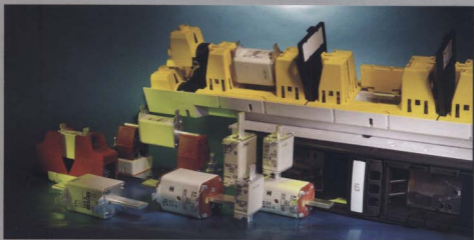


М.В. Бурштинський, А.І.Ковальчук,  
М.В. Хай

# СИЛОВІ НИЗЬКОВОЛЬТНІ ЗАПОБІЖНИКИ



**ETI**

ББК 31.29-5

Б 918

УДК 621.316.3(076.5)

*Рекомендувала Науково-методична рада  
Національного університету "Львівська політехніка"  
як навчальний посібник для студентів електромеханічного  
та електротехнічного профілю вищих навчальних закладів  
(протокол № 5/2009 від 5.05.2009 р.)*

**Рецензенти:**

**Білонога Ю.Л.**, доктор технічних наук, професор Національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького;

**Марущак Я.Ю.**, доктор технічних наук, професор, Національний університет "Львівська політехніка";

**Ненека М.Ф.**, кандидат технічних наук, директор ТзОВ "Електроконтакт Захід"

**Бурштинський М.В. та ін.**

Б918 Силові низьковольтні запобіжники / М.В. Бурштинський, А.І. Ковальчук, М.В. Хай. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 108 с.

ISBN 978-966-553-824-0

Посібник призначений для вивчення функціональних властивостей силових низьковольтних запобіжників, особливостей їх будови, принципу дії, ознайомлення з серіями запобіжників, їхніми типорозмірами, категоріями тощо; в ньому розглядаються питання захисту різного типу устаткування та вибору захисних апаратів. Посібник дозволяє підготуватись до самостійного вибору таких апаратів, в першу чергу, силових низьковольтних плавких запобіжників.

ББК 31.29-5

© Бурштинський М.В., Ковальчук А.І.,  
Хай М.В., 2009

© Національний університет  
"Львівська політехніка", 2009

ISBN 978-966-553-824-0

*Висловлюємо щиру подяку директорові Інституту енергетики та систем керування Львівської політехніки професору Оресту Юліановичу Лозинському, працівникам компанії “ЕТІ-Україна”, ПП “Енергія”, працівникам газети “Електротема” за сприяння у написанні і виданні навчального посібника та у справі створення лабораторії і навчально-пізнавального стенда.*

## ЗМІСТ

<b>1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА</b>	5
1.1. Загальні відомості	5
1.2. Основні засади функціонування	10
1.3. Обмеження запобіжником струмів короткого замикання	18
1.4. Часострумові характеристики запобіжників	23
1.5. Вимикальна здатність плавких вставок. Типи плавких вставок	28
1.6. Характеристика $I^2t$	33
1.7. Селективність при надструмах	37
1.8. Серії запобіжників та їхні типорозміри	44
1.9. Вибір запобіжників	53
1.9.1. Критерії вибору низьковольтних запобіжників	53
1.9.2. Захист кабелів і проводок	53
1.9.3. Захист силових трансформаторів	54
1.9.4. Захист двигунів та їхніх кіл живлення	57
1.9.5. Захист напівпровідникових пристроїв	59
1.9.6. Захист конденсаторів у компенсаційних установках	66
1.9.7. Захист кіл постійного струму	70
1.9.8. Захист пристроїв захисту від імпульсних перенапруг	75
1.10. Маркування запобіжників	78
1.11. Комбіновані комутаційні апарати з використанням запобіжників	81
1.12. Контрольні запитання	86
<b>2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА</b>	87
Практичні роботи №1...№6	
<i>Додаток А. СЛОВНИК ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ</i>	91
<i>Додаток Б. ОЦІНКА СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ</i>	96
<i>Додаток В. ТЕХНІЧНІ ДАНІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ (фірма VEM, ФРН)</i>	102
<i>Додаток Г. КЛАСИ РОЗЧЕПЛЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЛЕ МАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ</i>	103
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b>	104

# 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Загальні відомості

**1.1.1. Плавкий запобіжник** – апарат, який шляхом розплавлення однієї або декількох спеціально спроектованих деталей розмикає коло, у якому він встановлений, відмикаючи тим самим струм, якщо той перевищує задане значення впродовж обумовленого часу. Запобіжник містить усі частини, що створюють єдиний пристрій (п.1.1.4).

**Основне призначення плавкого запобіжника** – захист струмопроводів (кабелів, проводів) від перевантажень та коротких замикань (КЗ). Запобіжники застосовуються також для захисту від надструмів обмоток електродвигунів та трансформаторів, напівпровідникових пристроїв, конденсаторів, кіл постійного струму тощо. При коректно виконаній системі заземлення, запобіжник вимикає ланку, у якій має місце контакт струмоведучої частини до струмопровідної (наприклад, корпусу), що забезпечує захист людей і тварин від ураження електричним струмом при непрямих дотиках.

**Плавкий запобіжник** – найпростіший і найбільш розповсюджений пристрій захисту електроустановок від недопустимих тривалих перевантажень і струмів КЗ. Неможливо уявити використання електричної енергії без запобіжників. Через їхню просту конструкцію і безвідмовне функціонування на основі законів фізики плавкі запобіжники стали втіленням безпеки в електротехніці.

Принцип роботи сучасних запобіжників залишився практично незмінним з 1890 року, коли В.М.Мордой запатентував запобіжник, в якому легкоплавкий провідник був розташований у закритому корпусі, наповненому гранульованим засобом для гасіння. У Німеччині на початку 20-го століття брати Siemens винайшли

запобіжник з гвинтовою змінною частиною, який під торговою маркою „Diazed” реалізовували по всьому світу.

При захисті електричних мереж і установок у всіх випадках, коли запобіжники можуть забезпечити необхідну чутливість і вибірковість захисту, рекомендується використовувати їх замість автоматичних вимикачів й електромагнітних пускачів із тепловими реле. Останні доцільно використовувати у випадках, коли необхідно автоматизувати керування і забезпечити більш швидке відновлення напруги, ніж це дозволяють запобіжники, а також при частих аварійних вимиканнях.

Широкі функціональні можливості автоматичних повітряних вимикачів в останні роки різко скоротили застосування низьковольтних запобіжників проектувальниками. Однак вітчизняні і закордонні фахівці не припиняють роботи з поліпшення технічних характеристик і розширення функціональних можливостей запобіжників. Ці розробки дозволяють сподіватися на повернення запобіжників в українські електротехнічні проекти, тим більше, що в Європі це уже явно простежується.

### **1.1.2. Плавкі запобіжники мають такі безсумнівні переваги:**

- суттєво нижча вартість, ніж вартість автоматичних вимикачів при однакових номінальних струмах;
- відсутня необхідність в їхньому технічному обслуговуванні;
- висока швидкодія (менше 0,01 с) при вимиканні струмів КЗ (струмообмежувальний ефект);
- дуже висока вимикальна здатність (до 200 кА);
- практично абсолютна надійність при вимиканні струмів КЗ і перевантаження (правильно вибраний запобіжник, на відміну від автомата, не може відмовити, тобто не перегоріти);
- струмообмежувальний ефект запобіжників значно знижує електродинамічне і термічне навантаження на розподільні пристрої, що дозволяє виконувати останні більш компактними (ближче

розташовувати устаткування і використовувати менше елементів кріплення), а також зменшує ймовірність ушкодження суміжних кіл;

- висока екологічність – при спрацьовуванні запобіжника в довкілля практично не виділяються шкідливі речовини, а утилізація його елементів не викликає проблем.

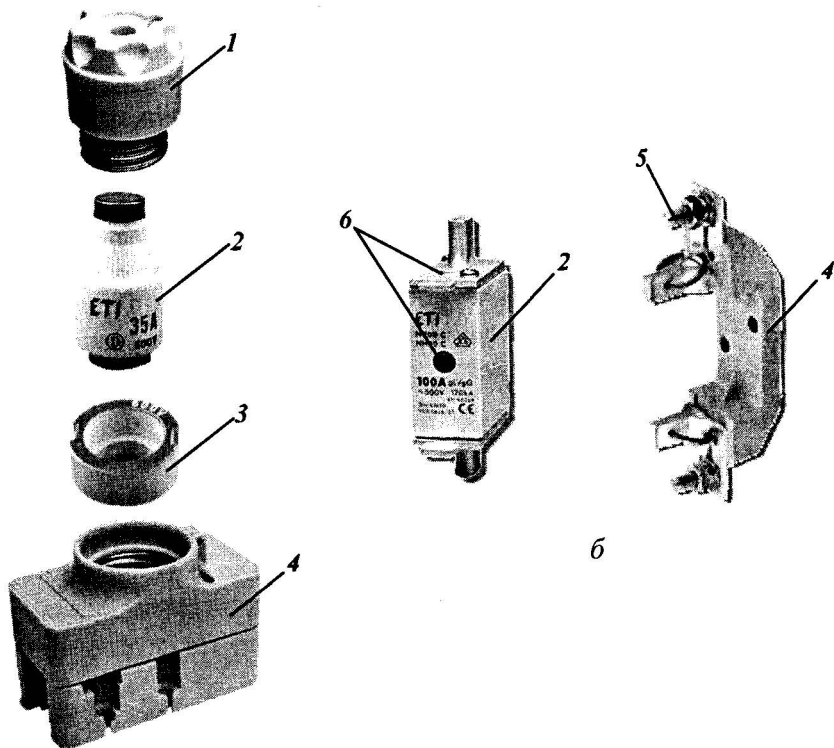
Потреба об'єднати функції захисту й комутації в одному елементі (істотно дешевшому, ніж автоматичний вимикач) реалізована в блоці запобіжник-вимикач (п.1.11). У ньому запобіжник виконує, крім своєї основної задачі, функцію рухомого ножа рубильника з поступальним чи обертальним переміщенням. Така конструкція дозволяє доповнити список наступними перевагами:

- можливість комутації робочих струмів у межах номінальних значень;
- здійснення видимого розриву кола, що значно підвищує безпеку проведення робіт на електроустановках;
- зручність приєднання переносного заземлювального пристрою на відкриті струмоведучі частини.

**1.1.3. Запобіжники володіють і цілим рядом недоліків, через які і відбулося їхнє витіснення автоматичними вимикачами:**

- одноразовість дії. Після спрацьовування запобіжника необхідна заміна його плавкої вставки, а запасна вставка потрібного номіналу не завжди є під рукою;
- неможливість дистанційного керування запобіжником із метою комутації кола за командою;
- пристроями, подібними до запобіжників-вимикачів, недопустимо комутувати струми більші від номінальних;
- можливість неповнофазного режиму роботи мережі при спрацьовуванні запобіжника в одній з фаз.

**1.1.4. Конструкція плавких запобіжників (рис.1).** Основними частинами плавкого запобіжника є:



*а*

*б*

*Рис.1. Конструкція запобіжника (а – серії D, б – серії NH):  
 1 – тримач плавкої вставки; 2 – плавка вставка;  
 3 – калібрувальна втулка; 4 – основа плавкого запобіжника;  
 5 – контакти плавкого запобіжника;  
 6 – покажчик спрацьовування (індикатор)*

• *плавка вставка* – частина плавкого запобіжника, яка містить плавкий елемент (плавкі елементи), що підлягає заміні після спрацьовування запобіжника. Вона є корпусом, у якому розташований *плавкий елемент*, що призначений для розплавлення під дією струму, який перевищує деяке визначене значення впродовж визначеного часу;



- *основа запобіжника* – незнімна частина запобіжника з контактами та выводами;
- *тримач плавкої вставки* – знімна частина запобіжника, призначена для утримання його плавкої вставки;
- *калібрувальна втулка* – додаткова частина основи, призначена для досягнення певного ступеня невзаємозамінності;
- *контакти плавкого запобіжника* – струмоведуча частина, що забезпечує електричний зв'язок контактів плавкого запобіжника з підвідними провідниками;
- *тримач плавкого запобіжника* – поєднання основи запобіжника з тримачем плавкої вставки (на практиці при вживанні терміну „тримач плавкого запобіжника” розуміють, якщо не вимагається чіткого розрізнення, основу плавкого запобіжника та/або тримач плавкої вставки);
- *показчик (індикатор) спрацьовування* – частина запобіжника, яка призначена для позначення спрацьовування запобіжника.

Будь-який запобіжник складається із *знімних* та *незнімних* частин, а також із *замінюваних* та *незамінюваних* частин, причому основа запобіжника є незнімною та незамінюваною частиною, а вставка знімною та замінюваною частиною (див.рис.1). Незамінювана частина (основа) 4 монтується у розподільному пристрої та приєднується до зовнішніх кіл за допомогою выводів 5. Отже, ця частина запобіжника не може бути механічно демонтована без електричного демонтажу. Інші незамінювані частини, а саме тримач вставки 1, калібр, або калібрувальна втулка 3, а також корпусні ізоляційні деталі є знімними – такими, що можуть бути механічно демонтовані без електричного демонтажу. Єдиною замінюваною частиною, тобто такою, яку обов'язково треба замінити після спрацьовування запобіжника, є плавка вставка 2. Плавка вставка запобіжника зазвичай є знімною.

## 1.2. Основні засади функціонування

**1.2.1. Будова плавких вставок.** Будова плавкої вставки визначається серією плавкого запобіжника. В Європі найбільш розповсюджені такі серії плавких запобіжників (п.1.8.1):

- серія NH з призматичними плавкими вставками і ножевими контактами;
- серії D, D0 – з круглими плавкими вставками і ковпаковими контактами;
- серії CH – з циліндричними плавкими вставками і ковпаковими контактами.

Будова плавких вставок призматичної та циліндричної форми показана на рис.2 і 3.

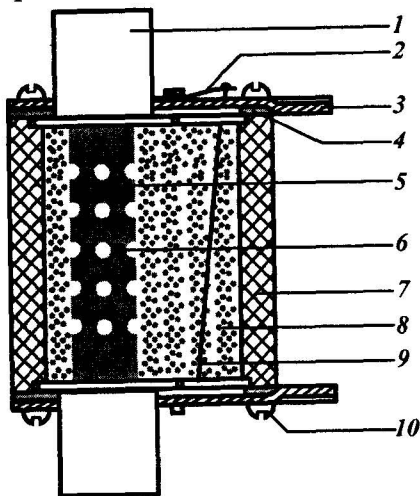
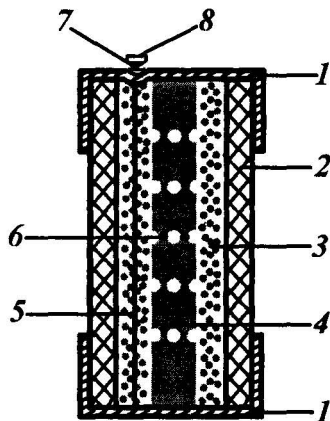


Рис.2. Будова плавкої вставки силового запобіжника серії NH:

- 1 – ножеподібні контакти;
- 2 – показчик спрацьовування запобіжника;
- 3 – захисні пластини (бокові накривки);
- 4 – азбестові прокладки; 5 – плавкий елемент;
- 6 – напайка металу з низькою температурою плавлення;
- 7 – керамічний корпус; 8 – кварцовий пісок;
- 9 – плавкий провід показчика; 10 – стяжні гвинти



*Рис.3. Будова плавкої вставки силового запобіжника серії СН:*

*1 – кінцевий ковпак; 2 – керамічний корпус;*

*3 – кварцовий пісок; 4 – плавкий елемент;*

*5 – плавкий провід показчика;*

*6 – напайка металу з низькою температурою плавлення;*

*7 – пружина; 8 – диск індикатора*

Робочим органом плавкої вставки, який визначає основні характеристики запобіжника, є плавкий елемент.

Плавкий елемент вставки виготовляється з найвищою точністю з мідної або срібної стрічки тощо.

Найкращим матеріалом для плавкого елемента є **срібло**, тому що воно має високу і стабільну електричну провідність. Срібні плавкі елементи добре працюють у безперервному режимі, при циклічних навантаженнях і перевантаженнях, на повітрі й у піщаному наповнювачі. Після закінчення цих впливів електричний опір срібного плавкого елемента повертається до вихідного значення. Плавкі елементи зі срібла мають максимальний порівняно з усіма іншими використовуваними металами термін служби. Срібло має фізичні властивості, що позитивно впливають на захисні характеристики запобіжників, низькі значення питомої теплоємності та питомої теплоти плавлення.

Срібло володіє добрими технологічними властивостями: легко піддається точному штампуванню, зварюванню і пайці, не вимагаючи при цьому попередньої обробки.

Під впливом високих температур срібло може окислюватися, але оксиди срібла нестійкі, і при температурі вище від 180 °C вони відновлюються до чистого срібла.

Найбільш близькими до срібла за електрофізичними властивостями є мідь, завдяки чому вона також широко використовується у виробництві запобіжників. Однак мідь інтенсивно окислюється, а її оксид стабільний аж до температури плавлення міді. Завдяки своїй стабільності оксидна плівка могла б бути захисною, якби не механічні напруження, що виникають при зміні температури і перешкоджають адгезії плівки до чистого металу. Унаслідок впливу цих сил оксидна плівка міді розтріскується і відшаровується, полегшуючи тим самим подальший розвиток корозійних процесів. Термін служби плавких елементів з міді набагато коротший, ніж елементів зі срібла. Особливо чутливі плавкі елементи з міді до циклічних навантажень: сумарна тривалість протікання струму до розплавлення плавкого елемента з міді при циклічному навантаженні набагато менша від тривалості протікання струму через цей же плавкий елемент у неперервному режимі.

У запобіжниках з мідними плавкими елементами температура плавкого елемента при невеликих перевантаженнях близька до температури плавлення; це призводить до значного нагріву елементів конструкції запобіжника, що в деяких випадках є небажаним. Тому на практиці для зниження температури плавлення плавкого елемента використовують так званий *металургійний ефект*, який полягає в наступному. На мідний плавкий елемент напаяють метал з низькою температурою плавлення (як правило, олово, температура плавлення якого 232 °C). Суть використання металургійного ефекту полягає в тому, що при нагріванні плавкого елемента до температури плавлення олова, воно розплавляється, розчиняє в собі матеріал плавкого елемента, і тим самим зменшує

поперечний перетин і середню температуру плавкого елемента при його спрацьовуванні.

Значне поширення як матеріал плавких елементів одержує **алюміній**. Електричний опір алюмінієвих плавких елементів **стабільний** при тривалому протіканні номінального струму, що зумовлено наявністю тонкої оксидної плівки, що захищає метал від подальшого окислювання і яка не руйнується при нагріванні аж до температури плавлення. Однак саме наявність цієї плівки утруднює процеси паяння і зварювання алюмінієвих плавких елементів.

З інших металів, що застосовуються для виготовлення плавких елементів, слід відзначити **цинк**. Він має низьку температуру плавлення, що важливо для плавкого елемента, тому що при цьому значно знижуються вимоги до термостійкості інших елементів конструкції. Теплофізичні характеристики цинку забезпечують досить низьке значення енергії плавлення. Істотним недоліком є відносно швидке старіння плавких елементів при експлуатації і під час зберігання.

