому расчет тепловых характеристик плавких предохранителей является первостепенным и важным этапом на стадии проектирования.

Распределение температуры по длине плавкого элемента и на выводах предохранителя зависит от многих факторов, таких как: материал плавкого элемента, его геометрические размеры и условия теплопередачи. Нагрев плавкого элемента в номинальном режиме работы характеризуется также существенной неравномерностью источников тепла по его длине, что вызвано наличием узких перешейков, а также зависимостью удельного электрического сопротивления материала от температуры.

В таких случаях, когда градиенты температуры по объему предохранителя невелики, а допустимая температура для материала плавкого элемента значительна, основным фактором, определяющим номинальный режим работы предохранителей, является температура нагрева места присоединения контактного вывода к подводящим проводникам. Максимально допустимое значение этой температуры при номинальном токе оговаривается ГОСТом. Номинальный тепловой режим предохранителя однозначно определяется электрическим сопротивле-

нием предохранителей в нагретом состоянии и соответствующей этому режиму температурой мест присоединения контактных выводов к подводющим проводникам.

Цель работы. Определение превышения температуры на выводах предохранителя в зависимости от таких внешних факторов, как температура окружающего воздуха, сечение выводов предохранителя и длина токоподводящих шин. Для этого воспользуемся методикой, представленной в [1], где токопроводящая система предохранителя (плавкий элемент, выводы и токоподводящие проводники) разбиваются на участки прямоугольной формы и постоянного сечения (рис.1).

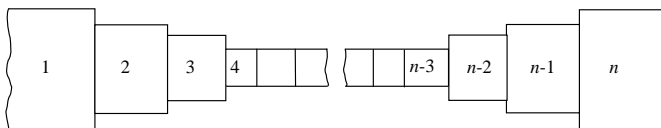


Рис. Эквивалентная схема токоведущей системы предохранителя:

- 1 и n – внешние проводники, присоединяемые к предохранителю;
- 2 и $n - 1$ – выводы предохранителя;
- 3 и $n - 2$ – нерабочие части плавкого элемента (конструктивно необходимые);
- 4, ..., $n - 3$ – рабочие части плавкого элемента (модули переменного сечения).

Рабочая часть плавкого элемента разбивается на участки, каждый из которых представляет собой модуль плавкого элемента, причем в пределах каждого участка сечение и периметр одинаковы и равны эквивалентным значениям сечения и периметра модуля плавкого элемента:

$$S_M = \frac{\rho l_M}{R_M}; P_M = \frac{2S_M}{\delta} + 2\delta,$$

где S_M – эквивалентное сечение модуля; l_M – длина модуля; R_M – сопротивление модуля; ρ – удельное электрическое сопротивление; R_M – эквивалентное значение периметра модуля; δ – толщина плавкого элемента.

Для определения сопротивления модуля плавкого элемента R_M , имеющего произвольную (известную) форму перехода от перешейка к широкой части с учетом стягивания линий тока, воспользуемся результатами, приведенными в [1].

Для расчета тепловых характеристик плавких предохранителей необходимо знать коэффициент теплоотдачи с поверхности плавкого элемента и подводящих проводников. Коэффициент теплоотдачи представляет собой весьма сложную функцию большого числа параметров, оказывающих существенное влияние на процесс теплообмена. К этим параметрам следует отнести температуру поверхности и гео-

метрическую форму плавкого элемента, геометрические и теплофизические параметры кварцевого наполнителя, электрофарфорового корпуса, асбестовых прокладок, металлических крышек, токоподводящих контактов и шин, температуру окружающей среды и др.

С некоторым приближением, достаточным для инженерных расчетов, можно пользоваться значениями коэффициентов теплоотдачи, полученных экспериментальным путем. Коэффициент теплоотдачи K_t для плавкого элемента, находящегося внутри корпуса в кварцевом наполнителе, выбирается в пределах $(0,5-1,0) \cdot 10^{-3}$ Вт/(см²·°C), а для токоподводящих контактов и шин, находящихся в воздухе в пределах $(1-1,5)10^{-3}$ Вт/(см²·°C).

Высокое быстродействие предохранителей достигается повышением плотности тока в перешейках плавких элементов, что вызывает сильный нагрев предохранителя. Поэтому такие внешние факторы, как температура окружающего воздуха, сечение и длина токоподводящих шин, оказывают большое влияние на все характеристики предохранителя.

