

*Ю.С. ГРИЩУК*, канд. техн. наук, проф.,  
*Ю.Н. МЕЛЕЖИК*, магистр

## **О ПРИМЕНЕНИИ МАТЕРИАЛОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ В ПЛАВКИХ ЭЛЕМЕНТАХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ**

Викладено результати огляду й аналізу конструкцій запобіжників з пам'яттю форми й математичних моделей горіння дуги у швидкодіючих запобіжниках. Обґрунтовано необхідність проведення багатфакторних комутаційних досліджень запобіжників з пам'яттю форми і побудови їхніх математичних моделей.

Изложены результаты обзора и анализа конструкций предохранителей с памятью формы и математических моделей горения дуги в быстродействующих предохранителях. Обоснована необходимость проведения многофакторных коммутационных исследований предохранителей с памятью формы и построения их математических моделей.

**Введение.** В настоящее время плавкие предохранители являются одним из наиболее простых и широко применяемых для этих целей аппаратов. Интенсивное проведение разработок и рост производства быстродействующих предохранителей (БП) вызвано широким применением силовой полупроводниковой преобразовательной техники, вследствие чего возникла необходимость защиты полупроводниковых вентилях от токов короткого замыкания. В ряде этих и других электротехнических устройств быстродействующие предохранители являются основной или даже единственной токовой защитой.

Анализ конструкций БП и их защитных характеристик [1-4] показывает, что, в связи с возросшими к ним требованиями, их технико-экономические характеристики и быстродействие требуют повышения.

Для разработки предохранителей с улучшенными технико-экономическими характеристиками требуется поиск новых технических решений и разработка методик их расчета.

**Целью данной статьи** является проведение обзора и анализа конструкций предохранителей с памятью формы (ППФ) и определение возможности использования плавких элементов с памятью формы (ПЭПФ) и существующих математических моделей горения дуги в БП для расчета их конструктивных параметров и защитных характеристик.

Для решения поставленной задачи были рассмотрены предохранители с плавкими элементами, обладающими памятью формы, приведенные в [5-11].

На рис. 1 представлен плавкий предохранитель, состоящий из корпуса 1, выполненный разъемным по длине из двух частей (половин), коаксиально установленных с возможностью осевого перемещения (скользящая посадка), выполненных из диэлектрического материала (стекло, оргстекло), преимущественно из полимерного материала, токопровода 2 с буртом 3 на торце и токопровода 4, закрепленных жестко на концах корпуса 1. Токоподводы внутри корпуса жестко соединены с плавким элементом 5, выполненным из материала обладающего эффектом “памяти формы”, например из никелида титана. Место разъема корпуса снаружи снабжено (установленным с натягом) фиксирующим элементом 6 в виде кольца преимущественно из резины.

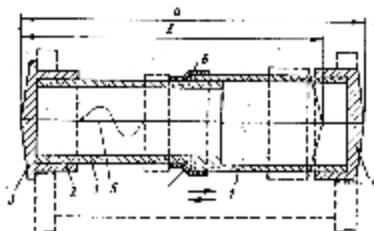


Рис. 1. Схема предохранителя с плавким элементом, выполненным из материала обладающего эффектом “памяти формы”

Предохранитель работает следующим образом. В момент перегрузки в электроцепи элемент 5, соединяющий токоподводы 2 и 4, меняет первоначальную форму (сгибается) под действием температурной нагрузки и принимает форму, показанную пунктиром, увлекая за собой подвижную часть корпуса 1 с токопроводом 4, а так как второй токопровод 2 своим буртом 3 зацепляется за торец контактного зажима, разъединя тем самым цепь, то он остается висеть зажатый на одном контактном зажиме с уменьшением размеров от  $a$  до  $b$  до устранения неисправности в цепи. Для повторного включения предохранителя он вынимается из контактного зажима, растягивается его пластмассовый корпус элементом 5 до размера  $a$  и вставляется вновь в контактные зажимы, при этом фиксирующий элемент 6 (кольцо из резины) дополнительно страхует его от сжатия за счет своего трения или от самовосстановления и включения. При применении ППФ в торцовых подпружиненных контактах он при срабатывании от перегрузки выпадает за счет уменьшения своей длины. Форму элемента 5 (рис. 1) и необходимую для отведения токопровода (одного) 4, закладывают в “память” при помощи термомеханической обработки.

