

ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕШЕЙКОВ НА ЗАЩИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ПЛАВКИХ 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, e-mail: fvi@kpi.kharkov.ua

У статті проведено аналіз впливу кількості послідовних перешійків плавкого елемента, зробленого з срібла, на захисні характеристики швидкодіючих плавких запобіжників.

В статтє проведено аналіз впливання числа послідовальних перешейков плавкого елемента, выполненного из серебра, на защитные характеристики быстродействующих плавких предохранителей.

В настоящее время для защиты электроприводов, управляемых силовыми полупроводниковыми преобразователями, используются автоматические воздушные выключатели и плавкие предохранители. Быстродействующие предохранители предназначены только для защиты от внутренних коротких замыканий. Сложность процессов аварийных режимов, имеющая место в преобразователях приводов (пробой полупроводникового прибора, опрокидывание инвертора и т.п.), связанная с большим числом факторов, определяющих их характер (начальная фаза внутреннего короткого замыкания, параметры короткозамкнутого контура и т.п.) не дает возможности полного экспериментального исследования оптимальных способов защиты на опытных образцах преобразователей.

Более рациональным для этого является исследование аварийных режимов и изучение оптимальных способов защиты на математических моделях с помощью ЭВМ.

Известно, что параметры плавкого элемента являются важнейшими факторами, определяющими основные характеристики быстродействующих плавких предохранителей. От их величины зависит работа преобразователя в номинальном режиме и защитные характеристики при отключении токов короткого замыкания.

Целью данной работы является исследование влияния числа последовательных перешейков на защитные характеристики быстродействующих плавких предохранителей, а следовательно и на работу полупроводниковых преобразователей в режиме короткого замыкания.

Испытания плавких предохранителей показали [1], что при относительно больших токах короткого замыкания все последовательные узкие перешейки равного поперечного сечения расплавились одновременно. При одних и тех же параметрах цепи и при одном и том же токе, при котором происходит расплавление узкого перешейка, длительность горения дуги с одним последовательным перешейком больше, чем в случае нескольких последовательно соединенных перешейков и приводит к значительному уменьшению интегралов тока дуги. Это является причиной более высоких значений dl/dt и dU_d/dt , поэтому дуга гасится более эффективно.

Однако плавкий элемент с большим числом последовательных перешейков n имеет недостаток: увеличивается его сопротивление, что приводит к необходимости увеличения сечения плавкого элемента (числа параллельных перешейков m) чтобы иметь на выводах плавкого предохранителя одинаковое пре-

вышение температуры при протекании одного и того же номинального тока I_n . Как результат увеличивается преддуговое время, что может отрицательно сказаться на защитных характеристиках. Кроме того, число последовательных перешейков n увеличивает напряжение на предохранителе и достижение которого сверх допустимого значения может привести к внутреннему короткому замыканию в преобразователе. Поэтому существует оптимальное n для данного предохранителя при определенном номинальном напряжении U_n . В литературных источниках приводятся противоречивые рекомендации по выбору напряжения на один последовательный перешеек.

Как правило, все фирмы выпускают быстродействующие предохранители, плавкие элементы которых изготавливаются из серебра Sr. 999. Большинство всех применяемых форм перешейков можно получить из формы трапеции и круглого выреза. Исследованию подвергались плавкие элементы с перешейками, образованными круглыми вырезами.

Исследовались быстродействующие плавкие предохранители на номинальный ток 630 А, номинальное напряжение 660 В. Плавкие элементы имели следующие параметры:

δ – толщина плавкого элемента 0,01 см; b_0 – ширина перешейка 0,015 см; \varnothing – диаметр отверстия выреза перешейка 0,15 см; B – ширина ветви 0,165 см; l – длина плавкого элемента 4,2 см; n – число последовательных перешейков 2; 3; 4; 5 и 6.

На рис. 1 представлена ветвь плавкого элемента с $n = 3$.

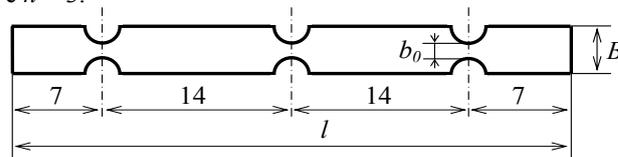


Рис. 1

По методике, представленной в [2], были проведены расчеты числа параллельных ветвей m для всех плавких элементов с различными n (сечения плавких элементов), исходя из заданного превышения температуры 90°C на выводах предохранителя. Для этого токоведущая система предохранителя (плавкий элемент, выводы и токоподводящие проводники) разбивается на ряд участков прямоугольной формы и постоянного сечения (рис. 2). 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.

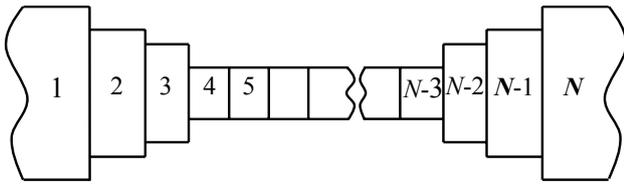


Рис. 2

- 1 и N – внешние проводники, подсоединяемые к предохранителю;
 2 и N-1 – выводы предохранителя;
 3 и N-2 – нерабочие части плавкого элемента;
 4, 5, ... и N-3 – рабочие части плавкого элемента (модули переменной ширины) число которых зависит от числа последовательных перешейков n.

Для определения эквивалентных значений периметра и сечения модулей рабочей части плавкого элемента была использована методика, представленная в [2].

Результаты числа параллельных перешейков m для плавких элементов с различным числом последовательных перешейков n представлены в табл. 1.