Для оценки влияния температуры воздуха используются различные эмпирические формулы и зависимости. В среднем можно считать, что при повышении температуры воздуха на 1°С номинальное значение тока необходимо снижать на 0,5-0,7 % [2]. Принудительное воздушное охлаждение предохранителей при скорости потока 2-10 м/с позволяет повысить номинальный ток предохранителя до 20-50 %, а водяное охлаждение до 50%.

Исследовались быстродействующие плавкие предохранители на номинальный ток 630 А и номинальные напряжения 380 В и 660 В.

Плавкие элементы имели следующие параметры: материал плавкого элемента – серебро; толщина плавкого элемента $\delta = 0,01$ см; ширина перешейка (узкой части) – 0,015 см; диаметр отверстия, которыми образуются перешейки – 0,15 см;

$$\text{для } U_n = 380 \text{ В} \quad n = 2; \quad m = 56; \quad l_M = 1 \text{ см};$$

$$\text{для } U_n = 660 \text{ В} \quad n = 4; \quad m = 72; \quad l_M = 0,5 \text{ см},$$

где n – число последовательных перешейков (рядов отверстий); m – число параллельных перешейков (определяющих сечение плавкого элемента).

Обычно около 70% выделяемого в предохранителе тепла отводится через выводы предохранителя и токоведущие шины. Поэтому увеличение их сечения может обеспечить увеличение номинального тока.

Производился расчет превышения температуры на выводах предохранителя в зависимости от сечения выводов предохранителя по методике, представленной в [1].

Выводы предохранителя $l_b = 5$ см; подводящие шины $l_{ш} = 150$ см; се-

чение $S_{ш} = 5 \text{ см}^2$; температура окружающей среды – 40° .

Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Превышение температуры на выводах предохранителя в зависимости от сечения выводов

$U_{ш}, \text{ В}$	n	m	$S_B = 1,5 \text{ см}^2$	$S_B = 2,0 \text{ см}^2$	$S_B = 2,5 \text{ см}^2$	$S_B = 3,0 \text{ см}^2$	$S_B = 3,5 \text{ см}^2$	$S_B = 4,0 \text{ см}^2$
380	2	56	93,71	90,71	88,97	87,84	87,05	86,46
660	4	72	94,69	91,65	89,90	88,76	87,96	87,37

Длина токоподводящих шин определяет размеры теплоотводящей поверхности и также влияет на нагрев предохранителя.

Производился расчет превышения температуры на выводах предохранителя в зависимости от длины токоподводящих шин.

Выводы предохранителя $l_B = 5 \text{ см}$; $S_B = 2,6 \text{ см}^2$; сечение подводящих шин $S_{ш} = 5 \text{ см}^2$; температура окружающей среды – 40° .

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Превышение температуры на выводах предохранителя в зависимости от длины токоподводящих шин

$U_{ш}, \text{ В}$	n	m	$l_{ш} = 50 \text{ см}$	$l_{ш} = 100 \text{ см}$	$l_{ш} = 150 \text{ см}$	$l_{ш} = 200 \text{ см}$	$l_{ш} = 250 \text{ см}$	$l_{ш} = 300 \text{ см}$
380	2	56	103,91	89,81	88,71	88,62	88,61	88,61
660	4	72	105,04	90,75	89,64	89,54	89,53	89,53

Выводы. Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Увеличение сечения выводов предохранителя с $1,5 \text{ см}^2$ до 4 см^2 снижает превышение температуры выводов предохранителя на 7°C , причем основное снижение наблюдается при $S_B = (1,5-2,5) \text{ см}^2$. Следовательно, дальнейшее увеличение сечения неэффективно.

Увеличение длины шин с 50 до 300 см снижает превышение температуры на $15,5^\circ \text{C}$, причем основное снижение наблюдается при $l_{ш} = (50 - 150) \text{ см}$. Поэтому дальнейшее увеличение длин шин также неэффективно.

Список литературы: 1. *Фомин В.И.* Определение тепловых и коммутационных характеристик быстродействующих предохранителей на стадии проектирования: Дис. канд. техн. наук – Харьков, 1983. – 240 с. 2. *Намитков К.К.* и др. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.

*Поступила в редколлегию 23.04.2012
Рецензент д.т.н., проф. Лупиков В.С.*