

*Ю.С. ГРИЩУК*, канд. техн. наук, проф.

*Ю.М. МЕЛЕЖИК*, магистр

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"  
(г. Харьков)

### **АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЗАПОБІЖНИКІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ З ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ**

Проведено огляд і аналіз конструкцій та принципи дії запобіжників з елементами з пам'яттю форми, виявлені їх конструктивні особливості, недоліки, переваги і доцільність їх застосування для покращення техніко-економічних характеристик швидкодіючих запобіжників (ШЗ).

Проведен обзор и анализ конструкций и принципов действия предохранителей с элементами с памятью формы, выявлены их конструктивные особенности, недостатки, преимущества и целесообразность их применения для улучшения технико-экономических характеристик быстродействующих предохранителей (БП).

**Вступ.** У наш час плавкі запобіжники є одним з найбільш простіших і широко вживаних для цих цілей апаратів. Інтенсивне проведення розробок і зріст виробництва швидкодіючих запобіжників (ШЗ) викликане широким застосуванням силової напівпровідникової перетворювальної техніки, внаслідок чого виникла необхідність захисту напівпровідникових вентилів від струмів короткого замикання. У ряді цих та інших електротехнічних пристроїв швидкодіючі запобіжники є основним або навіть єдиним струмовим захистом.

Аналіз конструкцій ШЗ та їх захисних характеристик [1-4] вказує, що у зв'язку зі зростаючими до них вимогами, їх техніко-економічні характеристики і швидкодія вимагає підвищення.

Розробка запобіжників з покращеними техніко-економічними характеристиками потребує пошуку нових технічних рішень і створення методик їх розрахунку.

**Метою роботи** є проведення огляду й аналізу конструкцій запобіжників з пам'яттю форми (ЗПФ) і визначення можливості використання плавких елементів з пам'яттю форми (ЗЕПФ) для покращення техніко-економічних характеристик ШЗ.

**Для рішення поставленої задачі** було розглянуто запобіжники з плавкими елементами, що володіють пам'яттю форми, які приведені в [5-11].

1. *Запобіжники з плавким елементом, що володіє пам'яттю форми.*

На рис. 1 представлена схема запобіжника з плавким елементом, виконаним з матеріалу з пам'яттю форми.

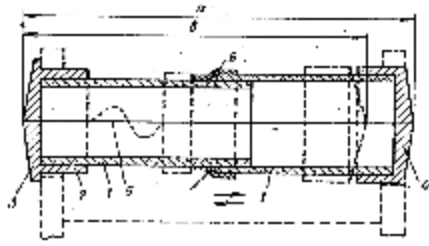


Рис. 1. Схема запобіжника з плавким елементом, виконаним з матеріалу, що володіє ефектом "пам'яті форми"

Корпус 1 виконаний роз'ємним по довжині з двох частин (половин), коаксіально встановлених з можливістю осевого переміщення (ковзаюча посадка). Корпус виготовлений з діелектричного, переважно полімерного матеріалу (стекло, оргстекло). Струмopрoвід 2 з буртом 3 на торці і струмopрoвід 4 жорстко закріплені на кінцях корпусу 1. Струмopрoвoди 2 і 4 усередині корпусу жорстко сполучені з плавким елементом 5, виконаним з матеріалу, що володіє ефектом "пам'яті форми", наприклад, з нікеліду титану. Місце роз'єму корпусу зовні забезпечене фіксуєчим елементом 6 у вигляді кільця з гуми (встановлюється з натягом).

Запобіжник працює таким чином. У момент перенавантаження в електричному колі елемент 5, що сполучає струмopрoвoди (струмopідвoди) 2 і 4, змінює первинну форму (згинається) під дією температурного навантаження і приймає форму, показану пунктиром, захоплюючи із собою рухому частину корпусу 1 з струмopрoвoдoм 4. Інший струмopрoвід 2 своїм буртом 3 зачіпляється за торець контактoгo затиску, роз'єднуючи тим самим ланцюг, і залишається висіти затиснутим на одному контактoмy затиску із зменшенням розмірів від  $a$  до  $b$  до усунення несправності в ланцюзі. Для повторного включення запобіжника він виймається з контактoгo затиску, його корпус розтягується елементом 5 до розміру  $a$  і вставляється знову в контактні затиски. При цьому фіксуєчий елемент 6 (кільце з гуми) додатково страхує його від стиснення за рахунок свого тертя або від самовідновлення і включення. При застосуванні запобіжника в торцевих підпружинених контактах при спрацьовуванні від перенавантаження він випадає за рахунок зменшення своєї довжини. Форму елементу 5, показану на рисунку 1 і необхідну для відведення одного струмopрoвoду 4, закладають в "пам'ять" за допомогою термомеханічної обробки.