Для цинку, як і для міді, для збільшення терміну служби необхідне захисне покриття, що перешкоджало б інтенсивному старінню при тривалому протіканні струму в безперервному і циклічному режимах.

Рівномірна товщина стрічки, добра провідність і точність вирубного штампу забезпечують високу точність часоеструмової характеристики і малі втрати. Кількість звужень (вузьких місць зумовлених отворами) в одному ряді визначається номінальною напругою. На кожні 100 вольт припадає одне звуження. Вставки запобіжників, призначених для захисту напівпровідникових пристроїв, мають подібну конструкцію, але плавкі елементи виготовляють із срібла, а металургійний ефект не застосовують.

Прямокутні або круглі у поперечному перетині *корпуси плавких вставок* мають циліндричні отвори усередині. Корпуси виготовляють з електрофарфору, ультрафарфору (надміцний фарфор) або стеатиту. По кутах торців корпус прямокутної форми має отвори з різьбою, в які угвинчуються гвинти. Вони закріплюють

бокові накривки до корпусу. Корпус запобігає викиду гарячих газів і рідкого металу в довкілля і повинен витримувати високі температури та тиски при вимиканні (спрацьовуванні) запобіжника.

*Захисні пластини* (бокові накривки) мають *виступи* для обслуговування запобіжника (заміни запобіжників) за допомогою спеціального, стандартизованого відповідно до NH-запобіжників, пристрою для монтажу плавкої вставки. Разом з керамічним корпусом захисні пластини утворюють камеру (оболонку), стійку до тиску, спричиненого комутаційною дугою.

*Кристалічний кварцовий хімічно і мінералогічно чистий (вміст  $SiO_2 > 99,5\%$ ) пісок* є важливим чинником для обмеження струму. Завдяки просушуванню він не має кристалізованої води. Для вимикальної здатності важливими є визначений розмір піщинок (кристалів) й оптимальна густина. Кварцовий пісок сприяє відведенню тепла від плавкого елемента у нормальному режимі і забезпечує високу ефективність гасіння електричної дуги, яка виникає після розплавлення плавкого елемента в аварійних режимах (перевантаження та коротке замикання). Для запобігання висипанню піску між корпусом та накривкою встановлюються ущільнювачі – азбестові прокладки.

Захисні характеристики запобіжників істотно залежать від ущільнення наповнювача, тому що навіть у плавких вставках, до межі заповнених піском, але без додаткового ущільнювального впливу, при транспортуванні й експлуатації виникають повітряні порожнини значних розмірів, що при вимиканні запобіжником кіл в аварійному режимі призводить до значного збільшення тривалості горіння дуги, тобто погіршенню захисних характеристик або навіть до аварій.

Під час ущільнення відбувається пластична деформація суміші за рахунок переміщення зерен одне відносно одного і заповнення пор між зернами. Після доброго ущільнення пісок набуває однорідної за щільністю структури, за якої більшість пор має однаково малі розміри.

*Показчики спрацьовування запобіжників.* Плавкі елементи сучасних запобіжників знаходяться усередині непрозорого корпусу, і стан плавкого елемента візуально визначити неможливо. У зв'язку з цим застосовуються різного типу показчики, що показують стан плавкого елемента.

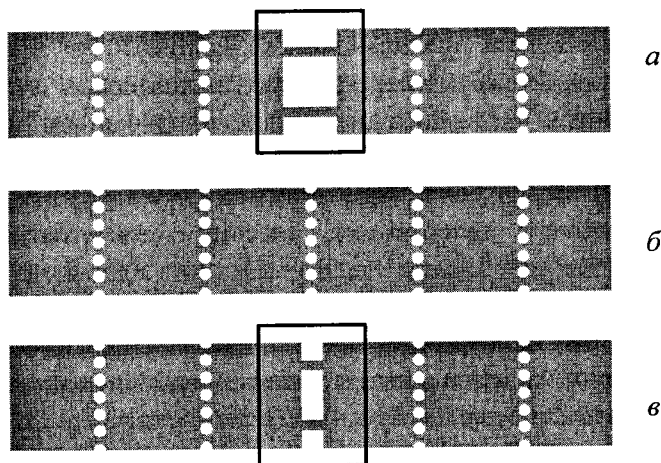
Найчастіше застосовуються показчики спрацьовування, які використовують той самий принцип, що й основний плавкий елемент, – розплавлення під дією надструму. Для створення такого показчика тонкий металевий провід з достатньою механічною міцністю на розтягування електрично приєднується паралельно до основного плавкого елемента, закріплюється з однієї сторони наглухо, з іншого боку – підтягується за допомогою пружини в спеціальному отворі і поміщається в кварцовий пісок. Його довжина зазвичай дорівнює довжині плавкого елемента (для надійного гасіння дуги при номінальній напрузі). При протіканні через запобіжник надструму перегорять основні плавкі елементи і провід показчика. Після його перегорання звільняється пружина, що виштовхує штифт яскравого кольору, який є показчиком того, що запобіжник згорів. Іноді штифт служить ударником, що діє на допоміжні контакти запобіжника, внаслідок чого сигнал про спрацьовування запобіжника передається на відповідні органи керування.

Замість циліндричної пружини іноді застосовують плоску пружину, закріплену на накривці вставки, – розімкнене положення пружини свідчить про спрацьовування плавкої вставки.

*Контакти* НН-запобіжників мають ножеподібну форму і з'єднують електрично і механічно плавку вставку з колодкою. Вони виготовляються з чистої або з легованої міді з посрібленою зовнішньою поверхнею. В деяких особливих випадках, коли необхідно забезпечити стійкість до корозії через вплив довкілля, ножові контакти покривають шаром олова або нікелюють. Необхідний контактний тиск здійснюється за рахунок пружності губок контактів основи і за допомогою контактних пружин.

Конструкція контактів запобіжника повинна забезпечувати міцне утримання плавкої вставки від переміщення її під дією власної ваги й електродинамічних сил, що виникають при струмах перевантаження і КЗ, а також механічних впливах. При цьому не повинен порушуватися електричний контакт між основою і тримачем плавкої вставки, тримачем плавкої вставки і плавкою вставкою, плавкою вставкою і основою.

**1.2.2. Принцип роботи плавких запобіжників.** Мова йтиме про вузькі місця плавкого елемента, які є найслабшими провідними ділянками в струмоведучому колі. Вони нагріваються швидше і сильніше, ніж інші ділянки кола (рис.4).



*Рис.4. Виконання пластин плавкого елемента, яке визначає плавлення: а – швидке; б – повільне; в – комбіноване*

Плавкий елемент, який розташовується строго по центрі корпуса, виконується з однієї або декількох паралельних пластин з отворами, що зменшують їхній переріз на окремих ділянках. Конфігурація отворів залежить від необхідної швидкості переривання кола. Сумарний переріз усіх паралельних вузьких



ділянок НН-запобіжника для захисту кабелів і провідників складає лише близько 1–2% від поперечного перерізу під'єданого проводу. У запобіжниках, які призначені для захисту напівпровідників, ця площа менша від одного відсотка.

Одночасне виникнення декількох електричних дуг у звужених провідних каналах пластин дозволяє задіяти для розсіювання їхньої енергії більший об'єм наповнювача. Під час протікання номінального струму надлишкове тепло, яке виділяється на звужених ділянках, завдяки високій теплопровідності матеріалу пластин встигає розповсюдитися до більш широких частин, нагріваючи до сталої температури всі струмоведучі частини запобіжника.

Конструкція запобіжника повинна враховувати залежність між його розрахунковою *вимикальною здатністю* і розрахунковою *потужністю, що розсіюється тримачем* (термічною стійкістю, обумовленою *інтегралом Джоуля*) від моменту початку протікання струмів (перевантаження або КЗ) до моменту вимикання кола. При перевантаженні час спрацьовування запобіжника є кратний секундам; тільки частина тепла встигає виділятися на широких ділянках, нагрівання звужених ділянок йде швидше, і вставка плавиться в найгарячішому місці (рис.4, а). У випадку КЗ нагрівання звужених каналів настільки інтенсивне (час спрацьовування кратний мілісекундам), що відведенням від них тепла можна знехтувати. Плавка вставка перегоряє в декількох звужених місцях (рис.4, б). Якщо пластині надати спеціальну форму (рис.4, а, в), то електродинамічні сили, зумовлені струмом КЗ, розірвуть її до того, як вона встигне розплавитися (на рис.4, а, в місце розриву відзначене прямокутником). Розглянуті способи прискорення спрацьовування плавких запобіжників показують одну з основних їхніх переваг – *струмообмежувальну дію* під час КЗ, оскільки розрив вставки і деіонізація дуги між піщинками наповнювача відбувається значно раніше, ніж струм КЗ досягне усталеного значення, знижуючи, тим самим, руйнівну дію електродинамічних навантажень у колі.

### 1.3. Обмеження запобіжником струмів короткого замикання

Струмообмежувальна здатність є, мабуть, найважливішою властивістю (характеристикою) плавких запобіжників: у цьому сенсі запобіжники перевершують всі інші засоби захисту від надструмів. Струмам короткого замикання, як правило, притаманне дуже високе значення амплітуди, так званий ударний струм короткого замикання. Дія його магнітної сили ставить високі вимоги до струмоведучих провідників, їхніх тримачів, ізоляції, трансформаторів тощо. Завдяки струмообмежувальним запобіжникам магнітна сила короткого замикання зменшується до рівня, який не вимагає додаткових затрат. Струмообмежувальні запобіжники суттєво зменшують не тільки максимальне значення струму, а також енергію, яка протікає через запобіжник. Це ж стосується і руйнівної енергії електричної дуги, яка викликає пошкодження в мережі. Отже, обмеження струму КЗ є рівноцінним мінімізації збитків й уникненню загрози персоналу при роботі під напругою.

Рис.5 демонструє принцип обмеження амплітуди струму КЗ.

За час вимикання запобіжника  $t_g$ , який є сумою часу плавлення  $t_s$  та часу горіння дуги  $t_d$  у запобіжнику виділяється тепло, величина якого пропорційна інтегралові Джоуля

$$\int_0^{t_g} i_c^2 dt = I_p^2 t_{gg},$$

де  $I_p$  – діюче значення очікуваного струму;

$t_{gg}$  – віртуальне (уявне) значення часу вимикання.

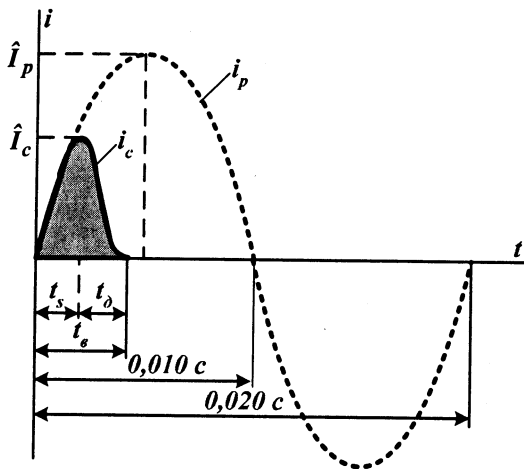


Рис.5. Обмеження струму плавким запобіжником:  
 $i_p$  – очікуваний (розрахунковий) струм КЗ;  
 $i_c$  – обмежений (пропущений) струм КЗ;  
 $t_s$  – час плавлення запобіжника до появи дуги;  
 $t_d$  – час існування дуги;  
 $t_g$  – час вимикання запобіжника;  
 $\hat{I}_c$  – пікове (максимальне) значення пропущеного струму;  
 $\hat{I}_p$  – пікове (максимальне) значення очікуваного струму

На практиці замість коректного запису  $I_p^2 t_{вв}$  застосовують умовний запис інтеграла Джоуля –  $I^2 t$ , маючи на увазі діюче значення очікуваного струму і віртуальний час (переддуговий або вимикання). Детальніше про інтеграл Джоуля йдеться у підрозділі 1.6.

Інтеграл Джоуля інакше називають **коефіцієнтом пропускання енергії**, або **питомою розсіюваною енергією**. Він відповідає енергії, виділеній у ланці, опір якої  $R$  дорівнює 1 Ом. Дійсно, якщо повна енергія  $W = RI^2 t$ , то питома енергія  $E = I^2 t$  [Дж/Ом].

Очевидно, чим більший номінальний струм запобіжника, тим масивнішим є його плавкий елемент і тим більша його енергія вимикання, і навпаки. Отже, якщо запобіжник на певний номінальний струм встигає згоріти ще до досягнення піку *очікуваного струму*, то запобіжник на відносно більший струм не згорить навіть до часу, коли очікуваний струм досягне свого піку. Може трапитись і таке, що запобіжник відносно малого номінального струму не згорить до піку очікуваного струму, якщо очікуваний струм є недостатньо великим. Але обмежувальна здатність запобіжника тим і ціниться, що запобіжник обмежує саме великі струми КЗ.

**1.3.2. Для визначення обмежувальної здатності плавких запобіжників користуються так званими обмежувальними характеристиками, які будують для окремих серій і типів плавких запобіжників.**

Обмежувальна характеристика за стандартом називається *характеристикою пропущеного струму*. Це залежність амплітуди обмеженого струму  $\hat{I}_c$  від діючого значення очікуваного струму  $I_p$ .

Очікуваний струм кола – це струм, який протікав би по колі, якщо б увімкнений в нього запобіжник був замінений провідником.

І функція, і аргумент подаються на графіку у логарифмічній шкалі (рис.6). На графіку лінія *A* відповідає піковому значенню очікуваного струму. Воно дорівнює  $\sqrt{2}I_p$ . Бокові криві, що відходять від лінії *A* (лінію *B* наразі облишимо), це так звані характеристичні криві обмеження пікового струму. Для кожного окремого запобіжника на певний номінальний струм є своя характеристична крива.

Ефект обмеження пікового струму відбувається тільки тоді, коли очікуване діюче значення змінної складової струму КЗ досягає певного рівня. Наприклад, на приведеному вище графіку 100-амперний запобіжник почне вимикати піковий струм при очікуваному діючому значенні струму КЗ 5 кА (точка *a*). Той же

запобіжник при очікуваному діючому значенні струму КЗ 20 кА обмежить піковий струм до 10 кА (точка *b*).

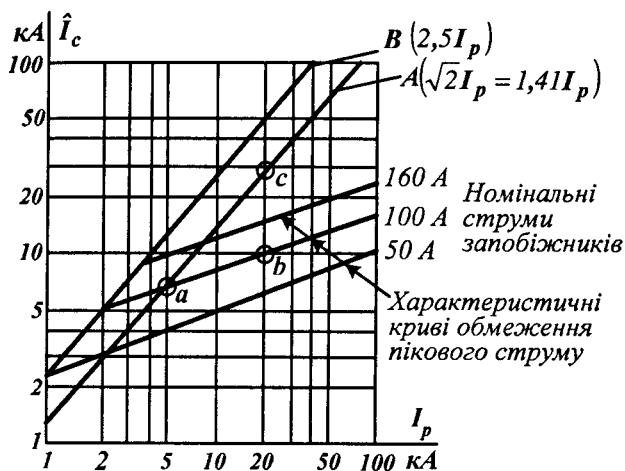


Рис.6. Характеристика пропущеного струму низьковольтних плавких запобіжників:

$I_p$  – діюче значення періодичного очікуваного струму КЗ;

$\hat{I}_c$  – пікове значення пропущеного струму

В останньому випадку за відсутності струмообмежувального запобіжника піковий струм міг би досягти 28 кА (точка *c*).

На нижніх рівнях розподілу електроенергії  $R$  є великим, він значно переважає  $X_L$  і рівні струмів короткого замикання звичайно невеликі. Це означає, що рівень струму КЗ у такому разі може не досягнути достатньо високих значень для того, щоб викликати обмеження пікового струму.

**Одна особливість.** Дотепер ми розглядали лише періодичну складову струму КЗ, хоча відомо, що при КЗ окрім періодичної складової можлива й аперіодична складова перехідного процесу. Величина аперіодичної складової визначається співвідношенням індуктивного  $X$  та активного  $R$  опорів ланки трансформатор–лінія електропередачі до місця КЗ. У разі КЗ на незначній від

трансформатора відстані співвідношення  $X/R$  є настільки великим, що аперіодична складова практично досягає амплітуди періодичної складової (рис.7). Якщо КЗ має місце на значній від трансформатора відстані, то опір  $R$  зростає, співвідношення  $X/R$  стає незначним і практично можна рахуватись лише з періодичною складовою струму КЗ. Тому на обмежувальних характеристиках крім кривої  $A$  подають криву  $B$ , яка відповідає найбільшій сумі періодичної та спадаючої аперіодичної складової струмів КЗ. За нормами ІЕС така сума дорівнює  $2,5I_p$  (див.рис.6).

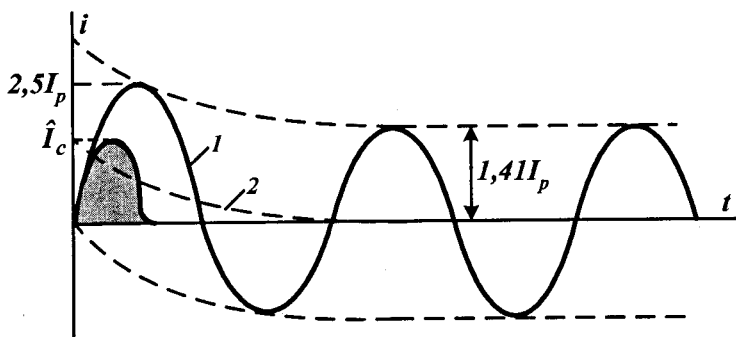


Рис.7. Зміна струму КЗ в часі:

1 – повний очікуваний струм КЗ;

2 – аперіодична складова струму КЗ;

$I_p$  – діюче значення періодичної складової очікуваного струму короткого замикання;

$\hat{I}_c$  – пікове значення пропущеного струму

## 1.4. Часострумові характеристики запобіжників

1.4.1. Розглядаючи фізичні явища, що відбуваються під час КЗ, мова йшла про час вимикання запобіжника, час плавлення, інакше переддуговий час та час існування дуги, інакше час дуги. У разі КЗ переддуговий час та час дуги є сумірними і розглядаються як віртуальні, а не реальні, що не зовсім коректно, тому на практиці замість часу вимикання користуються інтегралом Джоуля, про що мова йтиме далі. При звичайних перевантаженнях до уваги береться час вимикання, причому для часу більше від 0,1 с можна знехтувати часом дуги і переддуговий час є часом вимикання запобіжника.

Криву залежності переддугового часу або часу вимикання від очікуваного струму у встановлених умовах називають часострумовою характеристикою (рис.8).

