

*Ю.С. ГРИЩУК*, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПІ"  
*Л.В. КУРИЛО*, магістр, НТУ "ХПІ"

## ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПЛАВКИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАПОБІЖНИКІВ

Викладено результати огляду плавких елементів швидкодіючих запобіжників, та проведено їх порівняльний аналіз.

**Ключові слова:** швидкодіючий запобіжник, плавкий елемент, захисні характеристики.

**Вступ.** Для захисту електроустановок в аварійних режимах використовуються різні типи плавких запобіжників. Так, наприклад, для захисту напівпровідникових перетворювачів в даний час широко використовують швидкодіючі плавкі запобіжники з кварцовим дугогасильним наповнювачем, які в найбільш повній мірі забезпечують їх захист в режимах струмового перенавантаження і короткого замикання. Тому дослідження впливу форми вирізу перешийків на швидкодію запобіжників та інші захисні характеристики є досить актуальною темою.

**Метою роботи** є проведення огляду конструкцій плавких елементів швидкодіючих запобіжників та аналізу результатів досліджень впливу конструктивних параметрів на їх швидкодію, та інші захисні характеристики.

Однією з найбільш поширених конструкцій швидкодіючих запобіжників постають запобіжники серій ПЗ-57 і ПЗ-60. В запобіжниках ПЗ-57 використовуються срібні плавкі елементи з прямокутною формою вирізу перешийку, які розміщені в електрофарфоровому корпусі. В якості дугогасильної речовини використовується кварцовий наповнювач. Струмopовідні контакти виконані з міді з антикорозійним покриттям. Основні технічні дані запобіжників серії ПЗ-57 приведені в табл. 1 [1]. Загальний вигляд плавкого елемента запобіжника ПЗ-57 приведений на рис. 1.

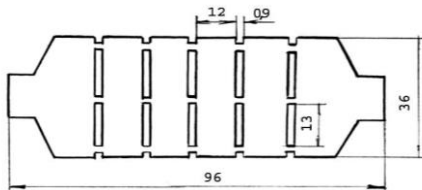


Рис. 1 – Плавкий елемент запобіжника серії ПЗ-57,  $I_n = 400$  А;  $U_n = 660$  В.

Результати експериментальних досліджень приведених в [2, 3, 4] показують, що плавкі елементи з прямокутною формою перешийку істотно поступаються по швидкодії плавким елементам, наприклад з трапецієвидною чи клиновидною формою вирізу. Крім того, вони поступаються і по кількості затрат матеріалу, який використовується для виготовлення плавкого елемента [2, 3-16]. Для захисту вентилів безщіткових систем збудження у збуджувачах крупних турбогенераторів випускаються запобіжники ПЗ-71, розроблені "ВНДІ Електроапарат". Вони встановлюються на частинах турбогенераторів, що обертаються з швидкістю 10 м/с. В них плавкі елементи виконані в вигляді дискових мембран з отворами, що дозволяє уникнути розтягуючих напруг в перешийках плавких елементів під час обертання [5]. Щільність струму в перешийках плавких елементів складає 700 А/мм<sup>2</sup>. Але ці запобіжники мають дуже вузьку область застосування і незначну кількість випуску.

Для захисту напівпровідникових вентилів в перетворювальних агрегатах з водяним охолодженням були створені запобіжники серії ПЗ-51. В них, з метою забезпечення інтенсивного відведення тепла водоохолоджуючими шинами установки, використовуються плавкі елементи з керамічними радіаторами, які мають значно вищу теплопровідність ніж кварцевий наповнювач і забезпечують інтенсивне відведення тепла з поверхні плавкого елемента [2]. Така конструкція дозволяє отримати щільність струму в перешийках 10<sup>9</sup> А/мм<sup>2</sup>. Необхідність водяного охолодження струмопідвідних шин суттєво обмежує область застосування таких запобіжників і знижує їх економічні показники.

Однією з відомих зарубіжних фірм виробників запобіжників для захисту напівпровідникових пристроїв постає англійська фірма English Electric. Фірма випускає запобіжники з плавкими вставками різного призначення [9, 10, 11]. Згідно [2, 9] плавкі вставки типу GS (рис. 2) мають порівняно невисоку щільність струму (420-500 А/мм<sup>2</sup>) і призначаються для захисту діодів. Запобіжники цього типу складаються з наступних основних деталей:

- а) плавкі елементи, які виготовлені з срібної фольги;
- б) корпус, що має циліндричну форму і виконаний із корундової кераміки;

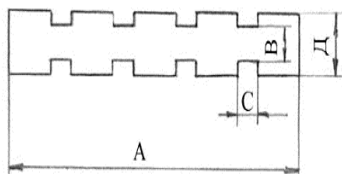


Рис. 2 – Плавкий елемент запобіжника типу GS на 1000В (амплітудне значення).