Застосування запропонованої ідеї дозволяє спростити конструкцію запобіжника (в порівнянні з відомими) за рахунок зменшення кількості деталей, їх спрощення і полегшення монтажу при виготовленні. Підвищується надійність за рахунок зміцнення кріплення струмopідвoдів на корпусі і виконання корпусу переважно з полімерного матеріалу (пластмаси). Така конструкція запобіжника підвищує зручність експлуатації при його відновленні, а також скорочує час на пошук запобіжника, що вийшов з ладу в колі, і час на його відновлення.

На рис. 2 зображений запобіжник зі вставкою із сплаву, що запам'ятовує форму. При струмі перенавантаження або струмі короткого замикання вбудована в запобіжник вставка в результаті збільшення механічної напруги руйнується в місці, яке визначене формою вставки, наявністю перфорації або покриття у вигляді хімічно активного сплаву, або в місці її закріплення. При цьому частини вставки віддаляються одна від одної з такою швидкістю, що електрична дуга не виникає.

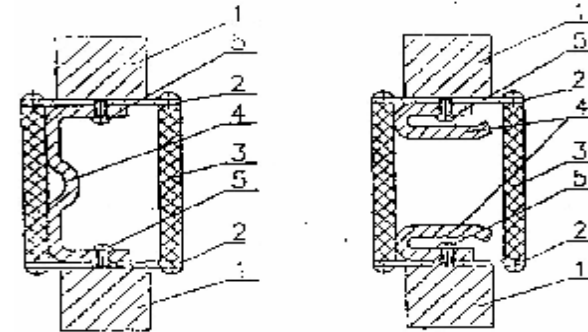


Рис. 2. Схема запобіжника (до і після спрацювання) з плавкою вставкою із сплаву, що запам'ятовує форму

2. *Запобіжники з термочутливими елементами, що володіють пам'яттю форми.*

Альтернативою традиційному принципу виконання плавких запобіжників є запобіжники з термомеханічним руйнуванням плавкої вставки за допомогою термоприводного елемента із сплаву з ефектом пам'яті форми. На рис. 3 показана схема запобіжника даного типу, робота якого базується на тому, що під час проходження певного струму термочутливий елемент приймає первинну форму (стискається) і механічно руйнує плавку вставку. Час руйнування вставки залежить від величини струму і може бути 0,001 с і більше.

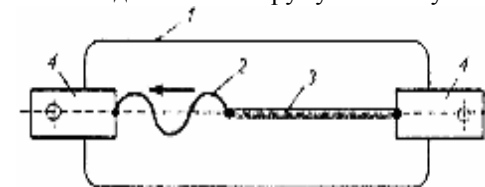


Рис. 3. Схема запобіжника з приводним елементом із сплаву з ЕПФ: 1 – корпус; 2 – термочутливий елемент; 3 – вставка; 4 – елемент, що підводить струм

Запобіжник з приводним елементом із сплаву з ЕПФ з електричним шунтом зображено на рис. 4. Він містить газогенеруючий корпус 1, контактні виводи 2, плавку вставку 3, виконану з двох окремих частин, ножевидний елемент 4, термочутливий елемент 5, виконаний з матеріалу, що володіє ефектом зворотньої пам'яті форми, електричний шунт 6, що має певний активний опір,

гнучкі провідники 7 і контактні затиски 8.

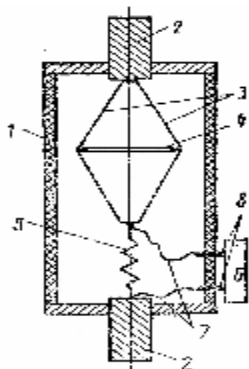


Рис. 4. Схема запобіжника з приводним елементом із сплаву з ЕПФ з електричним шунтом

Плавкий запобіжник працює таким чином. У нормальному режимі роботи електроустановки робочий струм, протікаючи по двох частинах плавкої вставки 3, термочутливому елементу 5 і шунту 6, трохи нагріває їх. В цьому випадку температура нагріву термочутливого елемента 5 буде нижче за температуру фазового переходу, що зумовлює зворотнє мартенситне перетворення.

При коротких замиканнях струм різко зростає. У цей момент виникають електродинамічні зусилля між окремими частинами плавкої вставки 3 і відбувається їх втискування в ножевидний елемент 4. В цей же час струмом короткого замикання нагрівається термочутливий елемент 5. При досягненні температурою нагріву порогу фазового переходу відбувається відновлення форми, елемент 5 скорочується і тим самим створює додаткове натягнення плавкої вставки. Під дією електродинамічних зусиль додаткового натягнення плавка вставка 3 в місцях ріжучих крамок ножевидного елемента 4 руйнується. Між кінцями зруйнованої плавкої вставки виникає електрична дуга. При цьому відбувається подальше стиснення термочутливого елемента 5 і збільшення відстані між кінцями плавкої вставки. Це, спільно з газогенеруючим корпусом запобіжника, сприяє більш швидкому гасінню електричної дуги і розриву пошкодженого електричного ланцюга.