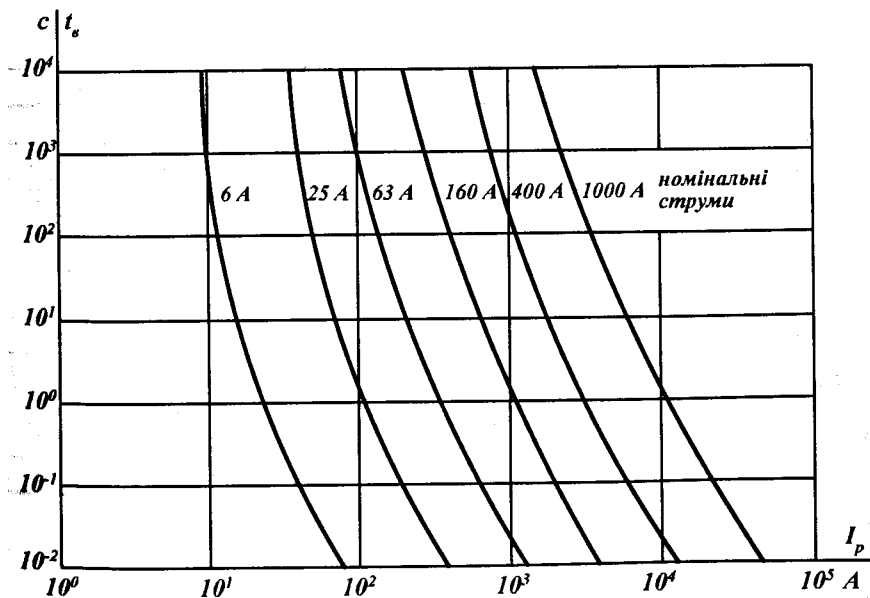


Рис.8. Часострумові характеристики запобіжників

Для кращого порівняння кривих згідно з міжнародним стандартом використовується логарифмічна шкала. Час виражається в секундах і відкладається на осі ординат в логарифмічному масштабі. Кратність струму, тобто відношення аварійного струму до номінального, виражається безрозмірною величиною і відкладається по осі абсцис також в логарифмічному масштабі. Допускається вираження струму безпосередньо в амперах. Часоструміві характеристики є важливими даними для визначення захисної дії і координації запобіжників з іншими захисними пристроями.

Для спрощення роботи з графіками часострумівих характеристик (логарифмічна шкала) фірми-виробники у своїх каталогах наводять доповнення. Наприклад, в табл.1 наведені величини максимальних струмів вимикання плавких вставок запобіжників серії D01, D02 словенської фірми ETI.

Таблиця 1

**Максимальні величини струмів вимикання  
запобіжників серії D01, D02**

$I_n$	$I_{max}$ для $t=1\text{год}$		$I_{max}$ для $t=5\text{ с}$		$I_{max}$ для $t=0,4\text{ с}$		$I_{max}$ для $t=0,2\text{ с}$	
	A	k	A	k	A	k	A	k
2	4,2	2,1	9,72	4,8	16,9	8,4	20,0	10,0
4	8,4	2,1	18,73	4,6	33,0	8,2	40,3	10,0
6	11,4	1,9	28,30	4,7	54,2	9,0	60,7	10,1
10	19,0	1,9	48,10	4,8	86,2	8,6	100,0	10,0
16	25,6	1,6	70,50	4,4	120,9	7,5	133,6	8,3
20	32,0	1,6	88,22	4,4	159,5	7,9	173,6	8,6
25	40,0	1,6	116,5	4,6	211,5	8,4	229,1	9,1
35	56,0	1,6	178,8	5,1	349,5	9,9	395,4	11,2
50	80,0	1,6	263,3	5,2	507,4	10,1	532,5	10,6
63	100,8	1,6	338,3	5,3	655,8	10,4	745,9	11,8

$I_n$  – номінальний струм плавкої вставки;

$I_{max}$  – максимальний струм вимикання;

$t$  – час вимикання;

$k = I_{max}/I_n$



**1.4.2. Зона розкиду часострумових характеристик, умовні струми.** Виготовити запобіжники таким чином, щоб вони функціонували точно за своїми часострумовими характеристиками затратно. Часоструміві характеристики, які подає у документації виробник є усередненими між двома умовними характеристиками, які утворюють *зону часострумових характеристик*. Зона визначається як область, обмежена мінімальною переддуговою часострумовою характеристикою і максимальною часострумовою характеристикою вимикання у встановлених умовах (рис.9).

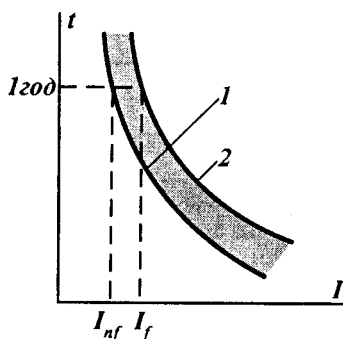


Рис.9. Зона часострумових характеристик:

- 1 – мінімальна переддугова часоструміві характеристика;
- 2 – максимальна часоструміві характеристика вимикання

Зона часоструміві характеристик не може бути довільною. Вона повинна відповідати стандартним вимогам. Для цього вводять поняття *умовного струму неплавлення*  $I_{nf}$  – це величина струму, який дана плавка вставка може витримати встановлений (умовний) час без плавлення, а також *умовного струму плавлення*  $I_f$  – величина струму, який викличе спрацювання плавкої вставки впродовж встановленого (умовного) часу. Умовні струми та час регламентовані стандартом.

У табл.2 для прикладу подано зони часоструміві характеристик низьковольтних запобіжників категорії gG та gM (категорії запобіжників розглядаються у п.1.5.5).

У стандарті ІЕС 60269-1 описані випробування, які вимагають, щоб робоча крива конкретного випробовуваного запобіжника лежала між двома граничними кривими (див.рис.9).

Таблиця 2

**Зони часострумівих характеристик  
для низьковольтних плавких запобіжників  
категорій gG і gM (ІЕС 60269-1 і 60269-2-1)**

Номинальний струм $I_n$ , А	Умовний струм неплавлення $I_{nf}$ , А	Умовний струм плавлення $I_f$ , А	Умовний час, год
$I_n \leq 4$	$1,5I_n$	$2,1I_n$	1
$4 < I_n \leq 16$	$1,5I_n$	$1,9I_n$	1
$16 < I_n \leq 63$	$1,25I_n$	$1,6I_n$	1
$63 < I_n \leq 160$	$1,25I_n$	$1,6I_n$	2
$160 < I_n \leq 400$	$1,25I_n$	$1,6I_n$	3
$400 < I_n$	$1,25I_n$	$1,6I_n$	4

Несприятлива ситуація складається у випадку низьких рівнів перевантаження: різниця у часі вимикання запобіжника, характеристика якого прилягає до переддугової кривої, і запобіжника, характеристика якого прилягає до кривої вимикання, при одному і тому ж струмі перевантаження є значною. Це може призвести до непередбачуваного теплового перевантаження кабеля, якщо запобіжник вибирався за усередненою часострумовою характеристикою, а його реальна характеристика прилягає до кривої вимикання.

Аналізуючи зони часострумівих характеристик плавких запобіжників та автоматичних вимикачів при низьких перевантаженнях доходимо висновку, що автоматичні вимикачі за шириною зони не поступаються плавким запобіжникам, а часто їх зона є навіть виграшно вужчою.

Для прикладу розглянемо запобіжник на  $I_n=32$  А. Згідно з табл.2 розкид його характеристик в умовній зоні складає:

$1,6I_n - 1,25I_n = 0,35I_n$ . При виборі кабеля для того, щоб уникнути наслідків можливого перевантаження належить орієнтуватись на крайнє значення струму, тобто  $32 \times 1,6 = 51,2 \text{ А}$ .

Для порівняння візьмемо промисловий автоматичний вимикач, розкид параметрів якого в умовній зоні складає  $1,3I_n - 1,05I_n = 0,25I_n$ , а максимальне можливе перевантаження  $32 \times 1,3 = 41,6 \text{ А}$ . Як видно (рис.10), і за шириною умовної зони розкиду і за можливим перевантаженням запобіжник в зоні малих перевантажень поступається автоматичному вимикачеві.

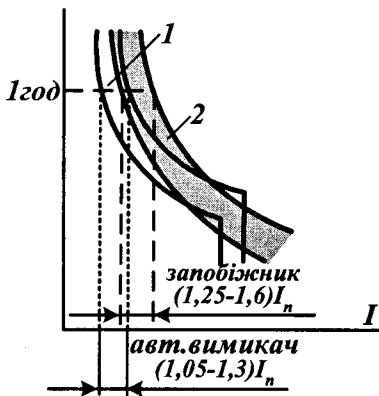


Рис.10. Порівняння часострумівих характеристик плавких запобіжників та автоматичних вимикачів при низьких перевантаженнях:

- 1 – зона часострумівих характеристик автоматичного вимикача;
- 2 – зона часострумівих характеристик запобіжника

## 1.5. Вимикальна здатність плавких вставок.

### Типи плавких вставок

**1.5.1. Вимикальна здатність** плавкої вставки це *значення очікуваного струму* (для змінного струму – діюче значення періодичної складової), який здатна вимкнути плавка вставка при встановленій напрузі та встановлених умовах експлуатації (наприклад, вимикання двигунів, конденсаторів тощо) і обслуговування.

Вимикальна здатність тісно пов'язана з поняттями:

- діапазон вимикання;
- тип плавкої вставки, який у свою чергу визначається діапазоном вимикання і категорією застосування.

**1.5.2. Діапазон вимикання** – це інтервал очікуваних струмів, в середині якого забезпечується вимикальна здатність плавкої вставки.

Існують вставки, які можуть забезпечити діапазон вимикання для очікуваних струмів від  $I_f$  до номінальної вимикальної здатності (номінального струму КЗ).

Інші забезпечують вимикальну здатність в інтервалі від найменшого, показаного на часострумовій характеристиці ( $k_f I_n$  на рис.11), до номінальної вимикальної здатності.

**1.5.3. Типи плавких вставок\***. Розрізняють два типи плавких вставок:

- *плавка вставка типу g* – струмообмежувальна вставка, яка здатна в установлених умовах вимкнути усі струми, починаючи від  $I_f$  аж до номінальної вимикальної здатності;
- *плавка вставка типу a* – струмообмежувальна вставка, яка здатна в установлених умовах вимкнути всі струми в інтервалі між найменшим струмом, котрий показаний на часострумовій

характеристиці ( $k_1 I_n$  на рис.11) та номінальною вимикальною здатністю.

\*подальше, якщо це не порушує однозначності, то замість поняття „плавка вставка” вживають загальне поняття „запобіжник”.

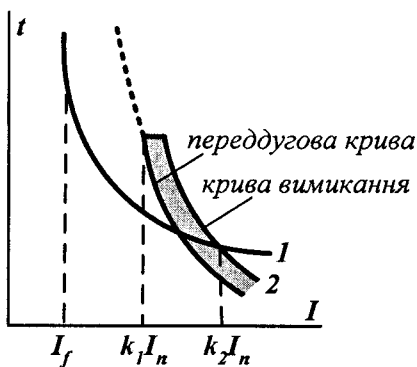


Рис.11. Часо-струмові характеристики різних типів плавких вставок:

- 1 – часо-струмова характеристика комутаційного апарата (контактор з тепловим реле, автоматичний вимикач);
- 2 – часо-струмова характеристика плавкої вставки типу а ;
- $I$  – діюче значення періодичної складової кола;
- $I_n$  – номінальний струм плавкої вставки та комутаційного апарата

Як видно з рис.11 запобіжник типу а не захищає об'єкт в інтервалі струмів до  $k_1 I_n$ , перебуваючи в нерозплавленому стані і його ефективна дія починається лише від струмів  $k_2 I_n$ , якщо він увімкнений у ланці послідовно з тепловим реле.

На практиці широко використовуються запобіжники типу аМ (М – категорія застосування, див. п.1.5.4).

Запобіжники типу аМ (для захисту електродвигунів) забезпечують захист тільки від струмів короткого замикання і повинні обов'язково застосовуватися в поєднанні з іншим комутаційним апаратом (наприклад, контакторами, оснащеними тепловим реле, або автоматичними вимикачами) з тим, щоб

забезпечити захист від перевантаження при струмах менших від  $4I_n$ . Тому вони не можуть застосовуватися автономно. Оскільки запобіжники типу  $aM$  не призначені для захисту від малих струмів перевантаження, для них не встановлюються рівні умовних струмів плавлення і неплавлення. Робочі криві для випробувань цих запобіжників наводяться для струмів вимикання, що перевищують наближено  $k_1 I_n = 4I_n$ , і робочі криві запобіжників повинні розташовуватись в заштрихованій області (див.рис.11).

**1.5.4. Категорія застосування запобіжників** визначає з певною точністю часоструміві характеристики, значення умовних часу та струмів  $I_{nf}$  та  $I_f$ , зону; це сукупність вимог, які ставляться до умов, в яких плавка вставка виконує своє призначення. Іншими словами, для характерних груп обладнання розроблені запобіжники з відповідними характеристиками. Міжнародно стандартизованими є запобіжники для захисту електропроводів, асинхронних двигунів, напівпровідникових елементів, трансформаторів тощо.

Категорія застосування позначається буквою, яка ставиться на другому місці поряд з буквою, що визначає діапазон вимикання, наприклад,  $gG$  – повнодіапазонний запобіжник для загального користування, в основному для захисту кабелів і ліній електропередачі.

**1.5.5. Типи, інакше категорії запобіжників.** Поняття „тип діапазону вимикання” та „категорія застосування” плавкої вставки сукупно визначають тип, інакше категорію запобіжника. Можлива й інша назва, наприклад, клас запобіжника тощо.

В табл.3 наведені категорії запобіжників і рекомендовані сфери їх застосування, а на рис.12 показаний загальний вигляд часострумівих характеристик основних категорій плавких запобіжників.

## Категорії запобіжників і пристрої, які ними захищаються

Категорія запобіжника	Сфера застосування
gG	Повнодіапазонний запобіжник для загального використання, в основному для захисту кабелів і ліній електропередач.
aM	Частководіапазонний запобіжник для захисту електричних двигунів.
gR	Швидкодіючий повнодіапазонний запобіжник для захисту напівпровідникових елементів.
gS	Швидкодіючий повнодіапазонний запобіжник для захисту напівпровідникових елементів підвищеної потужності.
aR	Частководіапазонний запобіжник для захисту напівпровідникових елементів від КЗ.
gTr	Повнодіапазонний запобіжник для захисту трансформаторів. Параметри цього запобіжника задані в кВА замість номінального струму в А.
gM	Повнодіапазонний запобіжник для захисту двигунів з двома номінальними струмами (поширений у Великобританії).
gN	Північноамериканський запобіжник для загального використання для захисту кабелів і ліній електропередач (електропроводки).
gD	Північноамериканський запобіжник з похилою характеристикою для загального використання і захисту електродвигунів.
gl	Застаріла ІЕС-категорія (повільна), замінена на gG.
gll	Застаріла ІЕС-категорія (швидка), замінена на gG.
gL	Застаріла VDE(стандарт ФРН)-категорія, замінена на gG.
gRL	Позначення фірми, замінене на gS.
gGR	Позначення фірми, замінене на gS.
gT	Застаріла VDE-категорія (повільна), замінена на gG.
gF	Застаріла VDE-категорія (швидка), замінена на gG.

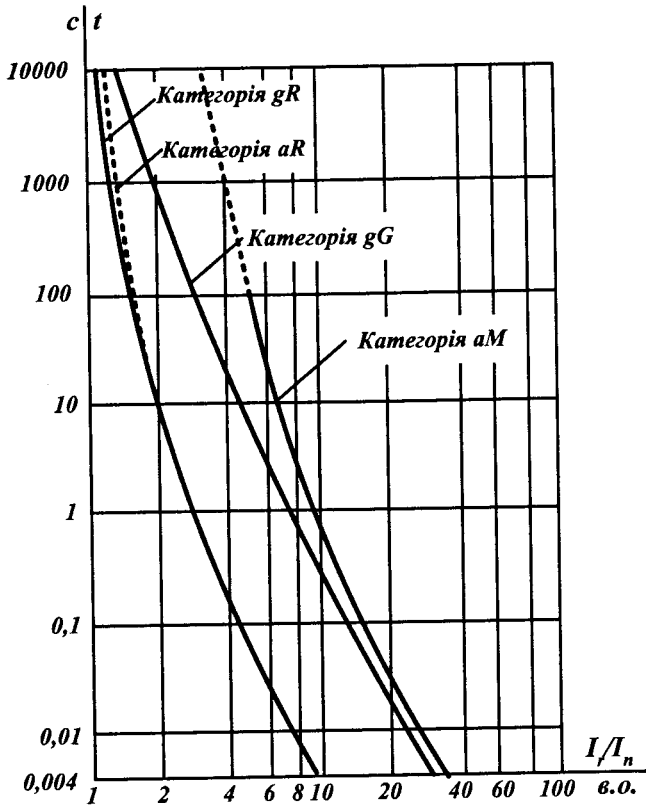


Рис.12. Вигляд часострумових характеристик основних категорій плавких запобіжників:

$I_r$  – біжуче значення струму;  $I_n$  – номінальний струм



## 1.6. Характеристика $I^2t$

1.6.1. Як було сказано вище, у разі надструмів близьких до КЗ визначити експериментально переддуговий час та час спрацювання складно. Простіше визначити інтеграл Джоуля. Тому на практиці широко користуються *характеристикою*  $I^2t$  (для переддугового, інакше часу плавлення або для часу вимикання) від очікуваного струму у встановлених умовах, тобто,  $I^2t=f(I_p)$  для різних сталей за величиною напруг тощо.

Звертаються до характеристик  $I^2t$  у випадках, коли стоїть питання селективної роботи двох запобіжників, які розташовані у колі послідовно, тобто, вирішується задача черговості їх спрацювання. Найкращу послугу у вирішенні справи селективної роботи надають часоструміві характеристики. Та коли очікуваний надструм досягає величини, для якої часоструміві характеристики запобіжників відсутні, тоді звертаються до характеристик  $I^2t$ .

**Є ще одна особливість.** Досвід показує, що середньостатистичні часоструміві характеристики, подані виробником, при часі плавлення більше 0,1 с точно відповідають часові плавлення. У разі меншого часу ніж 0,1 с, аж до часу 0,01 с, точність спадає, а при часі плавлення менше 0,01 с (10 мілісекунд) часоструміві характеристики відображають віртуальний час плавлення, який чисто математично отримують з інтеграла Джоуля, тобто з  $I^2t$ . На рис.13 показано метод обчислення віртуального струму.

Крива 1 отримана з експерименту, а площа, яка обмежена кривою 2, є віртуальною, побудованою з розрахунку, що 
$$\int_0^{t_{ог}} i_c^2 dt = I_p^2 t_{ог}$$
. Легко побачити, що віртуальний час  $t_{ог}$  значно відрізняється від реального часу вимикання  $t_{ог}$ .

Віртуальний час вимикання можна використати для порівняння, коли йдеться про теплове навантаження лінії. Але для

вирішення задачі селективної роботи апаратів захисту, коли у колі послідовно стоять плавкий запобіжник та комутаційний механічний апарат, використовувати часострумову характеристику для часу менше від 0,1 с не коректно.