На рис. 2 представлен электрический предохранитель со вставкой из сплава, запоминающего форму. При токе перегрузки или токе короткого замыкания, встроенная в предохранитель вставка, в результате увеличения механических напряжений разрушается в месте, которое определено формой вставки, наличием перфорации или покрытия в виде химически активного

сплава, или в месте ее закрепления. При этом части вставки удаляются одна от другой с такой скоростью, что электрическая дуга не возникает.

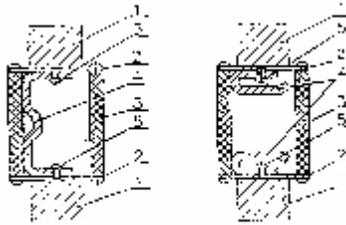


Рис. 2. Схема предохранителя (до и после срабатывания) с плавкой вставкой из сплава, запоминающего форму

Альтернативой традиционному принципу исполнения плавких предохранителей являются предохранители с термомеханическим разрушением плавкой вставки при помощи термоприводного элемента из сплава с эффектом памяти формы. На рис. 3 показана схема данного типа предохранителя, работа которого базируется на том, что во время прохождения определенного тока термочувствительный элемент 2 принимает первоначальную форму (сжимается) и механически разрушает вставку 3. Время разрушения вставки зависит от величины тока и может быть 0,001с и больше.

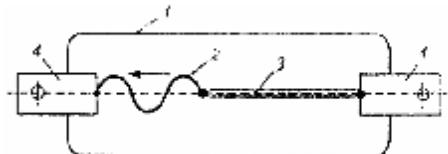


Рис. 3. Схема предохранителя с приводным элементом из сплава с ЭПФ: 1 – корпус; 2 – термочувствительный элемент; 3 – вставка; 4 – токоподводящий элемент

Предохранитель с приводным элементом из сплава с ЭПФ с электрическим шунтом содержит: газогенерирующий корпус 1; контактные выводы 2; плавкую вставку 3, выполненную из двух отдельных частей; ножевидный элемент 4; термочувствительный элемент 5, выполненный из материала, обладающего эффектом обратимой памяти формы; электрический шунт (ЭШ) 6, имеющий определенное активное сопротивление; гибкие проводники 7 и контактные зажимы 8. В нормальном режиме работы электроустановки рабочий ток, протекая по двум частям плавкой вставки 3, термочувствительному элементу 5 и шунту 6, незначительно нагревает их. В этом случае температура нагрева термочувствительного элемента 5 будет ниже температуры фазового перехода, обуславливающего обратное мартенситное превращение.

При коротких замыканиях ток резко возрастает. В этот момент возникают электродинамические усилия между отдельными частями плавкой вставки 3 и происходит их вдавливание в ножевидный элемент 4. В это же время током короткого замыкания нагревается термочувствительный элемент 5. При достижении температуры нагрева порога фазового перехода происходит восстановление формы, элемент 5 сокращается и тем самым создает дополнительное натяжение плавкой вставки. Под действием электродинамических усилий дополнительного натяжения плавкая вставка 3 в местах режущих кромок ножевидного элемента 4 разрушается. Между концами разрушенной плавкой вставки возникает электрическая дуга. При этом происходит дальнейшее сжатие термочувствительного элемента 5 и увеличение расстояния между концами плавкой вставки, что совместно с газогенерирующим корпусом ППФ способствует более быстрому гашению электрической дуги.

В этом случае, ЭШ 6 дает возможность уменьшить ток, протекающий через термочувствительный элемент 5 в момент срабатывания предохранителя и снизить температуру его нагрева, что позволяет исключить нагрев термочувствительного элемента 5 до температуры прямого мартенситного превращения и, следовательно, исключает выход из строя этого элемента.

При перегрузках (плавном повышении тока) электродинамические усилия между элементами плавкой вставки недостаточны для ее разрушения. Однако при этом происходит нагрев термочувствительного элемента 5, при сжатии которого возникают натяжение и в дальнейшем разрушение плавкой вставки. В этом случае электрический шунт 6 дает возможность (меняя величину его активного сопротивления) с достаточной точностью варьировать величину тока срабатывания предохранителя в зависимости от требований, предъявляемых конкретной электроустановкой. Конструкцией предлагаемого предохранителя предусмотрена возможность замены шунтов, крепление которых выполняется с помощью контактных зажимов 8.