в) струмопровідні контакти, виконані у вигляді угольників і припаяні до кришок.

Плавкі вставки типу GSG (рис. 3) мають більш високу щільність струму:  $700-800 \text{ А/мм}^2$ . Вони відрізняються порівняно низьким значенням повного інтегралу квадрату струму відключення і високою швидкодією та призначені для захисту тиристорів. Плавкий елемент має клиновидні вирізи, які утворюють плавкі перешийки.

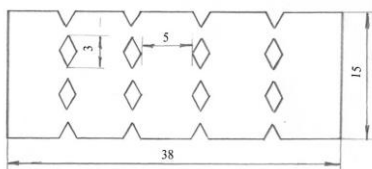


Рис. 3 – Плавкий елемент запобіжника типу GSG на 1000 В.

В корпусі плавкий елемент розміщується у вигляді циліндричної трубки. Для захисту двосторонніх тиристорів фірма випускає запобіжники типу GSM на номінальну напругу 600, 800, і 1000 В і номінальний струм від 63 А до 1250 А, які мають мультимодульну конструкцію. Конструктивно цей запобіжник являє собою дві шини між котрими закріплені плавкі вставки (модулі), які виконані із срібної фольги. Кількість модулів визначається в залежності від номінального струму. Високу швидкодію запобіжників типу GSG, GSM, GSMK, GSMJ забезпечує як конструкція їх плавкого елемента, так і герметичність корпусу запобіжника, який забезпечує високий тиск при горінні дуги і відповідно її інтенсивне гасіння [10, 11]. Проте, виробництво запобіжників цього типу пов'язане з великими витратами срібла, що істотно погіршує їх економічні показники.

Поряд з англійськими фірмами, які випускають швидкодіючі запобіжники для захисту напівпровідникових пристроїв, також відомо є датська фірма Laur Knudsen [17]. Вона випускає запобіжники серії LK, щільність струму в яких знаходиться в межах  $200-400 \text{ А/мм}^2$ . Конструкція плавкого елемента (рис. 4) має еліпсоїдні вирізи, які утворюють по два паралельних перешийка. З метою збільшення механічної міцності плавкого елемента вздовж нього закріплені склотекстолітові пластинки.

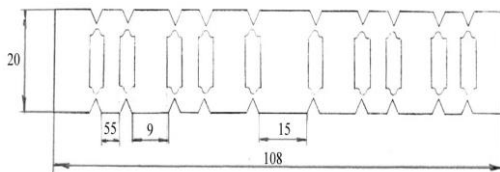


Рис. 4 – Плавкий елемент запобіжника LKNES.

Особливістю плавкого елемента є наявність великої кількості послідовних і паралельних перешийків в одному корпусі з наповнювачем, що потребує достатньо високого рівня технологій виробництва. Фірма також випускає запобіжники з алюмінієвими плавкими елементами. У табл. 1 наведено характеристики швидкодіючих запобіжників, які випускаються відомими фірмами та визначена їх відносна швидкодія.

Таблиця 1 – Характеристики швидкодіючих запобіжників.

Найменування країни та фірми	Тип запобіжника	Номінальна напруга, $U_n$ , В	Номінальний струм, $I_n$ , А	Інтеграл плавлення, $W_{пл}$ , $A^2 \cdot c \cdot 10^3$	Повний інтеграл відключення, $W_{пл}$ , $A^2 \cdot c \cdot 10^3$	Відносна швидкодія $\tau = \frac{W_i}{I^2 \cdot c}$
Англія "English Electric"	GS 450/100	450	100	4	23	2,3
	GS 450/150	450	150	7	50	2,22
	GSG1000/75	1000	110	0,7	15	1,24
	GSG1000/235	1000	235	4	70	1,27
	GS1000/75	1000	150	1,7	30	1,33
	GS MK 63	1000	63	0,58	3,6	0,9
Англія "Brush"	90 ET	700	90	0,6	6	0,74
	110 ET	700	110	1,2	14	1,16
	100 LET	250	100	1,1	9	0,9
Чехія "СКД"	PC 100	500	100	0,99	10	1
	PC 350	500	125	1,45	17	1,09
Курське Об'єднання "Електроапарат"	ПЗ-57-3768	660	400	140	1200	7,5
	ПЗ-57-3797	1250	400	140	1200	7,5

Фірма ЧКД (Чехія) випускає запобіжники типу РС, призначені для роботи на змінному струмі при напрузі 500 В. Діапазон номінальних струмів складає від 10 А до 350 А [18]. Конструкція плавкого елемента в цих запобіжниках має прямокутну форму перешийку (рис. 5) і виконана із срібла. Корпус запобіжника виконаний із кераміки і має циліндричну форму.

Технологія виробництва запобіжників РС більш проста в порівнянні з технологією виробництва запобіжників типу LK, GSG. Однак по питомій кількості затрат срібла, яке використовується для виготовлення плавкого елемента, запобіжники типу РС поступаються запобіжникам типу LK, GSG, GSM.