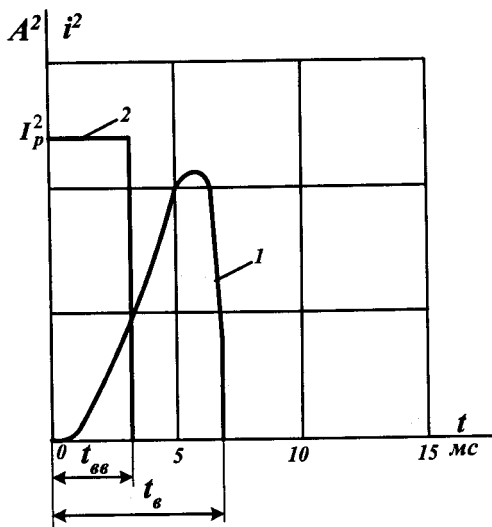


Рис.13. До визначення віртуального часу вимикання:

1 – реальна крива  $i_c^2 = f(t)$ ; 2 – віртуальна крива  $I_p^2 = f(t)$ ;

$I_p$  – діюче значення очікуваного струму;

$t_c$  – реальний час вимикання;  $t_{св}$  – віртуальний час вимикання

Отже, у разі надструмів, які значно перевищують струми перевантаження, аж до струмів КЗ, для вирішення задачі селективної роботи захисних апаратів користуються характеристиками  $I^2t=f(I_p)$ .

**Примітка.** Для переддугowego часу менше від 0,1 с згідно зі стандартом ІЕС виробник повинен надати мінімальне значення переддугowego  $I^2t$  та максимальне значення  $I^2t$  вимикання для встановленої напруги, які є функціями очікуваного струму.

На рис.14 показані характеристики  $I^2t$  для мінімального значення питомої енергії, за яке прийнято енергію переддугowego

стану, запобіжників серій DII, DIII, DIV категорії gG словенського концерну ETI.

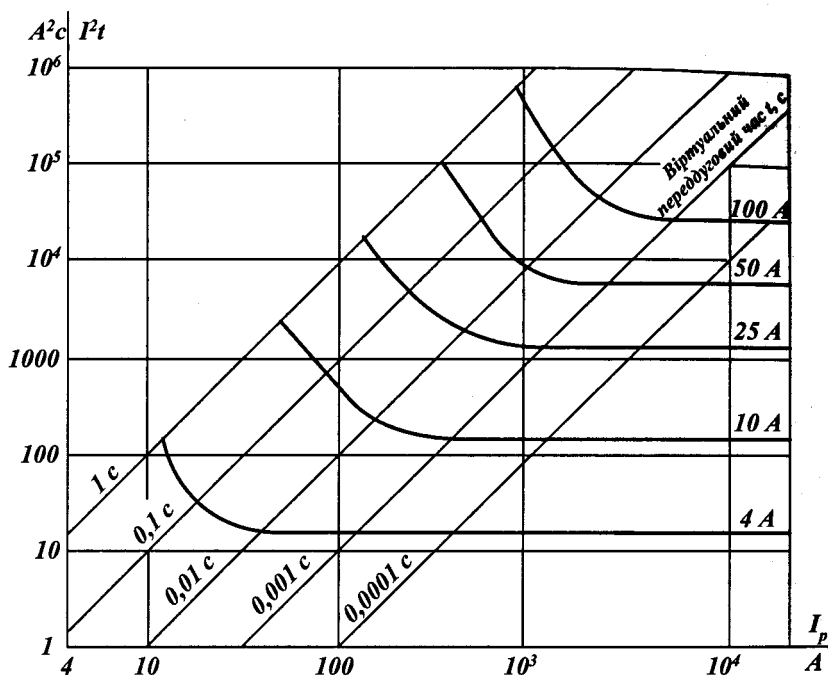


Рис.14. Характеристики переддугового стану  $I^2t=f(I_p)$  запобіжників серій DII, DIII, DIV категорії gG

Аналізуючи характеристики  $I^2t$  доходимо висновку, що при часі менше 0,001 с величина  $I^2t$  зі зростанням очікуваного струму  $I_p$  практично не змінюється. Це дає підставу деяким виробникам подавати характеристику  $I^2t=f(I_p)$  як константу. У табл.4 подано значення  $I^2t_s$  для переддугового стану та після розриву дуги запобіжників NH-00C/gG словенської фірми ETI.

**Значення  $I^2t$ , для переддугового стану та після розриву дуги  
запобіжників NH-00C/gG**

$I_n$	$P_w$	$I^2t_s (1 \text{ мс})$	$I^2t$ , ~220 В	$I^2t$ , ~400 В	$I^2t$ , ~500 В	$I^2t$ , ~690 В
<i>A</i>	<i>Bm</i>	$A^2c$	$A^2c$	$A^2c$	$A^2c$	$A^2c$
2	0,8	3,7	6,6	8,9	10,7	14,8
4	1,3	15,1	22	29	34	44,6
6	2,3	40	58	77	84	90
10	1,5	240	407	610	702	816
16	2,7	550	930	1400	1610	1870
20	2,8	870	1480	2210	2550	2960
25	2,9	1500	2180	3030	3350	3700
35	3,3	3300	4790	6660	7380	8140
50	4,8	6000	8700	12100	13400	14800
63	6,1	9600	13900	19400	21500	23700
80	5,4	19200	24300	37400	43500	51600
100	7,1	31500	39900	61300	71400	84600

$P_w$  – врати потужності у запобіжнику

## 1.7. Селективність при надструмах

**1.7.1. Селективність у захисті** полягає у тому, щоб у випадку аварії у радіальній ланці послідовно розташованих захисних апаратів вимикався лише той апарат, який розташований першим від об'єкта – причини аварії.

Селективність пристроїв захисту є важливою вимогою до надійності постачання в електромережах. До неї можуть ставитись більш чи менш суворі вимоги залежно від об'єкта, який захищається. Причини аварій можуть бути різними: перекося фаз, витік струму, понижена чи підвищена напруга, перевантаження, КЗ тощо. Для кожної причини організовується свій захист. Зупинимось лише на селективності захисту у випадку:

- перевантаження;
- короткого замикання.

Селективність буває:

- повною;
- неповною.

У разі повної селективності за будь-яких надструмів (перевантаження чи КЗ) першим спрацьовує захисний пристрій, розташований ближче до об'єкта аварії.

За неповної селективності вона діє лише в *діапазоні струмів перевантаження*.

Розглянемо декілька конкретних прикладів, на яких з'ясуємо суть сказаного. До уваги братимемо випадки послідовного з'єднання двох запобіжників або комбінації: запобіжник – автоматичний вимикач та автоматичний вимикач – запобіжник.

**1.7.2. Повну селективність при використанні лише запобіжників** легко досягнути, оскільки їх часоструміві характеристики у всьому діапазоні струмів практично рівнобіжні і не мають перетинів (рис.15).

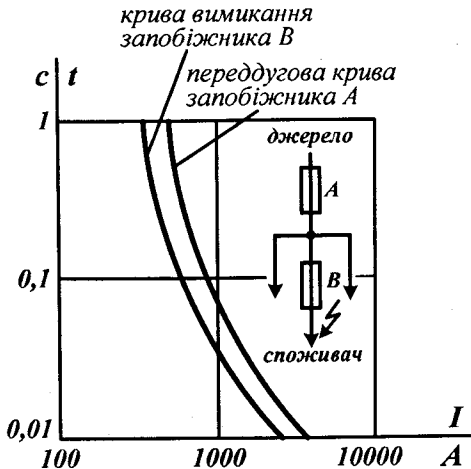


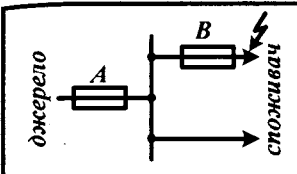
Рис.15. Часоструміві характеристики двох послідовно увімкнених запобіжників

У разі струмів, для яких час плавлення є меншим, ніж 0,1 с, належить рахуватись із часом плавлення і часом вимикання. Селективність послідовно увімкнених запобіжників досягається, коли час плавлення запобіжника А є більшим, ніж час вимикання запобіжника В. Слід відзначити, що в зоні, де час плавлення є нижчим, ніж 0,01 с, необхідно використати характеристику  $I^2t$ , оскільки часоструміві характеристики у цій зоні є фактично віртуальними.

Найпростіше досягнути селективного захисту в радіальній електромережі зі стандартизованими gG-запобіжниками. У gG-запобіжників з номінальними струмами від 16 до 1250 А селективний захист досягається за допомогою застосування запобіжників з певним співвідношенням номіналів.

В табл.5 наведені відношення номінальних струмів запобіжників різних категорій застосування для досягнення селективного захисту.

## Селективність при використанні запобіжників

	Вставка запобіжника <i>A</i>	Вставка запобіжника <i>B</i>	Відношення номінальних струмів $I_{нA}/I_{нB}$
	gG	gG	1,6:1
	gG	aM	3:1

Подані у табл.5 співвідношення стосуються, як правило, селективності у разі КЗ. У випадках перевантаження слід рахуватись з наявністю паралельних гілок.

**1.7.3. Першим до споживача розташований запобіжник, наступний – автоматичний вимикач (рис.16).** Такий порядок має місце переважно в розподільних мережах низької та середньої напруги. Основна вимога до них – повна селективність. Справа в тому, що вимикач, розташований ближче до джерела, захищає й інші паралельні гілки, і його вимикання веде до від'єднання всіх цих гілок. Тому захист на ланці „споживач – запобіжник” повинен бути повністю селективним.

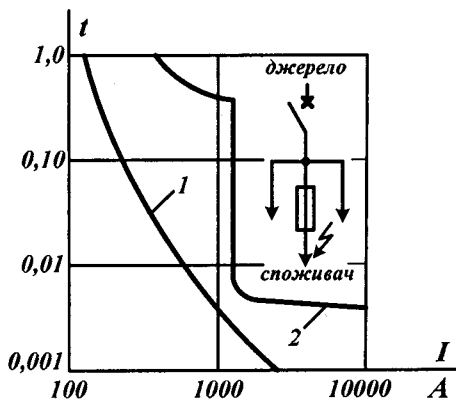


Рис.16. Захист „вимикач понад запобіжник”:

1 – часострумова характеристика запобіжника;

2 – часострумова характеристика автоматичного вимикача

Як і в попередньому випадку, в діапазоні часу нижче від 0,01 с слід користуватись характеристикою  $I^2t$ .

**1.7.4. Першим до споживача розташований автоматичний вимикач, вище – запобіжник.** Таке розташування виконують при захисті будинків, зокрема під'їздів, квартир. В цьому випадку автоматичний вимикач, крім захисту, виконує роль звичайного вимикача, який використовують у випадку робіт у мережі, яка ним захищається. Тут автоматичний вимикач виконує функції основного захисту (main protection), а запобіжник, який має більшу вимикальну здатність – функції резервного захисту (back-up protection). Запобіжник має спрацьовувати лише при потужних коротких замиканнях, коли очікуваний струм перевищує вимикальну здатність, яку має автоматичний вимикач (рис.17).

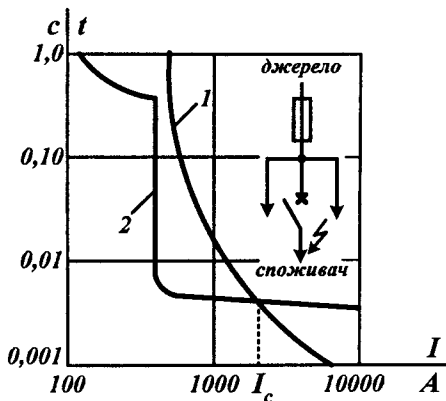


Рис.17. Захист „запобіжник понад вимикач”:

- 1 – часострумова характеристика запобіжника;
- 2 – часострумова характеристика автоматичного вимикача;
- $I_c$  – струм координації

Отже, лише до струму координації  $I_c$  має місце селективна робота захисту, де функцію захисту здійснює автоматичний

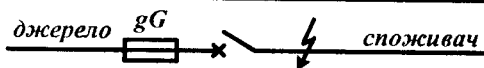


вимикач. Понад струм  $I_c$ , зазвичай, у випадку КЗ, спрацьовує резервний відносно швидкодіючий і надійний запобіжник.

Враховуючи розкид характеристик, сила струму  $I_c$  не є однозначною. Тому на практиці, якщо є можливість, користуються рекомендаціями виробника. В табл.6 для прикладу подано значення граничного струму  $I_c$  в залежності від номінальних струмів автоматичного вимикача та запобіжника словенської фірми ETI.

Таблиця 6

**Вибір плавких вставок серії DII, DIII до автоматичних вимикачів ETIMAT10 та ETIMAT6**



Номінальний струм автоматичного вимикача, характеристика В

Номінальний струм запобіжника

$I_n$ , A	6	10	13	16	20	25	32
20	0,7*	0,5	0,5	×	×	×	×
25	1,1	1,0	0,8	0,7	×	×	×
35	1,8	1,7	1,4	1,3	1,2	1,2	×
50	3,8	3,5	2,9	2,2	2,1	1,6	×
63	4,9	4,5	3,9	3,1	2,9	2,8	2,0

Номінальний струм автоматичного вимикача, характеристика С

Номінальний струм запобіжника

$I_n$ , A	6	10	13	16	20	25	32
20	0,6	0,5	0,5	×	×	×	×
25	1,0	1,0	0,8	0,7	×	×	×
35	1,7	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	×
50	3,6	3,3	2,8	2,0	1,9	1,5	×
63	4,7	4,6	3,6	3,0	2,7	2,3	2,0

\* граничний струм селективності (струм координації)  $I_c$  в kA

**1.7.5. Енергетична селективність захисних пристроїв.** Якщо для розв'язання задачі селективності використовують характеристики  $I^2t$ , то таку селективність називають енергетичною. Вона може бути

- повною;
- неповною.

**За повної селективності** характеристики  $I^2t$  не перетинаються (рис.18).

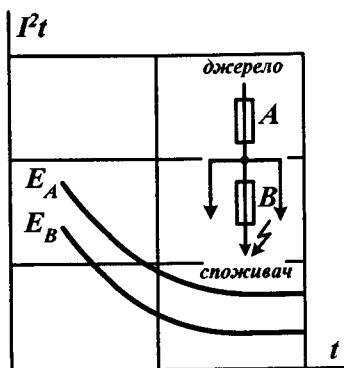


Рис.18. Захист „запобіжник-запобіжник”:

$E_A = I^2t$  – інтеграл Джоуля запобіжника  $A$ ;

$E_B = I^2t$  – інтеграл Джоуля запобіжника  $B$

Як видно з рис.18, енергія, яка необхідна для вимикання запобіжника  $A$  є більшою, ніж енергія для запобіжника  $B$ . Тому першим розплавиться і спрацює запобіжник  $B$ . Характеристика  $I^2t$  для певного типу запобіжника не може бути однозначною, оскільки в реальних умовах має місце їх розкид. Для забезпечення повної селективності двох послідовно увімкнених запобіжників їх характеристики повинні бути узгоджені (скоординовані) таким чином, щоб переддугова характеристика запобіжника  $A$  лежала понад характеристикою після розриву дуги запобіжника  $B$ .

Неповну енергетичну селективність розглянемо у разі схеми „запобіжник–автоматичний вимикач”, коли автоматичний вимикач є першим до споживача. Для координації роботи захисту користуються характеристикою повної (максимальної) енергії  $I^2t$  автоматичного вимикача та характеристикою мінімальної (переддугової) енергії плавкого запобіжника. На рис.19 показано названі вище характеристики для запобіжників серії DI та автоматичних вимикачів ЕТІМАТ10 концерну ЕТІ.

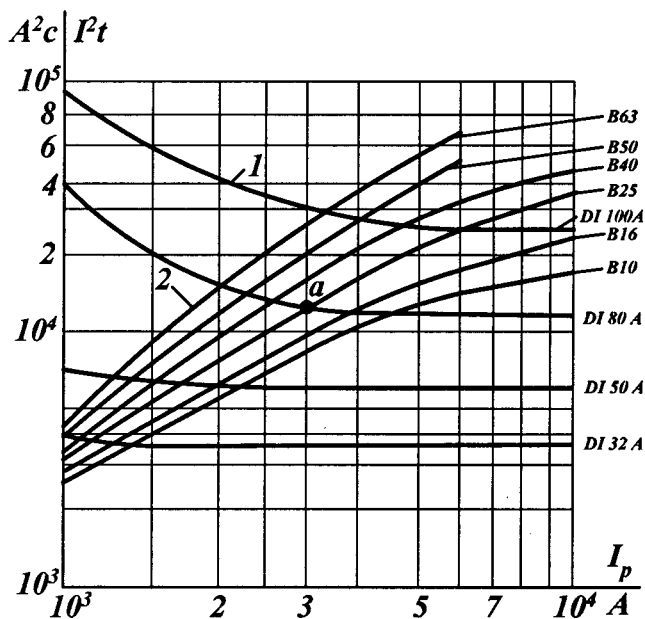


Рис.19. Характеристики мінімальної (переддугової) енергії плавких запобіжників серії DI (криві 1) та характеристики повної (максимальної) енергії  $I^2t$  автоматичних вимикачів серії ЕТІМАТ 10 (криві 2) (селективність буде виконуватися до точки перетину кривих, наприклад, точка *a* для ЕТІМАТ10 В25А і DI 80 А gG: селективність до 3 кА)

## 1.8. Серії запобіжників та їхні типорозміри

**1.8.1. Серія запобіжників** – сім'я запобіжників, заснована на однакових фізичних принципах побудови стосовно форми вставок, типу контактів тощо.

В Європі найбільш розповсюджені такі серії плавких запобіжників:

- NH – з призматичними плавкими вставками і ножовими контактами, яка призначена для експлуатації уповноваженими особами;
- D, D0 – з круглими плавкими вставками і ковпаковими контактами;
- CH – з циліндричними плавкими вставками і ковпаковими контактами.

Серії запобіжників D, D0 та CH призначені для експлуатації некваліфікованими особами.

Запобіжники для експлуатації *уповноваженими особами* (стара назва – запобіжники промислового призначення) призначені для експлуатації в установках, у яких вставки є доступними тільки для уповноважених осіб (тих, хто має до них допуск) та можуть замінюватися тільки ними. Конструкція таких запобіжників не обов'язково забезпечує невзаємозамінність та захист від випадкових дотиків до струмоведачущих частин.

Запобіжники для експлуатації *некваліфікованими особами* (стара назва – запобіжники для побутового та аналогічного призначення) призначені для застосування в електроустановках, в яких вставки є доступними для некваліфікованих осіб та можуть ними замінюватися. Для цих запобіжників, за необхідності, рекомендується здійснювати захист від прямого дотику до струмоведачущих частин, а також забезпечувати невзаємозамінність.

**1.8.2. Типорозмір** – встановлена сукупність розмірів окремих запобіжників в межах серії. Кожний окремий типорозмір охоплює певний діапазон номінальних струмів, для яких встановлені розміри запобіжника залишаються незмінними.

Поняття типорозміру розповсюджується не тільки на плавкі вставки, а й на інші частини запобіжників (основи, тримачі тощо).