Дуговой процесс в кварцевом наполнителе отличается от процесса горения дуги в других средах. В дисперсной среде дуговой столб расширяется, проникая через поры в пространственной решетке, образованной частицами дисперсного вещества. В такой решетке или "скелете" рекомбинация ионов значительно ускоряется.

Если патрон предохранителя осторожно, без заметных вибраций заполнить кварцевым песком, то объемная плотность такого заполнения приблизительно равна 1,4 г/см³. Дальнейшее уплотнение можно достичь при помощи вибраций или непосредственного механического нажима. При этом объемная плотность асимптотически приближается к пределу, который называется "нормальным уплотнением". Численное значение объемной плотности при нормальном уплотнении зависит от размера зерна. Для фракций песка со средним диаметром зерна в пределах 0,2-1,0 мм это значение равно 1,6±0,05 г/см³.

Натурные испытания быстродействующих плавких предохранителей при различных параметрах контура короткого замыкания на переменном токе частотой 50 Гц были заменены расчетами на ЭВМ.

Расчет процесса коммутации тока короткого замыкания проводился по методике, представленной в [2]. Параметры контура короткого замыкания были следующими:

- а) $I_{к.з.} = 10 \text{ кА}; U_c = 730 \text{ В}; \cos \varphi = 0,2; \psi = 1,0;$
 б) $I_{к.з.} = 100 \text{ кА}; U_c = 730 \text{ В}; \cos \varphi = 0,1; \psi = 1,5,$

где $I_{к.з.}$ - действующее значение тока к.з.; U_c - действующее значение напряжения источника питания; $\cos \varphi$ - коэффициент мощности контура; ψ - начальная фаза включения.

Ниже приведены результаты проведенных испытаний.

Таблица 1

n	m	$I_{к.з.}$	$t_{пл}$	$\int_{пл} \cdot 10^{-3}$	$I_{пл}$	$I_{огр}$	$t_{откл}$	$\int_{д} \cdot 10^{-3}$	$\int_{откл} \cdot 10^{-3}$	U_{max}	$\int_{к.э.д}$	$l_{выг}$	B_{Σ}	M
2	54	10	2,13	52,65	8,63	12,11	6,58	400	453	1729	0,728	1,010	8,91	5,17
		100	0,44	55,90	19,49	32,59	2,15	930	986	1995	0,662	0,827		
3	61	10	2,30	66,33	9,30	11,76	6,54	369	435	1714	0,604	0,680	10,06	5,83
		100	0,48	72,50	21,24	29,93	2,16	819	891	1880	0,548	0,559		
4	68	10	2,48	83,08	9,99	11,60	6,58	353	436	1674	0,520	0,501	11,22	6,51
		100	0,51	86,90	22,56	27,76	2,19	749	836	1772	0,473	0,416		
5	76	10	2,67	103,43	10,70	11,60	6,64	347	450	1614	0,454	0,386	12,54	7,23
		100	0,55	108,87	24,30	25,59	2,25	711	820	1671	0,415	0,325		
6	84	10	2,86	126,62	11,39	11,83	6,79	344	470	1558	0,403	0,308	13,86	8,04
		100	0,59	134,23	26,05	26,62	2,31	682	816	1585	0,368	0,263		

n – число последовательных перешейков; m – число параллельных перешейков; $I_{к.з.}$ – эффективное значение тока короткого замыкания, кА; $t_{пл}$ – время протекания тока к.з. до образования электрической дуги, мс; $\int_{пл}$ – джоулев интеграл плавления (преддуговой), А²·с; $I_{пл}$ – ток в цепи на момент образования электрической дуги, кА; $I_{огр}$ – максимальный пропускаемый ток (ток ограничения), кА; $t_{откл}$ – полное время отключения цепи от момента начала к.з., мс; $\int_{д}$ – дуговой джоулев интеграл, А²·с; $\int_{откл}$ – полный джоулев интеграл отключения, А²·с; U_{max} – максимальное напряжение на предохранителе, В; $\int_{к.э.д}$ – количество электричества i-t, протекающее по единичной дуге за время ее горения, А·с; $l_{выг}$ – длина выгорания, см; B_{Σ} – ширина плавкого элемента, см; M – масса серебра, идущего на изготовление плавкого элемента, г.

Из проведенных расчетов можно сделать следующие выводы. С увеличением числа последовательных перешейков увеличивается преддуговое время, ток плавления и интеграл плавления. Это объясняется тем, что предохранители с большим n имеют большее суммарное сечение перешейков.

Увеличивается также ширина плавкого элемента,

а следовательно, и масса серебра, идущего на его изготовление. Увеличивается суммарная эрозия плавкого элемента под воздействием электрической дуги, что является причиной более высоких значений dl/dt и $dU_{д}/dt$. Практически не изменяется полное время отключения.

Дуговой интеграл и полный джоулев интеграл отключения имеют явный минимум при определенном значении n. Максимальное напряжение на предохранителе уменьшается. Отсюда следует вывод, что для предохранителя на определенное значение номинального напряжения U_n существует оптимальное значение числа последовательных перешейков, для которых основные защитные характеристики будут наилучшими.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пастор Ю.А. Теплообмен и гашение электрической дуги в плавких предохранителях с дисперсным и жидкостным наполнителем. – Дис. канд. техн. наук. – Рига, 1977. – 205 с.
 [2] Фомин В.И. Определение тепловых и коммутационных характеристик быстродействующих предохранителей на стадии проектирования. – Дис. канд. техн. наук. – Харьков, 1983. – 204 с.

Поступила 4.01.2006