Особенностью данного предохранителя является то, что он имеет повышенное быстроедействие и при коротких замыканиях, и при перегрузках, а также имеет возможность вариации тока срабатывания, что является важным при защите электроустановок, чувствительных к перегрузкам.

*Расчет защитных характеристик быстродействующих предохранителей с кварцевым наполнителем можно произвести, исходя из динамической вольт-ампер-секундной характеристики горения дуги.*

Согласно [1-3] динамическая вольт-ампер-секундная характеристика дуги может быть определена теоретически на основе решения дифференциального уравнения теплового баланса дуги, которое имеет вид:

$$c\gamma \frac{dT}{dt} = jE - P_T - P_U - P_K,$$

где  $c$  – теплоемкость газа;  $\gamma$  – плотность газа;  $T$  – температура;  $t$  – время;  $j$  – плотность тока;  $E$  – градиент напряжения дуги;  $P_T, P_U, P_K$  – мощности теплоотвода путем теплопроводности, излучения и конвекции.

В литературе [1-5] представлен целый ряд математических моделей электрической дуги, полученных в результате решения этого уравнения при различных исходных условиях, допущениях и ограничениях. Приведенный в [1-4] анализ целого ряда этих решений показывает, что теоретический путь определения вольт-амперных характеристик дуги является весьма сложным и приводит к большим погрешностям. Кроме того, ввиду существенного различия исходных условий, эти решения и решения других уравнений электрической дуги [2, 4] не могут быть использованы для расчета защитных характеристик быстродействующих предохранителей с плавкими элементами, обладающими памятью формы.

**Выводы.** Проведенный обзор и анализ конструкций ППФ показывает, что для повышения быстродействия и улучшения технико-экономических характеристик БП целесообразно использовать материалы, обладающие эффектом “памяти формы” (никелид титана и др.). В связи с тем, что существующие математические модели электрической дуги не могут быть использованы для расчета и проектирования таких БП, является целесообразным проведение исследований на основе теории планирования эксперимента для построения их многофакторных математических моделей, позволяющих осуществлять расчет конструктивных параметров ПЭПФ и характеристик БП.

**Список литературы:** **1.** Намитокоев К.К., Хмельницкий Р.С., Анисеева К.Н. Плавкие предохранители. – М.: Энергия, 1979. – 176 с. **2.** Грищук Ю.С. Исследование процесса коммутации и разработка методики расчета быстродействующих предохранителей. – Дисс. канд. техн. наук. – Харьков: 1980. – 238 с. **3.** Намитокоев К.К., Шкловский И.Г., Ильина Н.А. Математические модели дугогашения зарубежных быстродействующих предохранителей. – Электротехническая промышленность. Серия: Аппараты низкого напряжения.– Вып. 2 (87) 1980 – М.: Информэлектро, 1980, С. 2-4. **4.** Пастор Ю.А. Тепловая постоянная времени электрической дуги. – Изв.АН Латв.ССР. Серия физ. и техн. наук, 1971, № 6, С. 53-59. **5.** Mayr O. Aufgaben und Loesungen aus der Theorie der Gasent-lagunden vor allem des hichtbogens – “Anwendung electrischer Rechernanlagen in du Starks-tromtechnik”, Berlin, 1958, P. 77-90. **6.** АС СССР № 1288781, Н01Н 85/02. Плавкий предохранитель / М. Ф. Спорыш, В. Е. Фадеев. Оpubл. 07.02.87. Бюл. № 5. **7.** АС СССР № 1707646, Н01Н 85/36, 85/02. Плавкий предохранитель / А.В. Кравец, В.В. Козырский. Оpubл. 23.01.92 Бюл. № 3. **8.** Плавкий предохранитель: А.с. 1379832 СССР, Н01Н 85/02. / Е.Ф. Щербаков. Оpubл. 07.03.88 Бюл. № 9. **9.** Плавкий предохранитель: А.с. 1288781 СССР, Н01Н 85/02. / М.Ф. Спорыш, В.Е. Фадеев. Оpubл. 07.02.87 Бюл. № 5. **10.** RU 2177186 C2, 20.12.2001. **11.** RU 2181513 C1, 20.04.2002.

*Поступила в редколлегию 17.12.07*