Провідні виробники пропонують такі типорозміри згаданих вище серій запобіжників:

- NH-серія: 000; 00; 0; 1; 2; 3; 4; 4a.
- D-серія: I, II, III, IV, V.
- D0-серія: D01, D02, D03.
- серія циліндричних запобіжників CH: 8×31; 10×38; 14×51; 22×58 мм.

NH-запобіжники називають *ножовими*, а D0-запобіжники – *малогабаритними*.

**1.8.3. Характерними ознаками D- і D0-запобіжників** є захист від дотику і неможливість помилково вставити іншу плавку вставку, номінальний струм якої перевищує встановлене номінальне значення основи. Ця вимога діє при номінальних струмах більше від 10 А і забезпечується точним калібром в основі. Плавкі вставки підходять до основ з калібром рівним або більшим від номінального струму і тому можуть обслуговуватися неспеціалістами. Калібри можна монтувати лише спеціальними інструментами, яких не мають неспеціалісти. Проміжок між основою і тримачем плавкої вставки вибирається таким, щоб пальці оператора не могли торкнутися струмоведучої різьби основи.

**Запобіжники серії D і D0** призначені для захисту силових та сигнальних кіл і кіл керування. Вони гарантують розрив електричного кола при струмі короткого замикання до 50кА за час не більше від 8 мс. Особливості плавких вставок серії D0 – компактне виконання, малі втрати потужності, наявність індикатора спрацьовування, можливість побудови селективних схем захисту.

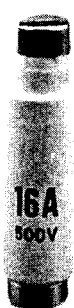
Технічні характеристики D- та D0- запобіжників наведені в табл.7.

Таблиця 7

**Технічні характеристики запобіжників серій D0 і D**

Тип	Різьба	Номінальний струм, А	Номінальна напруга, В	Вимикальна здатність	Характеристика	Відповідність стандартам
D01	E14	2...16	400 В AC, 250 В DC	AC: 50 kA, $\cos\varphi=0,1$ ; DC: 8 kA, $\tau=15$ мс	gG	IEC 60269
D02	E18	20...63				
D03	M30×2	80, 100				
DI	E16	2...25	500 В AC	AC: 50 kA, $\cos\varphi=0,2$ ; DC: 8 kA, $\tau=15$ мс	gG	IEC 60269
DIІ	E27	2...25	690 В AC,			
DIІІ	E33	35...63	440 В DC			
DIV	R1¼"	80, 100	690 В AC,			
DV	R2"	125...200	250 В DC			

На рис.20 показані плавкі вставки запобіжників серії D словенської фірми ETI, а на рис.21 – їхні конструктивні елементи.



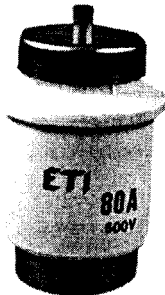
DI



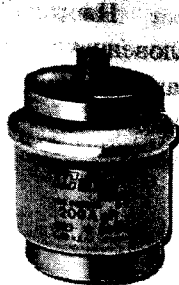
DII



DIII

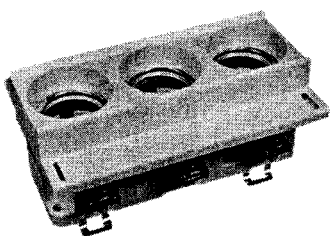


DIV



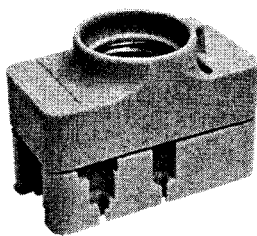
DV

Рис.20. Плавкі вставки запобіжників серії D



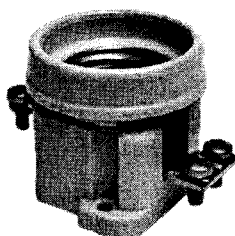
Основа триполюсна:

EZN/3 – на шину TH35;  
EZV/3 – на монтажну панель



Основа

однополюсна UZ



Основа

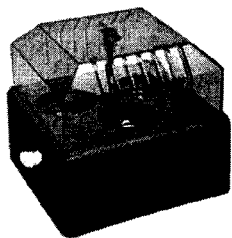
однополюсна EZ



Тримач плавкої вставки  
KDII, KDIII



Калібрувальна  
втулка  
VDII, VDIII



Основа з захисною  
накривкою Delta  
T25/3N - delta

Рис.21. Конструктивні елементи запобіжників серії D

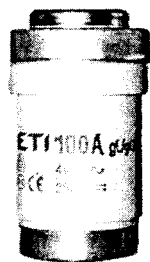
На рис.22 показані плавкі вставки запобіжників серії D0 словенської фірми ETI, а на рис.23 – конструктивні елементи запобіжників.



D01

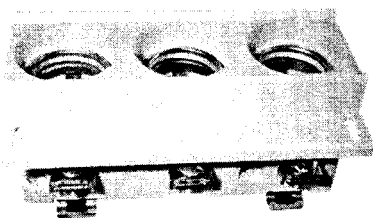


D02

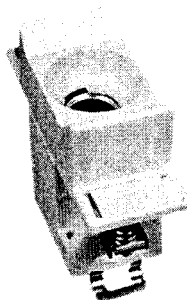


D03

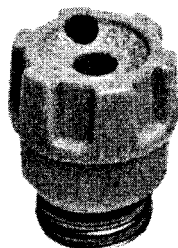
Рис.22. Плавкі вставки запобіжників серії D0



Основа запобіжника  
D0 N/3-K – на шину TH35  
D0 V/3-K – на монтажну  
панель



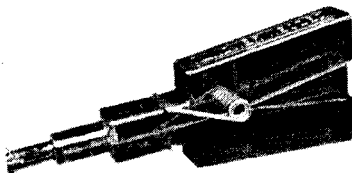
Основа  
запобіжника  
D01 N-K, D02 N-K



Тримач  
запобіжника  
KN D01,  
KN D02, D03



Калібрувальна втулка  
V D01, V D02



Знімач калібрувальних втулок

Рис.23. Конструктивні елементи запобіжників серії D0



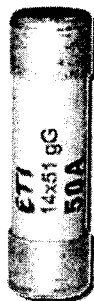
**1.8.4. Циліндричні запобіжники серії СН** призначені для захисту електричних пристроїв та інсталяційних приладів від дії струмів КЗ та перевантаження з високими вимогами до захисту в діапазоні номінальних струмів від 2 до 100 А з вимикальною здатністю 100 кА. На рис.24 показані циліндричні плавкі вставки запобіжників серії СН словенської фірми ETI.



$\varnothing 8 \times 31$  gG  
1A-25A;  
 $\varnothing 8 \times 31$  aM  
1A-25A



$\varnothing 10 \times 38$  gG  
1A-32A;  
 $\varnothing 10 \times 38$  aM  
1A-32A



$\varnothing 14 \times 51$  gG  
2A-50A;  
 $\varnothing 14 \times 51$  aM  
2A-50A



$\varnothing 22 \times 58$  gG  
16A-100A;  
 $\varnothing 22 \times 58$  aM  
16A-100A

*Рис.24. Циліндричні вставки запобіжників серії СН*

**1.8.5. Запобіжники з плавкими вставками і з ножовими контактами** називаються NH-запобіжниками (від нім. Niederspanngs-Hochleistungs – низьковольтний-високопотужний). Ця назва справедлива, оскільки вимикальна здатність цих запобіжників знаходиться в межах понад 100 кА і покриває практично всі струми короткого замикання в низьковольтній мережі.

NH-запобіжники – це запобіжники, призначені для використання кваліфікованими особами, які повинні мати електротехнічну освіту (електротехнічне навчання). Тому не ставиться вимога захисту від дотику і можливості переплутати номінал запобіжника. На практиці, тим не менше, забезпечується захист від випадкового дотику.

Запобіжники серії NH є найзручнішими і економічними пристроями захисту кабельних ліній і промислових установок від струмів перевантажень та КЗ. Електричні параметри і габаритні розміри запобіжників NH відповідають міжнародним стандартам.

На рис.25 показані запобіжники типу NH словенської фірми ETI.

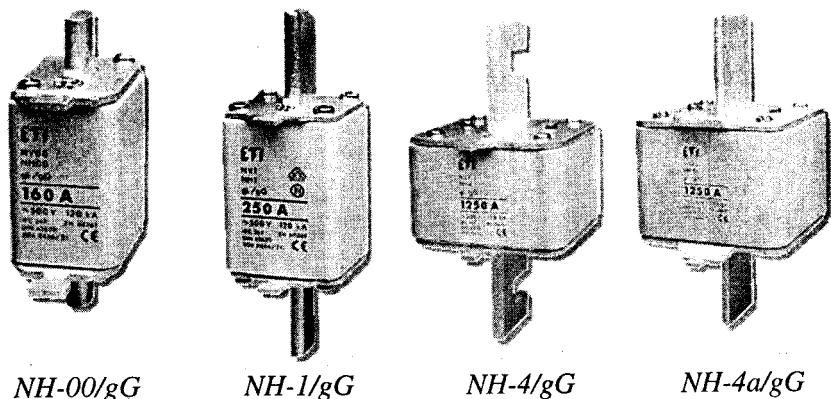


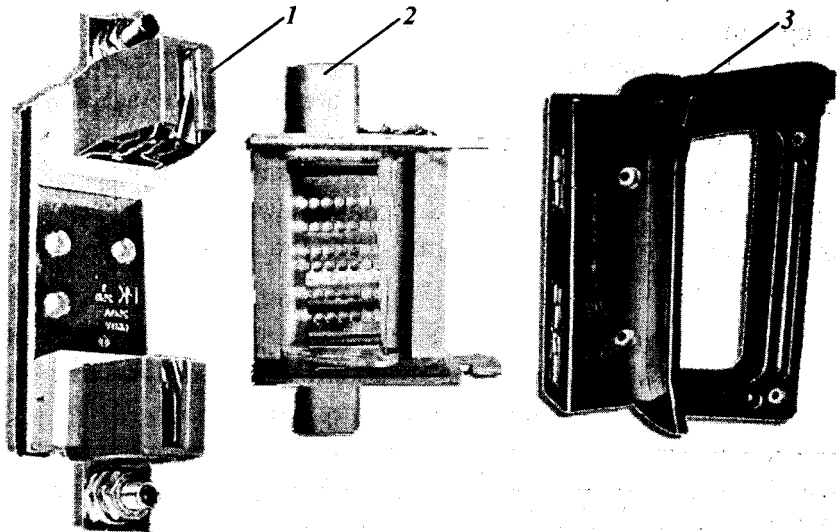
Рис.25. Плавкі вставки типу NH словенської фірми ETI

Символьні позначення запобіжників типу NH словенської фірми ETI:

- «КОМБІ» – подвійна індикація стану запобіжника (верхня, бічна);
- «Standard» – верхній індикатор стану запобіжника;
- «Si» – бічний індикатор стану запобіжника;
- «I» – ізольовані накривки;
- «ISI» – бічний індикатор, ізольовані накривки;
- «С» – компактне виконання.

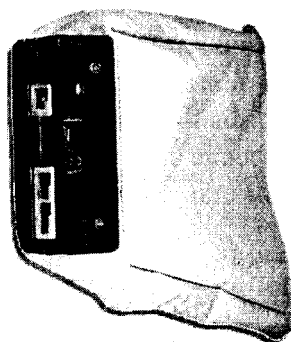
Плавкий запобіжник серії NH (рис.26) складається з:

- основи запобіжника 1, на якій розташовані губки контакту з притискним пристроєм (для контакту з ножем плавкої вставки);
- плавкої вставки 2;
- пристрою для монтажу плавкої вставки 3.



*Рис.26. Будова запобіжника серії NH*

Розміри плавкої вставки і пристрою для монтажу плавкої вставки нормовані згідно зі стандартом. В пристрої для монтажу плавкої вставки, який призначений для обслуговування запобіжника під напругою, повинен бути передбачений захист передпліччя (рис.27).



*Рис.27. Пристрій для монтажу плавкої вставки під напругою*

Пристрої для монтажу повинні захистити оператора від доторкання зі струмоведучими і нагрітими частинами плавкої вставки. На корпусах плавких вставок є спеціальні виступи, що входять у зачеплення руків'я. Плавкі вставки утримуються в руків'я пружинними засувками.

Для кожного типорозміру NH-запобіжника визначено шкалу номінальних струмів. У табл.8 подано значення максимальних номінальних струмів  $I_n$  окремих шкал та максимальні втрати потужності  $P_n$ .

Таблиця 8

### Номінальні струми та максимальні втрати потужності запобіжників типу NH

Типорозмір	Тип характеристики – gG						Тип характеристики – aM			
	400 В АС		500 В АС		690 В АС		400 і 500 В АС		690 В АС	
	$I_n$ , А	$P_n$ , Вт	$I_n$ , А	$P_n$ , Вт	$I_n$ , А	$P_n$ , Вт	$I_n$ , А	$P_n$ , Вт	$I_n$ , А	$P_n$ , Вт
000	100	5,5	100	7,5	63	12	100	7,5	80	12
00	160	12	160	12	100	12	100/160	7,5/12	100	12
0	160	12	160	16	100	25	160	16	160	25
1	250	18	250	23	200	32	250	23	250	32
2	400	28	400	34	315	45	400	34	400	45
3	630	40	630	48	500	60	630	48	630	60
4	–	–	1000	90	800	90	1000	90	1000	90
4a	1250	90	1250	110	1000	110	1250	110	1250	110

Типорозмір NH4 є винятком в системі класифікації, оскільки має гвинтові (різьбові) контакти. В теперішній час він замінений на типорозмір NH4a з ножовими контактами. Типорозмір NH0 дозволено застосовувати лише для заміни (ремонт). Винятком є запобіжники з індикатором стану, які дозволяється використовувати в нових пристроях.

Для типорозміру NH000 немає окремо регламентованої основи. Їхні плавкі вставки підходять до основи габариту 00. Через це неможливо використати перевагу їх компактних розмірів в межах норм.

## 1.9. Вибір запобіжників

### 1.9.1. Критерії вибору низьковольтних запобіжників:

- найбільша напруга мережі повинна бути меншою від допустимої напруги плавкої вставки;
- запобіжник повинен відповідати виду струму і частоті мережі; придатність до змінного і постійного струму має бути подана окремо. Запобіжник на 50 Гц без додаткових даних дозволяється використовувати при частоті 45–62 Гц;
- вимикальна здатність запобіжника має бути більшою, ніж очікуване (нічим не обмежуване) значення струму КЗ;
- часострумова характеристика запобіжника повинна проходити нижче від характеристики об'єкта, що захищається, причому як можна ближче до неї;
- при короткому замиканні запобіжники повинні працювати селективно.

**1.9.2. Захист кабелів і проводок.** При виборі запобіжників для захисту проводок і кабельних ліній користуються наступним співвідношенням

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

де  $I_b$  – робочий струм кола;

$I_n$  – номінальний струм запобіжника;

$I_z$  – допустиме струмове навантаження кабеля або проводки при заданих робочих умовах.

Наведене співвідношення належить читати ширше. Як відомо, часострумова характеристика запобіжника є середньостатистичною сім'ї характеристик, розкиданих у зоні. Якщо говорити про захист від недопустимого перевантаження, то слід співставити струм  $I_z$  із крайньою у зоні максимальною кривою вимикання.

Під час порівняння опираються на поняття „умовний струм плавлення” запобіжника. Саме цей струм не повинен виходити за границю струму  $I_z$ .

Згідно з визнанням міжнародним компромісом між ступенем використання і ступенем захисту проводу з урахуванням режиму вимикання захисного пристрою (наприклад, автоматичного вимикача, плавкого запобіжника) прийнято, що  $I_z = 1,45I_n$ .

Якщо для захисту використано модульний непромисловий автоматичний вимикач, для якого умовний струм вимикання дорівнює  $1,45I_n$ , то він коректно виконає покладене на нього завдання. У разі використання плавкого запобіжника, а це, як правило, запобіжник категорії gG, то звернувшись до стандарту (табл.2), визначаємо, що починаючи від струмів більших 16 А, умовний струм плавлення дорівнює  $1,6I_n$ , що не відповідає умовам захисту. Проте, його не можна з певним правом порівнювати з вимикачем. Зазвичай, розкид характеристик запобіжників провідних виробників практично не доходить до стандартної величини  $1,6I_n$ . Близькі до реальних дослідні установки показують, що характер вимикання gG-запобіжників відповідає перевантажувальній здатності кабеля чи проводки, і їх можна безпосередньо брати для захисту.

**1.9.3. Захист силових трансформаторів.** Захист мережевих трансформаторів у разі аварій всередині трансформатора, включаючи КЗ на клеммах з низької сторони, виконують високовольтні запобіжники типу НН (від нім. Hochspangs-Hochleistung – високовольтний-високопотужний), розташовані на високій стороні. На стороні низької напруги мережеві трансформатори потужністю до 1000 кВА захищаються як під час перевантажень, так і при КЗ запобіжниками типу gG або спеціального призначення типу gTg (рис.28).

Річ у тому, що трансформатори нормуються за шкалою номінальних потужностей, а плавкі запобіжники – за рядами номінальних струмів. Якщо обчислити номінальні струми трансформаторів за їх потужностями, то виявиться, що ці струми не співпадають з номінальними струмами плавких запобіжників. Отже, при виборі запобіжників типу gG для захисту трансформаторів ми можемо або недовантажити трансформатор або перевантажити його.

Тому для захисту трансформаторів застосовують спеціальні запобіжники типу gTr, які вибирають не за номінальним струмом, а за номінальною потужністю трансформатора в кВА, що дозволяє оптимально завантажити трансформатор.

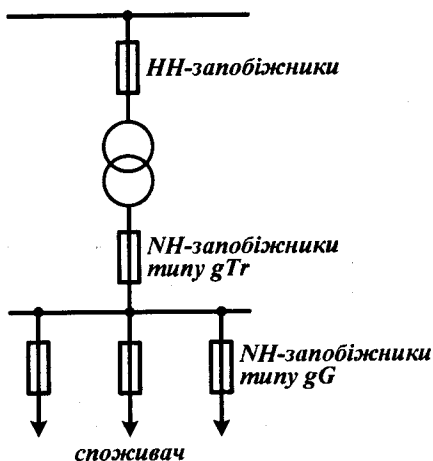


Рис.28. Захист силових трансформаторів

Характерною особливістю gTr-запобіжників є їх порівняно висока перевантажувальна здатність в діапазоні малих перевантажень трансформатора. Вони можуть пропускати струм  $1,3I_n$  впродовж 10 годин, а при струмі  $1,5I_n$  час спрацювання – 2 години. Їхня номінальна напруга складає 400 В, а номінальна вимикальна здатність сягає 100 кА. Втрати в запобіжниках типу gTr є меншими, ніж запобіжників інших типів.

На рис.29 для порівняння показані часострумові характеристики запобіжника типу gTr для захисту силового трансформатора потужністю 250 кВА (його номінальний струм  $I_n=361$  А) та запобіжників типу gG з номінальними струмами 250 А та 315 А.

