

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ ВЕТВИ ПЛАВКОГО ЭЛЕМЕНТА НА ЗАЩИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Фомин В.И., к.т.н., доц.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", кафедра "Электрические аппараты"
тел. (057) 707-62-81

У статті проведено розрахунок перерізу плавкого елемента для різної геометрії плавкого елемента, розрахунок основних захисних характеристик при відключенні струмів короткого замикання і вплив на їх ширини вітки плавкого елемента.

В статті проведено расчёт сечения плавкого элемента для различной геометрии плавкого элемента, расчёт основных защитных при отключении токов короткого замыкания и влияния на них ширины ветви плавкого элемента.

В современных быстродействующих предохранителях плавкие элементы разбиваются на параллельные ветви, содержащие несколько (в зависимости от номинального напряжения) последовательно расположенных суженных участков-перешейков.

Известно, что геометрия плавкого элемента является важнейшим фактором, определяющим все основные характеристики предохранителя. В общем случае, изменение конфигурации и размеров плавкого элемента приводит к изменению его электрического и теплового сопротивлений. От их величины зависит тепловой режим предохранителя, причем не только при протекании номинального тока, а и при отключении токов короткого замыкания. Поэтому выбор конфигурации и размеров плавкого элемента является весьма важной задачей при проектировании быстродействующих плавких предохранителей.

Обзор литературы по данному вопросу показал, что имеется мало данных по влиянию геометрических размеров плавкого элемента, в частности ширины ветви, на защитные характеристики быстродействующих плавких предохранителей.

Исследовались быстродействующие плавкие предохранители на номинальный ток 630 А, номинальное напряжение 660В.

Плавкий элемент имеет следующие параметры:

материал плавкого элемента - серебро;

δ - толщина плавкого элемента, 0,01 см;

b_0 - ширина перешейка, 0,02 см;

n - число последовательных перешейков - 4;

l - расстояние между соседними последовательными перешейками, 1см.

Ширина ветви B определяется из соотношения:

$$B = \varnothing + b_0,$$

где \varnothing - диаметр отверстия, которыми образуются параллельные перешейки. В своих исследованиях автор выбрал следующие диаметры отверстий (рис.1):

1- $\varnothing=0,1$ см; 2- $\varnothing=0,2$ см; 3- $\varnothing=0,3$ см; 4- $\varnothing=0,4$ см.

Ширина перешейка b_0 оставалась постоянной.

Тогда параллельные ветви имели следующие размеры (рис.1):

$B_1=0,12$ см; $B_2=0,22$ см; $B_3=0,32$ см; $B_4=0,42$ см.

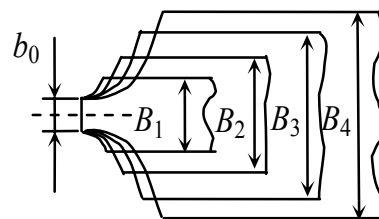


Рис.1

Одним из факторов существенно влияющих на характеристики плавких предохранителей, является отношение поперечного сечения широкой части плавкого элемента к поперечному сечению узкого перешейка $a=B/b_0$

Тогда $a_1=6$; $a_2=12$; $a_3=16$; $a_4=21$ и длины всех плавких элементов были одинаковыми.

По методике, представленной в [1] были проведены расчеты числа параллельных ветвей (сечения плавкого элемента), исходя из заданного превышения температуры 90°C на выводах предохранителя. Для расчета сечения плавкого элемента необходимо знать сопротивление модуля плавкого элемента с учетом неравномерного распределения плотности тока по его сечению. Это связано с тем, что плавкий элемент имеет узкие перешейки и широкие части, которые значительно отличаются размерами. Кроме того, современные быстродействующие предохранители имеют близко расположенные последовательные перешейки, вследствие чего области стягивания их перекрывают друг друга и участки с параллельным расположением трубок тока практически отсутствуют.

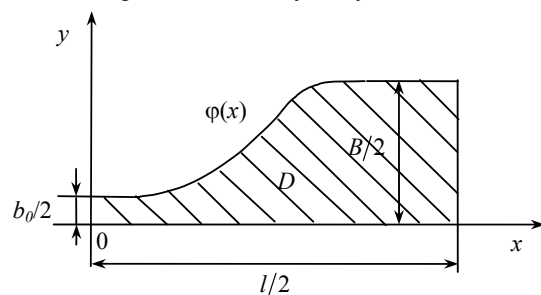


Рис.2

Для определения сопротивления модуля плавкого элемента, имеющего произвольную (известную) форму перехода от перешейка к широкой части (рис.2), воспользуемся результатами, приведенными в [1]

$$R = \frac{\rho}{\delta} \cdot \sum_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} \int \Psi_2(x) \cdot dx$$

где i – номер узла координатной сетки, $i = 2, 4, 6, \dots, N$.