В цьому випадку електричний шунт 6 дає можливість зменшити величину струму, що протікає через термочутливий елемент 5 у момент спрацьовування запобіжника, і понизити температуру його нагріву. Таким чином, використання шунта дає можливість виключити нагрів термочутливого елемента 5 до температури прямого мартенситного перетворення і, отже, виключає вихід з ладу цього елемента.

При перенавантаженнях (плавному підвищенні струму) електродинамічні зусилля між елементами плавкої вставки недостатні для її руйнування. Проте, при цьому відбувається нагрів термочутливого елемента 5, при стис-

ненні якого виникають натягнення і, надалі, руйнування плавкої вставки. В цьому випадку зміна величини активного опору електричного шунта б дає можливість з достатньою точністю варіювати величину струму спрацьовування запобіжника залежно від вимоги, що пред'являється конкретній електроустановці. Конструкцією пропонованого запобіжника передбачена можливість заміни шунтів, кріплення яких виконується за допомогою контактних затисків 8.

Особливістю даного запобіжника є те, що він має підвищену швидкодію і при коротких замиканнях, і при перенавантаженнях, а також має можливість варіації струму спрацьовування. Ці особливості є важливими при захисті електроустановок, які чутливі до перевантажень, наприклад, високовольтні трансформатори типу НТМІ, НТМК та ін.

У даному запобіжнику при перенавантаженнях реагуючим є термочутливий елемент 5. Наприклад, запобіжник повинен спрацьовувати при струмі 1,5 А. Для цього необхідно вибрати шунт б з таким значенням активного опору, щоб термочутливий елемент розвивав достатнє зусилля для розриву плавкої вставки 3. Дослідження показали, що час відключення запобіжника 0,3 с. Це виключає можливість пошкодження вимірювальних трансформаторів при перенавантаженнях.

### *3. Плавкі запобіжники, що містять ножевидні елементи.*

Запобіжник працює таким чином. У робочому режимі електричний струм протікає через контактні виводи і елементи плавкої вставки. При появі струму перенавантаження або короткого замикання елементи плавкої вставки починають нагріватися і плавитися в першу чергу в місцях найменшого перетину. Струм протікає в одному напрямі, тому в них виникають сили взаємного тяжіння, які направлені у бік різучих кромки. Завдяки цьому на різучих кромках відбувається руйнування (розрізання) елементів плавкої вставки раніше, ніж наступить в цьому місці їх повне розплавлення і випаровування.

Електродинамічна дія елементів вставки один на одного, що відбувається одночасно з нагріванням, за наявності ножа прискорює процес розмикання запобіжником електричного ланцюга, що захищається. Гасіння виниклої електричної дуги здійснюється за рахунок випаровування газогенеруючого матеріалу корпусу під впливом високої температури дуги і зростання тиску газу в порожнині запобіжника.

**Висновки.** Проведений огляд і аналіз конструкцій і принципів дії ЗПФ показує, що для підвищення швидкодії й покращення техніко-економічних характеристик ШЗ доцільно використовувати матеріали, які володіють ефектом "пам'яті форми" (нікелід титану та ін.), що потребує проведення подальших їх комутаційних та теплових досліджень.

**Список літератури:** 1. *Нами́токов К.К., Хмельницький Р.С., Аникеева К.Н.* Плавкие предохранители. – М.: Энергия, 1979. – 176 с. 2. *Грицук Ю.С.* Исследование процесса коммутации и разработка методики расчета быстродействующих предохранителей. – Дисс. канд. техн. наук. – Харьков: 1980. – 238 с. 3. *Нами́токов К.К., Шкловский И.Г., Ильина Н.А.* Математические модели дугогашения зарубежных быстродействующих предохра-

нителей. – 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.** *Maур O.* Aufgaben und Loesungen aus der Theorie der Gasentlagungen vor allem des Lichtbogens – “Anwendung electrischer Rechernanlagen in du Starkstromtechnik”, Berlin, 1958, S. 77-90. **6.** А.С. СССР № 1288781, Н01Н 85/02. Плавкий предохранитель / М.Ф. Спорыш, В.Е. Фадеев. Оpubл. 07.02.87. Бюл. № 5. **7.** А.С. СССР № 1707646, Н01Н 85/36, 85/02. Плавкий предохранитель / А.В. Кравец, В.В. Козырский. Оpubл. 23.01.92 Бюл. № 3. **8.** А.С. СССР № 1379832, Н01Н 85/02. Плавкий предохранитель / Е.Ф. Щербаков. Оpubл. 07.03.88 Бюл. № 9. **9.** А.С. СССР № 1288781, Н01Н 85/02. Плавкий предохранитель / М.Ф. Спорыш, В.Е. Фадеев. Оpubл. 07.02.87 Бюл. № 5. **10.** RU 2177186 С2, 20.12.2001. **11.** RU 2181513 С1, 20.04.2002.

*Поступила в редколлегию 28.05.08*