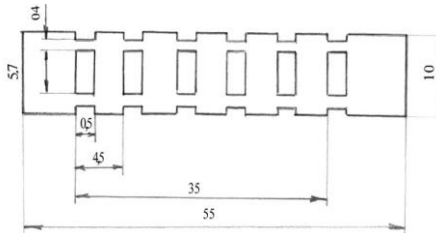


Рис. 5 – Плавкий элемент запобіжника типу РС 350 (Чехія).

**Висновки.** Найбільш широко вживаними є швидкодіючі запобіжники з дугогасильним кварцовим наповнювачем, з срібним плавким елементом. Аналіз конструкцій плавких елементів і захисних характеристик швидкодіючих запобіжників з кварцовим наповнювачем показує, що щільність струму в перешийках, форма перешийку, його довжина, ширина, товщина фольги та інші конструктивні параметри здійснюють істотний вплив на захисні характеристики цих запобіжників. Найбільшу відносну швидкодію, згідно табл. 1, мають запобіжники типів GSG, GSMK, LK, плавкі елементи яких мають клиновидну і трапецеїдну форму вирізу перешийків, їх мінімально можливу довжину, ширину і товщину. Крім того, вони мають найменшу питому кількість затрат срібла, яке використовується для виготовлення плавких елементів.

**Список літератури:** 1. Предохранители плавкие серии ПП-57 техническое описание и инструкция по эксплуатации ОБУ 149.037. – М.: Внешторгиздат, 1976 – 28 с. 2. Хмельницький Р.С. Исследование макетов быстродействующих предохранителей для защиты силовых полупроводниковых вентилях, кн.: Труды ВНИИ Электроаппарат, вып. 1, М.: Энергия, 1967 – С. 27-30. 3. Пат. 230973 (Австрия). Licentia Patent Vermaltyngs Gmbh, 1964. 4. Пастор Ю.А. Зависимость характеристик дугогашения от числа и формы вырезов в плавком элементе предохранителя. Изв. АН ЛатвССР. Серия физ. и техн. наук, 1969, А16, С. 57-61. 5. А.с. 269274 (СССР), Плавкий предохранитель / Хмельницький Р.С., Бобылев Б.Ф., Бутенко Е.М., Максимов Е.П., Малюк Г.А. Оpubл. Б.М., 1970, № 5. 6. А.с. 287172 (СССР). Плавкий предохранитель / Хмельницький Р.С., Савченко В.Г., Богин Б.Д., Невельская Н.Г. – Оpubл. в Б. И., 1970. 7. Кузнецов Р.С. Аппараты распределительных устройств низкого напряжения. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 448 с. 8. English Electric H. R. C. Cftridge fuse – links type "GS" Printed in England, 1967. – 27 p. 9. English Electric Fusegear Ltd. – Publ. FG 189A – Printed in England, 1967. – 22 p. 10. English Electric Fusegear Ltd. – Publ. FG 237 A; FG 212S; FG 248A; Printed in England, 1972. 11. Предохранители фирмы "Brush" Тур. ET, каталог фирмы "Brush". № 53/9005 – Printed in England, 1969. – 7 p. 12. Плавкие предохранители. Каталог фирмы L. Ferraz 80G, № 7892 – 675 LIOP-3. France, 1969. – 7 p. 13. Плавкие предохранители

серии Amp. – trap, Bulletin A –T618. Amp. – trap. Form 101 – U. S., 1977. – 14 p.  
**14.** А.с. 262235 (СССР). Плавкий предохранитель / *Р.С. Хмельницкий, Б.Ф. Бобылев, Е.М. Бутейко, Е.П. Максимов, Г.А. Малюк.* Оpubл. В Б. К., 1970, № 6.  
**15.** А.с. 221798 (СССР). Плавкий предохранитель / *Г.Э. Мотэ.* – Оpubл. в Б.И., 1968, № 22. **16.** Быстродействующие предохранители LK, каталог фирмы A/S Laur Knudsen №016A, 378E, Дания. – 12 с. **17.** Плавкие предохранители. Каталог фирмы SKDOEZ, CSSR, 1972. – 11с.

*Надійшла до редколегії 13.03.2013*

УДК 621.316.925

**Огляд та аналіз плавких елементів запобіжників / Гришук Ю.С., Курило Л.В.** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2013. – № 15 (988). – С. 20-25. Бібліогр.: 17 назв.

Изложены результаты обзора плавких элементов быстродействующих предохранителей и проведено их сравнительный анализ.

**Ключевые слова:** быстродействующий предохранитель, плавкий элемент, защитные характеристики.

Review results of quick-break fuse conducting elements are presented and their comparative analysis is carried out.

**Keywords:** quick-break fuse, conducting element, protective performances.