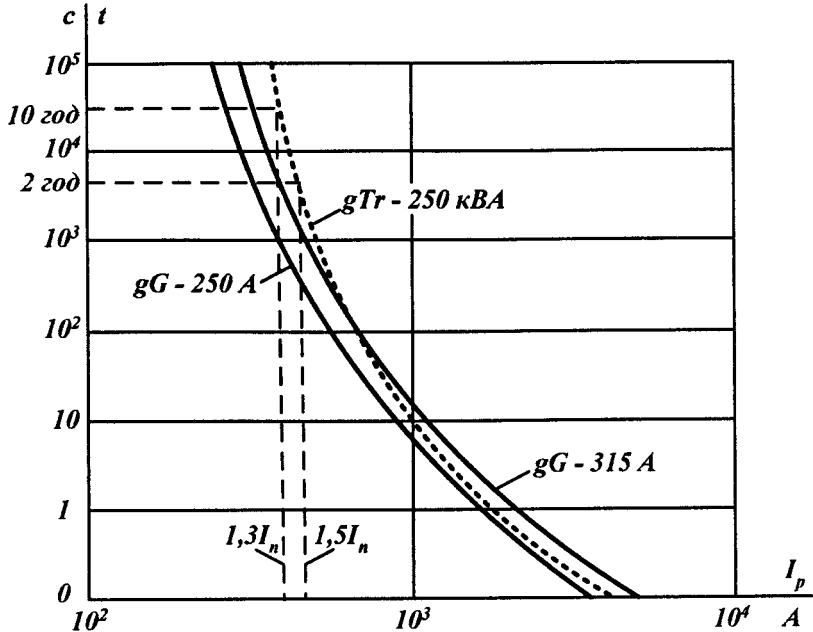


Рис.29. Співвідношення між часострумowymi характеристиками запобіжників типу gG та gTr

Як видно з рис.29 крива gTr-запобіжника при незначних струмах є порівняно стрімкою. При великих перевантаженнях характеристики запобіжників типу gTr та gG – подібні.

Послідовно увімкнені силові запобіжники типу gTr та gG, коли першим до споживача є запобіжник gG, працюють селективно, якщо виконується умова

$$X[\text{кВА}] \geq Y[\text{A}].$$

Це означає, що в разі аварії у зоні користувача, першим спрацює запобіжник gG зі струмом  $Y=250 \text{ A}$ , який захищає коло послідовно з запобіжником gTr потужністю  $X=250 \text{ кВА}$ .



**1.9.4. Захист двигунів та їхніх кіл живлення.** Перед тим, як перейти до розгляду поставленого завдання зупинимось коротко на понятті „тип комплектації”.

Під комплектацією у вузькому сенсі розуміють вибрану комбінацію електрообладнання, яка безпечна для оточення і персоналу навіть у разі виникнення у системі перевантажень або несправності (аварії).

Розрізняють два *типи комплектації*, інакше *координації* (узгодження). Все залежить від тривалості операції відновлення і технічного обслуговування післяаварійних ситуацій.

**Тип 1.** Координація вимагає, щоб у разі короткого замикання пристрій не створював небезпеки для персоналу або устаткування і допускає, що він *може бути непридатним* для подальшої роботи без проведення ремонту або заміни деяких його частин.

**Тип 2.** Координація вимагає, щоб у разі КЗ пристрій не створював небезпеки для персоналу або устаткування і був *придатний* для подальшої роботи. При цьому, правда, допускається заміна плавких запобіжників і перезапуск системи після КЗ.

Для пуску і захисту двигуна від перевантажень (а за правильного підбору, то й захисту підвідних проводів), зазвичай, використовують так званий магнітний пускач, або просто пускач (рис. 29).

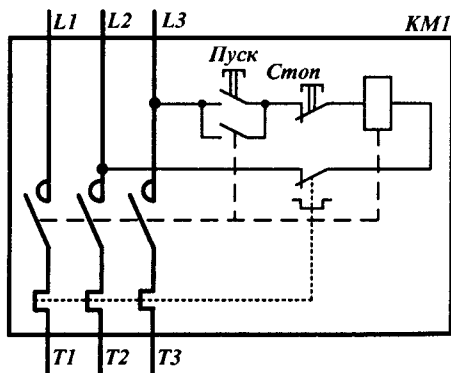


Рис.29. Функціональна схема магнітного пускача КМ1

Підібраний за номінальним струмом пускач не спроможний захистити систему від КЗ. Для такого захисту вдаються до плавких запобіжників. Правильно скоординовані плавкий запобіжник та теплове реле здатні захистити від КЗ не тільки двигун і мережу, а й саме теплове реле та контакти контактора від зварювання. В такому разі отримуємо ефективну координацію захисту типу 2.

При виборі запобіжника в першу чергу слід звернутись до характеристики пуску двигуна у часі.

Нехай кратність пускового струму є 6, а тривалість пуску є 5 секунд. Звернемось до часострумівих характеристик теплового реле та запобіжника (рис.30).

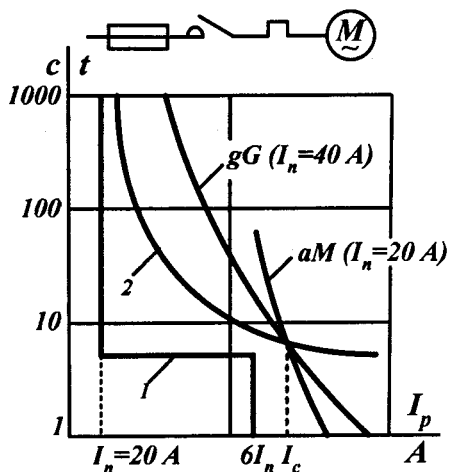


Рис.30. Вибір захисту асинхронного двигуна:

1 – пускова характеристика двигуна;

2 – часострумівих характеристика теплового реле ( $I_n=20\text{ A}$ )

Для захисту від КЗ найбільш раціонально вибрати плавкий запобіжник категорії аМ, спеціально призначений для захисту від КЗ електричних двигунів. Вибирають його на номінальний струм, що відповідає номінальному струмові двигуна. Струм  $I_c$  є струмом координації, він визначає зону селективності. До струму  $I_c$  захист

виконує теплове реле, а при струмах, які перевищують  $I_c$ , двигун захищає плавкий запобіжник.

Крім того, струм координації  $I_c$ , при якому запобіжник бере на себе функцію вимикання, повинен бути в межах комутуючої здатності теплового реле пускача, не більше.

Замість запобіжника категорії aM можна застосовувати широко розповсюджений запобіжник gG; він дешевший від запобіжника aM, але має більші втрати потужності. Та найголовніше, за „розмірами” (номінальним струмом) для потрібної координації його доводиться брати більшим. Як наслідок, за потреби зменшити габарити і розсіювану потужність використовують дещо дорожчий запобіжник категорії aM.

У ряді випадків обходяться без плавких запобіжників і використовують лише сам магнітний пускач. В такому разі його беруть більшим. Але тоді отримуємо комплектацію типу 1, за якої при КЗ, зазвичай, виходить з ладу теплове реле та підгорають контакти контактора.

Альтернативою магнітним пускачам є автоматичні вимикачі. Розгляд особливостей використання автоматичних вимикачів для захисту електричних двигунів виходить за формат цього посібника.

**1.9.5. Захист напівпровідникових пристроїв.** Після появи у 50-х роках силових діодів виникла проблема їх ефективного захисту. В цій ситуації виникло питання про застосування запобіжників. Новою при цьому була проблема пристосування (підбору) характеристики металевої плавкої вставки запобіжника до теплової переважувальної здатності напівпровідника. Напівпровідники мають малу теплову ємність і чітку верхню температурну межу запірного шару – наближено 125 °С. При цьому термічний запас між робочою і граничною температурою є невеликий, і тому діючий захист повинен дуже швидко відмикати надструми.

Для цього були винайдені надшвидкі запобіжники. Для виготовлення таких плавких вставок на високі робочі температури придатне лише стійке до окислення чисте срібло. Відповідно корпус

виготовляється зі стійкої до зміни температури кераміки. Для покращення відведення тепла пісок зміцнюється неорганічним зв'язувальним матеріалом. Усі види конструкцій можуть бути оснащені міні-вимикачами для контролю стану запобіжника.

Основні переваги надшвидких запобіжників:

- висока швидкодія;
- максимально мале значення повного інтеграла вимикання

$I^2t$ ;

- помірна напруга при вимиканні;
- малі власні втрати потужності;
- стійкість до старіння, що досягається застосуванням

чистого срібла для плавкого елемента.

Найкраще задовольняють ці вимоги частководіапазонні запобіжники категорії aR. Ці запобіжники вимикають усі струму, які впродовж не більше 30 секунд призводять до плавлення плавкої вставки (зазвичай, починаючи від струму  $I_p \approx 2I_n$ ). Якщо струми перевантаження є меншими, то запобіжник aR пропускає їх. В такому разі слід подбати про захист додатковими запобіжниками, які мажуть бути розташовані у сусідніх функціонально залежних ланках.

Вибір запобіжника для захисту напівпровідників проводиться на основі граничних параметрів напівпровідникового елемента й очікуваних струмів навантаження та аварійних струмів.

Залежно від місця розташування застосовують різні категорії запобіжників, оскільки треба мати на увазі різноманітні вимоги, що ставляться до них. На рис.31 для прикладу наведено фрагмент уявної електричної схеми.

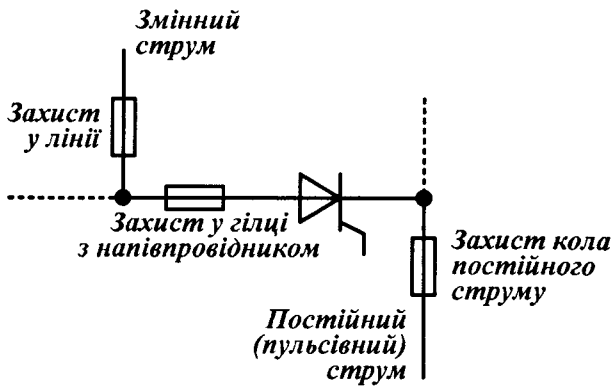


Рис.31. Уявна електрична схема захисту напівпровідникових елементів

Захист у такій схемі може бути організований наступним чином:

- для захисту у гілці, як прямому захисті напівпровідникового елемента від КЗ, використовують запобіжники категорії aR;
- як захист у лінії, тобто у фазі перетворювача частоти чи форми, застосовують aR-, gR- або gS-запобіжник (рис.32);
- на стороні навантаження (стороні постійного струму) застосовують gR- або gG-запобіжник як захист від перевантажень. При цьому селективність щодо запобіжника, який стоїть у гілці напівпровідникового елемента, може бути не досягнена;
- у підрядному розподільному щиті використовують повнодіапазонні запобіжники категорії gR або потужні gS-запобіжники, які рівно ж захищають увідні лінії.

Підкреслимо, що gR-запобіжники відзначаються малим коефіцієнтом пропускання енергії  $I^2t$ , а gS – малими втратами потужності.

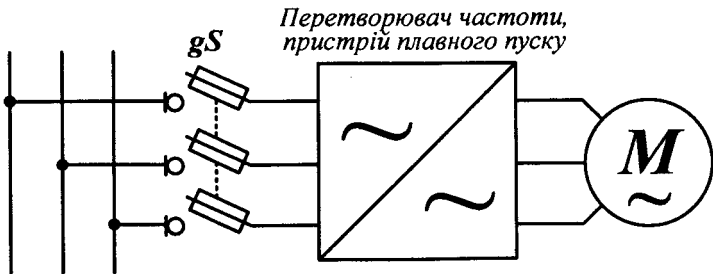


Рис.32. Захист лінії з перетворювачем частоти тощо

Додаткові поради при виборі запобіжників:

- довготривале протікання номінального струму, включаючи допустимі перевантаження, не повинні викликати термічних пошкоджень напівпровідників. Струм у колах з напівпровідниковими елементами часто є несинусоїдним, тому для визначення термічного навантаження запобіжника необхідно приймати для розрахунків діюче значення залежно від форми кривої струму;
- втрати запобіжника при номінальному струмі повинні бути меншими, ніж допустима потужність, яка розсіюється тримачем;
- при аваріях в установках аварійний струм повинен бути вимкнений перед тим, як вийде з ладу напівпровідник. Для цього номінальний струм і „вимикальний” інтеграл  $I^2t$  запобіжника повинні бути меншими ніж граничні значення напівпровідникового елемента, який захищається. „Вимикальний” інтеграл  $I^2t$  запобіжника складається зі значень  $I^2t$  часу плавлення та часу горіння дуги і залежить від напруги, що повертається, інакше поновленої напруги (напруги, яка поновлюється на затискачах після горіння дуги) (рис.33);

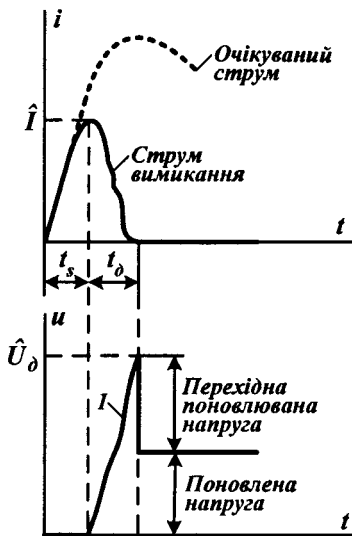


Рис.33. Вимикання струму запобіжником:  
 $t_s$  – час плавлення;  $t_d$  – час горіння дуги;  
 $I$  – напруга дуги  $u_d$ ;  $\hat{U}_d$  – пікова напруга дуги;  
 $\hat{I}$  – піковий струм вимикання

• пікова напруга дуги запобіжника  $\hat{U}_d$ , яка виникає через вимикання струму за наявності індуктивності у колі, не повинна перевищувати діелектричну міцність запірного шару, тобто повинна бути меншою, ніж пікове допустиме значення напруги на напівпровідниковому елементі (незалежно від полярності).

Розглянемо ближче фізичні явища, що протікають під час вимикання запобіжника, зокрема під час горіння дуги (див. рис.33).

Після вимикання струму на виводах запобіжника появляється поновлювана напруга, яку можна розглядати у двох послідовних інтервалах часу: перший – коли має місце *перехідна напруга*, яка може бути коливною або неколивною залежно від характеру навантаження кола, і наступний – коли є тільки *поновлена напруга* промислової частоти (напруга живлення) або постійного

струму. Поява перехідної напруги підносить напругу дуги до піку  $\hat{U}_d$ , що може значно перевищити поновлену напругу.

Не менший інтерес викликає аналіз енергії, яка виділяється на дузі під час її горіння (рис.34) [5].

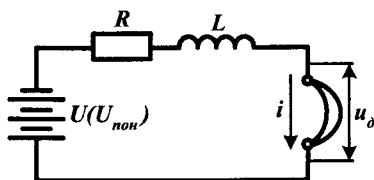


Рис.34. Схема з'єднань:

$i$  – струм кола, який змінюється від  $I$  до  $0$ ;

$u_d$  – напруга дуги;

$U$  – напруга джерела (поновлена напруга)

Рівняння електричного стану напруг має вигляд

$$U = iR + L \frac{di}{dt} + u_d.$$

Домноживши обидві частини рівняння на  $idt$  та проінтегрувавши отриманий вираз, матимемо

$$\int_0^{t_d} Uidt = \int_0^{t_d} i^2 Rdt + \int_0^{t_d} u_d idt + \int_0^{t_d} Lidi,$$

після перетворення одержимо вираз для енергії, виділеної у дузі:

$$W_d = \int_0^{t_d} u_d idt = \int_0^{t_d} Uidt - \int_0^{t_d} i^2 Rdt + \frac{LI^2}{2},$$

де  $W_d$  – енергія, виділена у дузі під час її горіння;

$t_d$  – час горіння дуги;

$I$  – струм на початку горіння дуги.

Отже, для зменшення енергії, яка виділяється у дузі, слід зменшити поновлену напругу  $U$  відносно номінальної напруги запобіжника. Виробники, зазвичай, надають для цього відповідні криві (рис.35).



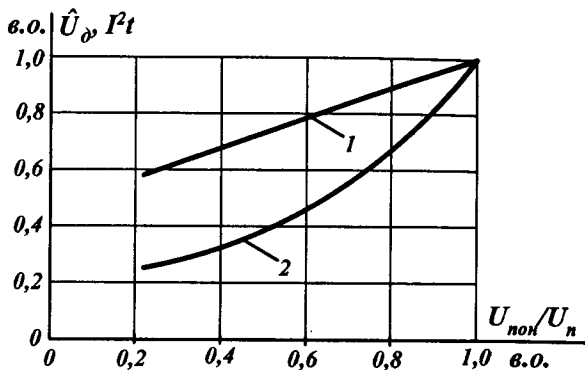


Рис.35. Залежності пікової напруги дуги  $\hat{U}_d$  (1) та характеристики вимикання  $I^2t$  запобіжника (2) від поновленої напруги:

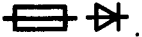
$U_{\text{пон}}$  – поновлена напруга;  $U_n$  – номінальна напруга запобіжника

І робочий струм, і можливий аварійний струм, і поновлена напруга залежать від місця розташування напівпровідникового елемента у перетворювачі, а також від умов експлуатації. Можливості використання швидких напівпровідникових запобіжників є настільки великими, що тут можна подати лише декілька основних порад. Користувач у більшості випадків зробить все ж таки правильно, якщо використає фахову допомогу виробника.

**Порада.** Подальшу інформацію для захисту напівпровідникових перетворювачів містить Технічне повідомлення (інструкція) IEC 60146-6 „Application guide for the protection of semiconductor converters against over current by fuses.”

Одним з найбільших виробників силових запобіжників Європи є концерн «ETI Elektroelement», при цьому вагому частину займає група запобіжників ULTRA-QUICK (надшвидкі). Запобіжники групи ULTRA-QUICK застосовуються для захисту напівпровідникових пристроїв: випрямлячів, перетворювачів, конверторів, інверторів тощо. У цих пристроях використовуються такі елементи, як діоди,

тиристори або транзистори, для захисту яких необхідно використовувати швидкодійні запобіжники категорії aR/gR, оскільки звичайні запобіжники категорії gG недостатньо чутливі.

Розміри запобіжників ULTRA-QUICK відповідають розмірам запобіжників стандартних типів D0, D, CH і NH. А зовнішня відмінність цих запобіжників полягає в позначенні: тип ULTRA-QUICK і наявність символу “запобіжник для захисту напівпровідникових пристроїв”: .

Всі запобіжники ULTRA-QUICK забезпечені візуальним індикатором стану плавкої вставки, який забезпечує надійний контроль його стану (рис.36). Окрім візуальної індикації спрацьовування, в запобіжниках NH ULTRA-QUICK є дистанційна сигналізація спрацьовування за допомогою сигнального контакту NVS5 (рис.37).