Для вычисления интегралов, входящих в представленную формулу, воспользуемся формулой прямоугольников с использованием средних ординат

$$R = \frac{2 \cdot h \cdot \rho}{\delta} \cdot \sum \Psi_{2i},$$

$$i = 2, 4, 6, \dots, N; \quad h = \frac{l}{2 \cdot N}; \quad x_i = (i-1) \cdot h,$$

$$\text{где } \Psi_{2i} = \Psi_2(x_i) = \frac{1}{\varphi_i} + \frac{1}{3} \cdot \varphi_i^3 \cdot (f_i^2 + \Psi_{1i}^2) - 0,5 \cdot \varphi_i^4 \cdot f_i' \cdot \Psi_{1i} + 0,2 \cdot \varphi_i^5 \cdot f_i'^2;$$

$$\Psi_{1i} = \left(f_i - \frac{1}{\varphi_i^2} \right) \cdot \varphi_i' + \varphi_i \cdot f_i'; \quad f_i' = \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2 \cdot h}.$$

Функция $\varphi(x)$, определяющая форму перехода от узкого перешейка к широкой части плавкого элемента, должна быть, как следует из предыдущего, достаточно гладкой, дважды дифференцируемой. В качестве указанной функции можно взять функцию

$$\begin{aligned} \varphi(x) &= A - C \cdot \exp(-\alpha \cdot x^\beta); \\ \varphi'(x) &= C \cdot \alpha \cdot x^{\beta-1} \cdot \exp(-\alpha \cdot x^\beta); \quad \varphi'(0) = 0; \\ \varphi''(x) &= C \cdot \alpha \cdot \beta \cdot [(\beta-1) \cdot x^{\beta-2} \cdot \exp(-\alpha \cdot x^\beta) + x^{\beta-1} \cdot (-\alpha \cdot \beta \cdot x^{\beta-1}) \cdot \exp(-\alpha \cdot x^\beta)]. \end{aligned}$$

Из приведенных результатов расчета следует, что с увеличением ширины ветви плавкого элемента B (увеличением a) время до образования электрической дуги, интеграл плавления, максимальный пропускательный ток предохранителя и джоулев интеграл отключения уменьшаются. Это объясняется тем, что для предохранителя с меньшим a получается большее суммарное сечение перешейков плавкого элемента и соответственно больший ток, при котором происходит их расплавление, поэтому получаются большие значения и интегралов горения дуги, а следовательно, и полного джоулевого интеграла отключения. С увеличением же a суммарное сечение перешейков уменьшается, и это обуславливает уменьшение тока плавления и интеграла плавления. Эти факторы способствуют снижению интеграла дуги.

Для ограничения второй производной в области ($0 \leq x \leq l/2$) следует принять $\beta \geq 2$. В частности при $\beta=2$ $\varphi''(0) = C \cdot \alpha \cdot \beta$. Если $\beta > 2$, например 3, то $\varphi'(0) = 0$; $\varphi''(0) = 2 \cdot C \cdot \alpha \cdot \beta$.

Из геометрических соотношений (рис.2) $\varphi(0) = b_0/2$; $\varphi(l/2) = B/2$ можно определить значение параметров A и C

$$b_0/2 = A - C; \quad A = B/2; \quad C = B/2 - b_0/2.$$

$$\text{Тогда } \varphi(x) = \frac{B}{2} \cdot (B/2 - b_0/2) \cdot \exp(-\alpha \cdot x^\beta)$$

Так как B были различными, то плавкий элемент на номинальный ток 630 А имел различное число параллельных ветвей m : $m_1=75$; $m_2=51$; $m_3=42$; $m_4=37$.

Таким образом, плавкий элемент с наибольшей шириной ветви имел наименьшее число параллельных перешейков, т.е. суммарное сечение было наименьшим.

Далее по методике, изложенной в [1] были произведены расчеты защитных характеристик быстродействующих предохранителей с различными плавкими элементами по рис.1 при следующих параметрах контурах короткого замыкания переменного тока частотой 50 Гц.

$$I_{к.з.} = 10 \text{ кА}; \quad U_c = 730 \text{ В}; \quad \cos \varphi = 0,3; \quad \psi = 0$$

$$I_{к.з.} = 100 \text{ кА}; \quad U_c = 730 \text{ В}; \quad \cos \varphi = 0,1; \quad \psi = 1,5.$$

где $I_{к.з.}$ - эффективное значение тока короткого замыкания, кА; $t_{пл}$ - время до образования электрической дуги, мс; I_M - максимальный пропускательный ток предохранителя (ток ограничения), кА; $\int_{пл}$ - интеграл плавления, $A^2 \cdot c$; $t_{откл}$ - полное время отключения цепи, мс; $\int_{откл}$ - интеграл отключения, $A^2 \cdot c$; B_Σ - ширина плавкого элемента, см; M - масса серебра, идущая на изготовление плавкого элемента, Г.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица

B	a	m	$I_{к.з.}$	$t_{пл}$	I_M	$\int_{пл} \cdot 10^{-3}$	$t_{откл}$	$\int_{откл} \cdot 10^{-3}$	B_Σ	M
0,12	6	75	10	4,92	13,6	177	8,9	617	9,0	5,2
			100	0,66	33,7	187	2,1	1083		
0,22	12	51	10	4,11	10,4	82,5	8,4	367	11,22	6,48
			100	0,51	22,5	86	2,1	594		
0,32	16	42	10	3,77	8,5	56,4	8,2	266	13,44	7,76
			100	0,45	19,8	60	2,3	383		
0,42	21	37	10	3,56	7,5	44	8,1	200	15,54	8,98
			100	0,42	18,7	49	2,4	252		

Однако с увеличением a увеличивается ширина плавкого элемента, что может привести к увеличению габаритов предохранителя. Увеличивается также масса серебра, идущего на изготовление плавкого элемента.

Представленные в статье результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, приведенными в [2].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Фомин В.И. Определение тепловых и коммутационных характеристик быстродействующих предохранителей на стадии проектирования. - Дис. канд.техн.наук.- Харьков, 1983, 204 с.
- [2] Намитокон К.К., Хмельницкий Р.С., Анисеева К.Н. Плавкие предохранители. -М.: Энергия, 1979, 176 с.

Поступила 22.03.2005