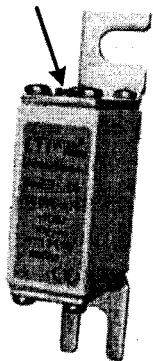


Рис.36. Візуальний індикатор стану плавкої вставки

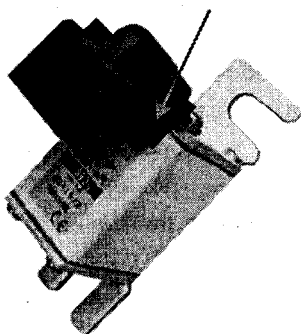


Рис.37. Сигнальний контакт NVS5

### 1.9.6. Захист конденсаторів у компенсаційних установках.

При виборі запобіжників належить користуватись наступними правилами:

- запобіжники повинні довготривало проводити максимальний робочий струм конденсатора, який дорівнює  $1,5I_n$ .

Рекомендується вибрати запобіжники, які здатні витримувати  $(1,6-1,8)I_n$  конденсатора;

- запобіжники повинні без пошкоджень проводити струми вмикання конденсатора. Вмикання конденсаторів і конденсаторних батарей супроводжується дуже великими пусковими струмами, які можуть досягнути  $200I_n$  конденсатора (рис.38). Ці великі пікові струми можуть пошкодити вузькі ділянки плавкої вставки і з часом зменшити термін роботи запобіжника. Це може призвести до перегрівання і спонтанного спрацьовування запобіжника при нормальних умовах роботи. Щоб цього не сталося, необхідно застосовувати спеціальні контактори для комутації конденсаторних батарей;

- запобіжники і конденсатори не можна навантажувати вищими гармоніками струму, які створюються випрямлячами блоків живлення, перетворювачами. Вищі гармоніки в промислових мережах можуть подвоїти діюче значення струму конденсатора, як наслідок, можливі перегрівання і помилкові спрацьовування запобіжників. Для зменшення впливу вищих гармонік необхідно використовувати дроселі;

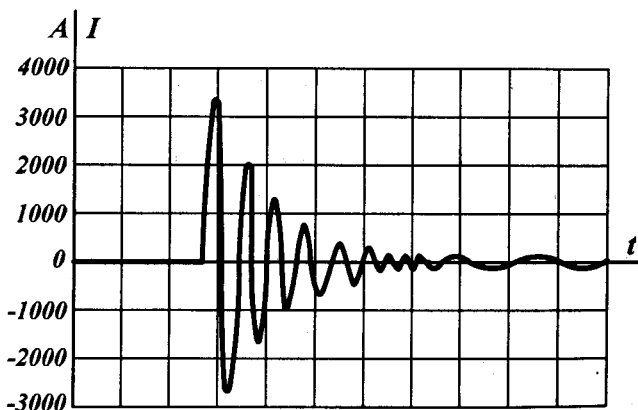


Рис.38. Струмова осцилограма вмикання конденсатора

- запобіжники повинні витримувати якомога більшу

поновлювану напругу.

Підвищення більш ніж у два рази поновлюваної напруги на затискачах запобіжника, що перегорів, та резонанс можуть призвести до повторного запалювання дуги, аж до руйнування запобіжника і тримача.

Розглянемо ближче згадане явище. Звернемось до рис.39.

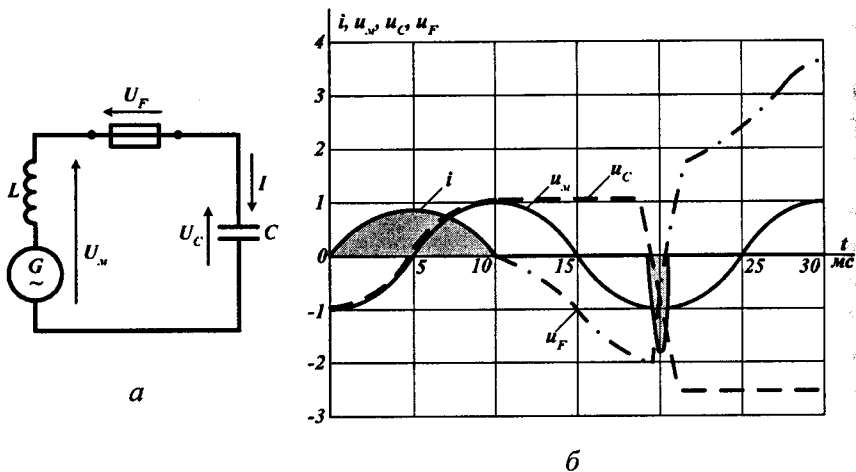


Рис.39. Схема з'єднань (а) та часова діаграма вимикання конденсатора:

$I$  – струм;  $U_M$  – напруга мережі;  $U_C$  – напруга на конденсаторі;  $U_F$  – напруга на затискачах запобіжника

Нехай з тих чи інших причин струм  $I$  у колі набув величини, яка призвела до плавлення і згоряння запобіжника протягом півперіоду, тобто від 0 до 10 мілісекунд. Оскільки напруга на конденсаторі відстає від струму на чверть періоду, то при струмові  $I=0$  напруга мережі і, відповідно, напруга на конденсаторі буде максимальною. Через 10 мілісекунд напруга на конденсаторі, досягнувши максимуму, продовжує залишатись такою надалі, адже ж запобіжник перегорів, і коло для розряду конденсатора

розірване. Тепер напруга на затискачах запобіжника дорівнює різниці напруг на конденсаторі та мережі. В границях 20 мілісекунд напруга на запобіжнику досягає майже подвійної величини і тут відбувається повторне зворотне запалювання дуги. Коло мережа-конденсатор з'єднується і розпочинається резонансне явище розряду-заряду конденсатора. Можна показати, що коли дуга обірветься на першому імпульсі високочастотного резонансного струму, то напруга на конденсаторі може сягнути трикратної величини напруги мережі [5]. Як видно з діаграми, через 30 мілісекунд напруга на затискачах може сягнути чотирикратної величини, що своєю чергою може викликати нове запалювання і гасіння дуги, і нове підвищення напруги на затискачах запобіжника. Відомі випадки, коли чергова дуга перекидалась на деталі тримача і вела до руїни запобіжника. Для запобігання можливій небезпеці слід вибирати запобіжник на *напругу більшу ніж номінальна* і, по можливості, застосовувати більший типорозмір запобіжника.

В табл.9 подані рекомендації виробників НН-запобіжників щодо вибору номінального струму запобіжників класу gG залежно від потужності конденсаторної установки і її напруги.

Таблиця 9

**Рекомендації щодо вибору номінального струму  
НН-запобіжників класу gG залежно від потужності  
конденсаторної установки і її напруги**

Напруга конденсаторної установки, В	400	525	600	
Напруга запобіжника, В	500	690	1000	
Потужність конденсаторної установки, $Q_n$ , кВАр	Номінальний струм $I_n$ НН-запобіжника, А			
	1	2	3	4
$\leq 5$	16			
$\leq 7,5$	20			
$\leq 12,5$	35	35		
$\leq 20$	50			35
$\leq 25$	63	50		

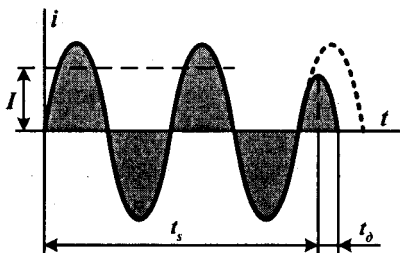
1	2	3	4
$\leq 30$	80	63	50
$\leq 40$	100	80	63
$\leq 50$	125	100	80
$\leq 60$	160	125	100
$\leq 80$	200	160	125
$\leq 100$	250	200	160
$\leq 125$	315	250	200
$\leq 160$	400	315	250
$\leq 200$	500	400	315
$\leq 250$	630	500	400

**Примітка.** При використанні дроселів в установках і точній інформації про мережу живлення в окремих випадках можна використовувати запобіжники з номінальним струмом на один рівень нижчим.

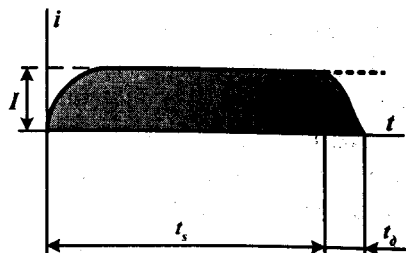
**1.9.7. Захист кіл постійного струму.** Постійний струм був і є вживаним у спеціальних установках. Сюди можна віднести залізничний та міський електротранспорт, автомобілі на акумуляторах (автонавантажувачі, зокрема), потужні вальцювальні стани, кола вимірювання і керування великих електротехнічних агрегатів. Останнім часом отримали розвиток базисні станції мобільних телефонів, комп'ютерних систем, кабельного телебачення; зростає використання альтернативних джерел енергії на основі елементів, які живляться від сонячної енергії. Це зумовило попит на силові запобіжники постійного струму.

Здавалось би на перший погляд, що запобіжник, вибраний для змінного струму при цих же номінальних даних (напрузі, струмові, обмежувальній та вимикальній здатності тощо) повинен підійти і для кола постійного струму. Проте, так не є, і в першу чергу через різницю у явищах горіння дуги на змінному і постійному струмі.

Час плавлення на змінному і постійному струмі практично співпадають як при перевантаженні, так і при КЗ (рис.40, 41).



а

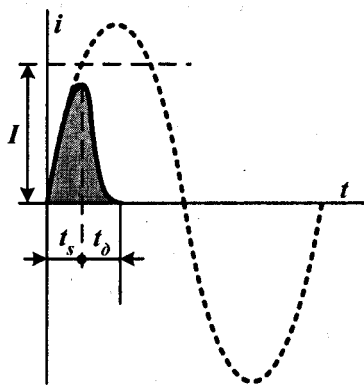


б

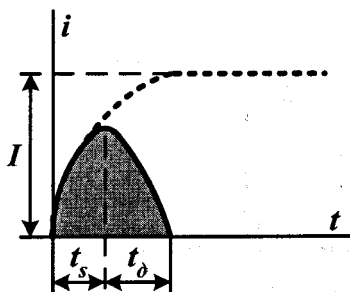
Рис.40. Процес плавлення і горіння дуги на змінному (а) та постійному (б) струмі при перевантаженні:

$I$  – діюче значення струму;

$t_s, t_d$  – час плавлення і час горіння дуги відповідно



а



б

Рис.41. Процес плавлення і горіння дуги на змінному (а) та постійному (б) струмі при короткому замиканні:

$I$  – діюче значення струму;

$t_s, t_d$  – час плавлення і час горіння дуги відповідно.

Як видно з рис.40, при перевантаженні визначальним є час плавлення запобіжника, і, як показує досвід, цей час для змінного чи для постійного струмів є практично однаковим. Це дає підставу прийняти номінальний струм запобіжника для змінного струму за

номінальний струм на постійному струмі, виходячи з умов термічної стійкості запобіжника. Справа ускладнюється, якщо струм перевантаження стає більшим і на час вимикання починає впливати час горіння дуги. Вже починаючи від часу вимикання, який складає одну секунду і менше, належить внести корекцію до часострумівих характеристик з урахуванням затримки часу горіння дуги при різних сталих часу електричного кола  $\tau = L/R$ .

Відзначимо, що величина коефіцієнта потужності  $\cos\phi$  на змінному струмі також впливає на характеристики запобіжника, але не у такій мірі, як впливає постійна часу на постійному струмі. Адже дуга на змінному струмі, навіть не вимкнувшись на цьому півперіоді, переходить через нуль, що сприяє її гасінню.

Для образності розглянемо осцилограми вимикання малоіндуктивного та сильноіндуктивного кола постійного струму (рис.42).

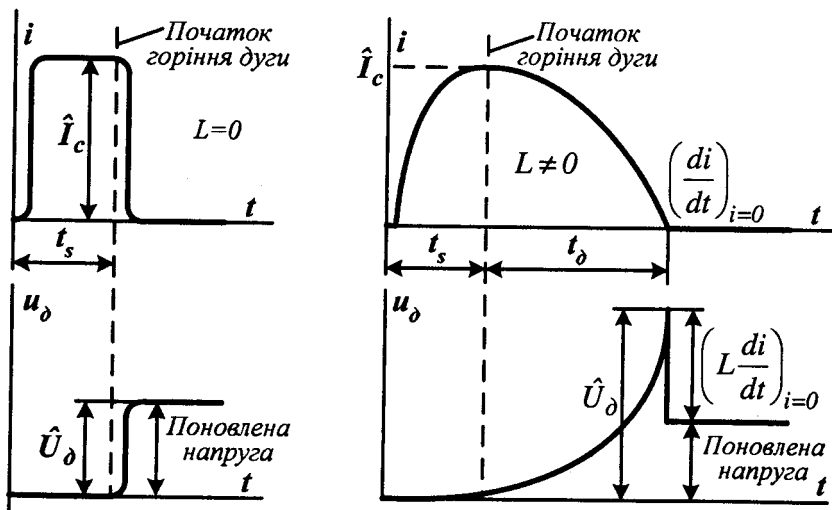


Рис.42. Осцилограми вимикання кола постійного струму при КЗ:

$\hat{I}_c$  – струм на початку горіння дуги;

$\hat{U}_d$  – пік напруги дуги



Перше, що кидається у вічі, – з ростом сталої часу росте пікове значення напруги дуги  $\hat{U}_d$ , друге – зростає час горіння дуги, що впливає на часострумову характеристику і на інтеграл Джоуля –  $I^2t$ .

Аналізуючи ще раз вираз для визначення енергії, виділеної при горінні дуги (див. стор. 64) при КЗ, доходимо висновку, що межу застосування запобіжників на постійному струмі визначає запасена в електричному колі електромагнітна енергія –  $LI^2/2$  та, хоча і у

меншій мірі, поновлена на виводах запобіжника напруга –  $\int_0^{t_d} Uidt$ .

На підставі сказаного при виборі запобіжників слід користуватися наступними правилами:

- номінальна постійна напруга, як правило, є нижчою від змінної. Обидва значення напруги повинні бути вказані на запобіжнику. Якщо номінальне значення постійної напруги не вказане, то його можна взяти у виробника. Для gG-запобіжника постійну напругу можна взяти половину від змінної. Тримачі запобіжника, які використовуються на змінній напрузі, можна використовувати і на постійній;

- номінальне значення постійного струму визначається з термічної точки зору і є таким самим як і номінальне значення змінного струму. Тому їх не подають окремо;

- вимикальна здатність при постійному струмі не є сталим параметром запобіжника, а повинна розглядатися разом зі сталими часу струмового кола: великі сталі часу знижують вимикальну здатність, а малі – підвищують;

- пропущений струм не може бути взятий з обмежувальної характеристики змінного струму, оскільки він залежить від сталих часу струмового кола. Для його визначення необхідно використовувати спеціальну документацію, яку надає виробник.

Стандартні значення сталих часу подані в табл. 10.

## Стандартні значення сталих часу

Устаткування	Стала часу $\tau$
Промислові системи керування	$\leq 10$ мс
Кола акумуляторів	$\leq 5$ мс
Двигуни і їхні кола	20–40 мс
Електромагніти	більше 1000 мс

При використанні NH-запобіжників вимикальна здатність згідно з EN60269 складає щонайменше 25 кА при сталій часу 15 мс. Вимикальна здатність D-запобіжників становить не менше 8 кА при сталій часу 15 мс. Ці запобіжники якраз використовуються у більшості силових кіл і кіл керування промислового устаткування.

На рис.43 показано характер зміни типової часострумової характеристики змінного струму за її використання на постійному струмі в залежності від сталих часу.

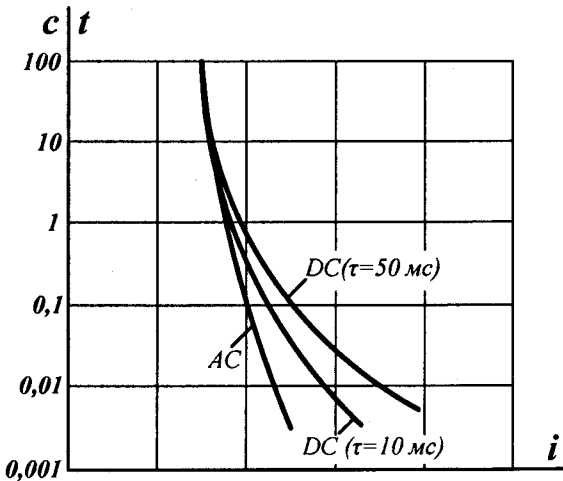


Рис.43. Характер зміни типової часострумової характеристики змінного струму за її використання на постійному струмі в залежності від сталих часу

**1.9.8. Захист пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗП).** Принципово завдання ПЗП полягає у вирівнюванні потенціалів між лінією і землею в момент появи на його затискачах імпульсу перенапруги і зниженні величини цього імпульсу до сприйнятної величини. Фактично, має місце КЗ між лінією і землею, яке триває, зазвичай, від десятків до сотень мікросекунд. Виділена при цьому енергія до певної міри не є аварійною як для варисторних ПЗП, так і для іскрових розрядників, хоча останні продовжують горіти ще протягом півхвилі в режимі КЗ.

За відсутності перенапруг іскрові розрядники практично не старіють. Інша річ варисторні ПЗП. Через них постійно протікають струми витоку, які ведуть до їх нагрівання. За нормальних умов експлуатації енергія, виділена за рахунок струмів витоку, розсіюється і не веде до підвищення нагріву понад норму. Проте старіння пристрою, тривала робота за максимальної робочої напруги ведуть до збільшення струму витоку і перегріву. Особливо небезпечним є підвищення напруги у разі обриву нульового проводу. При цьому небезпечно зростає післяімпульсний струм іскрового розрядника, можливе й відкриття варисторного ПЗП.

Для боротьби з перегрівом варисторних ПЗП від струмів витоку, а також їх перегріву у випадку імпульсного струму, який переходить максимально допустиму величину, їх забезпечують вмонтованим тепловим захистом. Це може бути підпружинений контакт, який зафіксовано краплею припою. У випадку перегріву припій розплавляється, контакт розривається; при цьому він може висунути сигнальний індикатор і навіть привести в дію контакти стану, все залежить від конкретного виробу (рис.44).

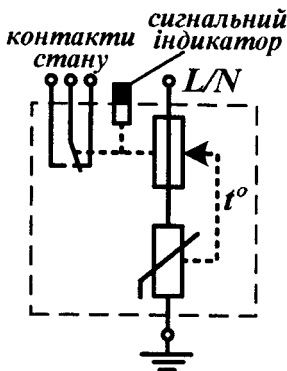


Рис.44. Будова варисторного ПЗП (ETITEC C275/5)

З практики відомі випадки, коли тепловий захист не спрацьовує в подібних ситуаціях. Як наслідок, описані явища ведуть до перегріву ПЗП, появи руйнувань і навіть виникнення дуги, яка розплавить пластмасовий корпус, перекинеться на корпус шафи, замкнувши клема пристрою з корпусом. Все залежить від величини очікуваного струму КЗ і вимикальної здатності (максимального струму КЗ) ПЗП.

Застосування автоматичних вимикачів у такій ситуації може призвести до небажаного результату. Наявний досвід експлуатації показує, що самі вимикачі можуть бути пошкоджені імпульсним струмом при грозовому розряді, зокрема, можуть приваритись контакти розчеплювача і з'явиться ймовірність неспрацювання автоматичного вимикача у випадку описаного вище явища КЗ.

Тому для захисту електроустановки і всіх типів ПЗП, в тому числі іскрових розрядників, від аварійних КЗ, які виникли у самих ПЗП, необхідно передбачити додатковий захист у вигляді плавких запобіжників, які встановлюються у коло послідовно з кожним ПЗП.

При виборі номіналів запобіжників керуються наступним: запобіжник повинен витримати імпульсні струми і обмежити струм аварійного КЗ до величини вимикальної здатності (максимального струму) ПЗП. Вибрати коректно номінал запобіжника не завжди

просто. Не всі виробники подають допустиму питому енергію імпульсу (інтеграл Джоуля), вимикальну здатність ПЗП, проте, як правило, дають рекомендацію, який саме запобіжник належить увімкнути в коло послідовно з цим типом ПЗП, чим і належить скористатись.

Номінали запобіжників в лінії FU1 (рис.45) і запобіжників у колі ПЗП FU2 необхідно скоординувати із врахуванням селективності їх роботи. Наприклад, ПЗП FV1 можуть бути захищені запобіжниками FU2 125A-gG, якщо номінальний струм запобіжників FU1 більший або рівний 125A-gG. Якщо з тих чи інших причин запобіжники FU1 вибираються на номінальний струм менший, ніж 125 А, то вмикати запобіжники FU2 на номінальні струми 125 А немає сенсу.

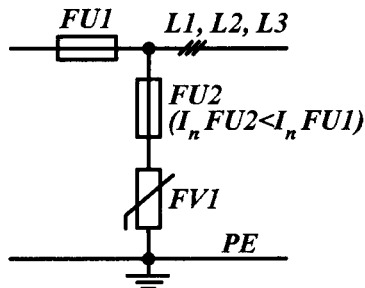
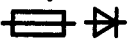


Рис.45. Координація запобіжників

## 1.10. Маркування запобіжників


При фізичному відборі плавкої вставки для її однозначної ідентифікації на ній повинна бути наведена достатня кількість інформації, яка б підтверджувала відповідність взятої плавкої вставки конкретно визначеним технічним даним і пов'язувала її з виробником і його технічною документацією на виріб.

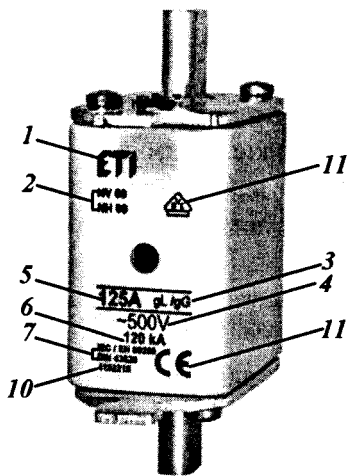
**Перерахуємо інформацію, яку, зазвичай, друкують на плавкій вставці (рис.46):**

1. Логотип (ім'я) виробника.
2. Типорозмір (серія, габарит).
3. Категорія запобіжника.
4. Номінальне значення напруги та її вид (змінна чи/та постійна).
5. Номінальний струм.
6. Вимикальна здатність.
7. Відповідність стандартам.
8. Додаткове позначення запобіжника для захисту напівпровідникових приладів у вигляді умовного графічного позначення плавкого запобіжника та діода .
9. Величина сталої часу  $L/R$  для запобіжників постійного струму.
10. Цифровий код плавкої вставки.
11. Знак відповідності міжнародним або національним стандартам.

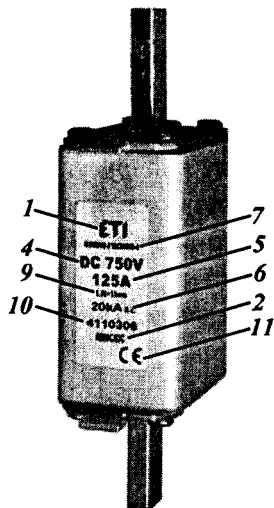
На плавких вставках серії NH обов'язковим є індикатор стану. Він може бути розташований як посередині на лицьовій стороні, так і на верхній торцевій.

Категорія запобіжника gL на сьогодні замінена категорією gG, проте, очевидно, за рахунок популярності її використовують при маркуванні як сукупність gL/gG.

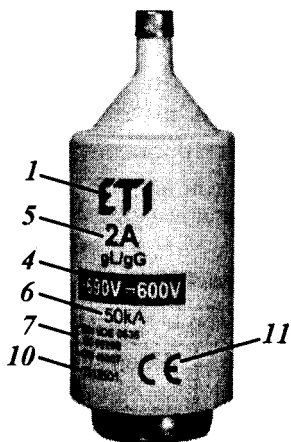
На деяких запобіжниках серії D можна знайти значок „равлика” – , що означає „запобіжник повільної дії”, як підкреслення того, що запобіжник не є швидкодіючим (наприклад, Ultra-Quik).



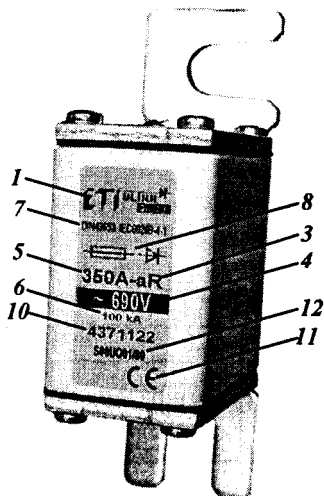
*a*



*б*



*в*



*г*

*Рис.46. Маркування запобіжників:*

*а – серії NH для змінного струму;*

*б – серії NH для постійного струму;*

*в – серії D для змінного і постійного струмів;*

*г – серії NH для захисту напівпровідникових пристроїв*

**Тримач запобіжника** повинен мати інформацію про виробника (логотип, ім'я) і типорозмір для його однозначної ідентифікації. Для користувача важливим є дані про номінальний струм, який визначає термічну навантажувальну здатність, а також номінальну напругу, пов'язану зі стійкістю ізоляції. Тримачі запобіжників, як правило, придатні як для змінного так і для постійного струмів. Тому інформація про вид струму, зазвичай, не подається.

*Примітка.* Номінальні струми тримача і основи відповідають плавким вставкам категорії gG.

Максимальна потужність, яку здатний розсіяти тримач і основа, відповідає втратам плавкої вставки для максимального струму цього типорозміру. Втрати ж потужності у плавкій вставці категорії gR, gS чи aM при одному й тому ж номінальному струмові, що й gG, є більшими. Для попередження можливого перегріву тримача та основи у разі використання плавких вставок, які не є категорії gG, слід подбати про відповідну корекцію, додаткове відведення тепла тощо.

Для прикладу у табл.11 подано значення втрат потужності та повної енергії (інтеграл Джоуля) –  $I^2t$  деяких запобіжників серії D на напругу 500 В та серії NH на напругу 690 В концерну ETI.

Таблиця 11

**Втрата потужності та повна енергія деяких запобіжників**

Типорозмір	Серія D, напруга 500 В				
	Номінальний струм, А	Втрати потужності, Вт		Повна енергія – $I^2t$ , $A^2s$	
		gG	gR	gG	gR
1	2	3	4	5	6
DI, DII	2	1,6	2,1	10,7	5,8
	10	2,6	3,6	340	40
	25	3,4	9,0	3450	205
DIII	35	3,6	12	7200	539
	63	5,9	23	26500	1890
DIV	80	7,54	33	32500	4200
	100	8,80	51	65000	8450



1	2	3	4	5	6
Серія NH, напруга 690 В					
NH00	2	0,8	–	14,8	–
	10	1,5	3,3	816	62
	25	2,9	5,8	3700	590
	35	3,3	8,0	8140	1160
	63	6,1	20	23700	4650
	80	6,4	25	51600	5350
	100	7,1	32	84600	10500
160	11,0	44	209500	24000	

### 1.11. Комбіновані комутаційні апарати з використанням запобіжників

Окремі елементи комутаційної апаратури в цілому не задовольняють усіх вимог щодо трьох основних функцій, а саме: захисту, керування і роз'єднання (ізолювання). Для забезпечення цих вимог використовують комбінації окремих елементів, спеціально призначених для таких функцій. Нижче описані найпоширеніші комбінації таких апаратів.

#### 1.11.1. Комбінації вимикачів і плавких запобіжників.

Стандарт ІЕС90947-3 так само, як і Міжнародний електротехнічний словник, передбачає шість варіантів комбінацій контактних комутаційних апаратів із запобіжниками (табл.12):

*вимикач-запобіжник (роз'єднувач-запобіжник, вимикач-роз'єднувач-запобіжник)* – комплектний апарат, що складається з вимикача (роз'єднувача, вимикача-роз'єднувача), в одному або декількох полюсах якого встановлено послідовно приєднаний нерухомий запобіжник;

*запобіжник-вимикач (запобіжник-роз'єднувач, запобіжник-вимикач-роз'єднувач)* – вимикач (роз'єднувач, вимикач-роз'єднувач),

у якому рухомий контакт здійснюється вставкою або тримачем зі вставкою запобіжника.

Таблиця 12

### Комбінації контактних комутаційних апаратів із запобіжниками

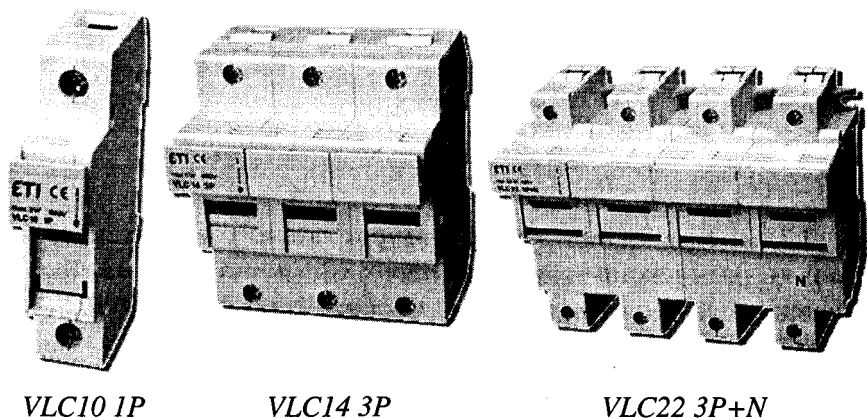
	вимикач-запобіжник
	роз'єднувач-запобіжник
	вимикач-роз'єднувач-запобіжник
	запобіжник-вимикач
	запобіжник-роз'єднувач
	запобіжник-вимикач-роз'єднувач

Комбінації із запобіжниками контактних комутаційних апаратів, які б не задовольняли умовам роз'єднання, на сучасному ринку не пропонуються, отже, апарати типу вимикач-запобіжник та запобіжник-вимикач без функції роз'єднання мають лише теоретичне значення.

Сучасні вимикачі-роз'єднувачі-запобіжники завдяки великій здатності до вимикання при коротких замиканнях, а також струмообмежувальній здатності сучасних серій запобіжників забезпечують ефективний захист електроустановок у потужних мережах, а завдяки швидкому розмиканню контактів та потужній дугогасній системі забезпечують вимикання значних робочих струмів (до 3150 А) та струмів перевантаження. Конструкція привідної системи вимикачів-роз'єднувачів, яка забезпечує швидке замикання контактів, а також конструкція контактної системи, яка забезпечує компенсацію електродинамічного відкидання, дають можливість *вмикати* і проводити впродовж визначеного часу струми коротких замикань.

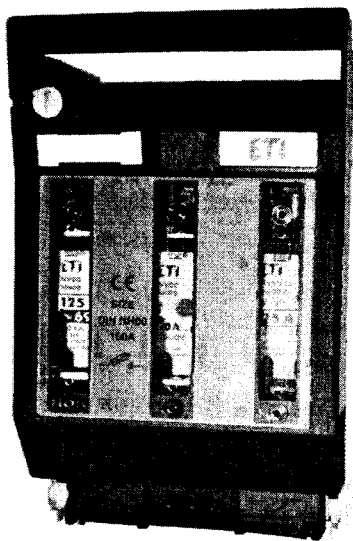
Комбінації комутаційних апаратів із запобіжниками з вертикальним розташуванням плавких вставок набули великої популярності завдяки можливості побудови малогабаритних розподільних пристроїв з великою кількістю фідерів, наявністю видимого розриву кола, високою здатністю до вимикання та струмообмежувальною здатністю запобіжників, а також зручністю монтажу та можливістю блокування несанкціонованих вмикань.

**Роз'єднувачі VLC** (виробництва концерну ETI) виконують функцію тримача запобіжників СН (рис.47) і дозволяють швидко та надійно вимикати електричне коло зі струмом до 100А. Можуть виконувати роль головного вимикача. Конструкція механізму роз'єднувачів VLC дозволяє здійснювати видимий розрив кола.

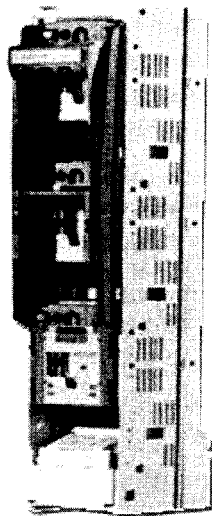


*Рис.47. Роз'єднувачі типу VLC*

**Роз'єднувачі для NH-запобіжників** типу LTL та SL (концерн ETI) (рис.48) призначені для комутації і захисту електричних кіл. Роз'єднувачі типу LTL монтуються на плоску поверхню або безпосередньо на шини живлення, а роз'єднувачі типу SL – на стандартні збірні шини.



*a*



*б*

*Рис.48. Роз'єднувачі для NH-запобіжників:  
а – типу LTL; б – типу SL (рейкові)*

**1.11.2. Комбінація запобіжник-роз'єднувач + контактор з тепловим реле і запобіжник-вимикач-роз'єднувач + контактор з тепловим реле.** Як відомо, контактор з тепловим реле не забезпечує захисту від струмів короткого замикання. Тому разом з ним необхідно застосовувати запобіжники (звичайно типу аМ). Така комбінація використовується головним чином в колах керування електродвигунами.

Роз'єднувач або вимикач-роз'єднувач забезпечують можливість безпечного проведення операцій технічного обслуговування, включаючи:

- заміну плавких вставок (при вимкненому колі);
- роботи на ділянці кола нижче від контактора з тепловим реле (без ризику дистанційного вмикання цього контактора з тепловим реле).

Запобіжник-роз'єднувач і контактор з тепловим реле повинні з'єднуватися так, щоб було неможливе вимикання або вмикання запобіжника-роз'єднувача, якщо контактор з тепловим реле не вимкнений (рис.49, а), оскільки такий запобіжник-роз'єднувач не забезпечує функцію вмикання/вимикання навантаження.

Очевидно, що для комбінації запобіжник-вимикач-роз'єднувач блокування не потрібне (рис.49, б). Якщо дане коло живить електродвигун, цей вимикач повинен бути категорії застосування АС-22 або АС-23.

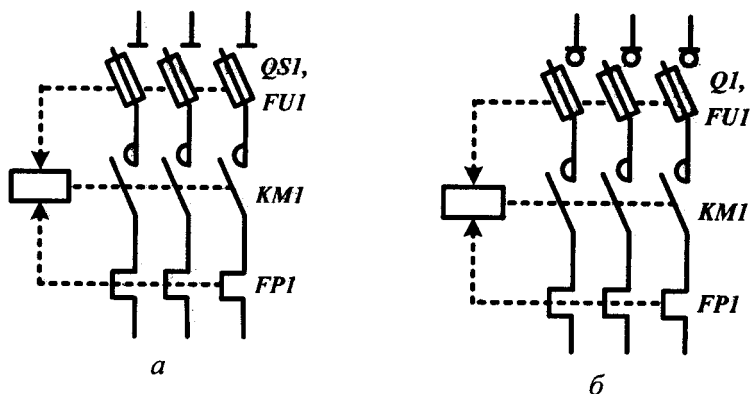


Рис.49. Комбінації запобіжник-роз'єднувач + контактор з тепловим реле (а) і запобіжник-вимикач-роз'єднувач+контактор з тепловим реле (б), структурні схеми

Достоїнством схем, наведених на рис.49, є вимикання контактора у разі спрацювання лише одного запобіжника. Це виключає можливість роботи, наприклад, асинхронного двигуна з обірваною одною фазою, що може мати небажані наслідки.

## 1.12. Контрольні запитання

1. Плавкий запобіжник, основне призначення.
2. Переваги та недоліки плавких запобіжників.
3. Конструкція плавких запобіжників, серії запобіжників.
4. Будова плавких вставок, принцип роботи.
5. Обмежувальна здатність запобіжників, інтеграл Джоуля.
6. Обмежувальні характеристики запобіжників.
7. Часострумові характеристики запобіжників, зона розкиду, умовний струм неплавлення і плавлення.
8. Вимикальна здатність плавких вставок, діапазон вимикання, типи плавких вставок.
9. Категорія застосування запобіжників, класи (категорії) запобіжників.
10. Характеристики  $I^2t$ .
11. Селективність у захисті при надструмах.
12. Повна і неповна селективність; поняття про енергетичну селективність.
13. Вибір запобіжників для кабелів і проводок.
14. Захист силових трансформаторів.
15. Захист електричних двигунів та їх кіл живлення, типи координації (комплектації).
16. Магнітні пускачі електродвигунів, функціональна схема.
17. Захист напівпровідникових пристроїв.
18. Захист конденсаторів.
19. Захист пристроїв постійного струму.
20. Маркування запобіжників.
21. Комбінації апаратів: роз'єднувач-запобіжник, запобіжник-роз'єднувач тощо.

## 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### Практична робота №1

#### **„Захист асинхронного двигуна з КЗ ротором; комплектація (координація) схеми – тип 2”**

##### **Програма роботи**

1. Побудувати схему системи живлення двигуна за використання магнітного пускача.

*Важлива вказівка.* У цій і наступних практичних роботах номінальна вимикальна здатність плавких вставок, що вибираються, повинна бути не меншою, ніж очікуваний (розрахунковий) струм КЗ. Оцінку очікуваного струму КЗ можна зробити за методикою, розробленою концерном ЕТІ (додаток В).

2. На підставі паспортних даних та технічних характеристик двигуна, заданих викладачем, вибрати магнітний пускач.

3. Вибрати плавкі запобіжники:

- за наявності аМ-запобіжників;
- за відсутності аМ-запобіжників.

4. За побудованими часострумовими характеристиками теплового реле пускача та запобіжника визначити граничний струм селективності (струм координації) схеми.

5. Провести техніко-економічний аналіз варіантів.

## Практична робота №2

**„Захист асинхронного двигуна з КЗ ротором, пуск якого здійснюється за допомогою пристрою плавного пуску у разі відсутності та наявності пускача”**

### **Програма роботи**

1. Побудувати схему системи живлення двигуна за відсутності та наявності пускача.

2. На підставі паспортних даних та технічних характеристик двигуна та пристрою плавного пуску, заданих викладачем, здійснити:

- вибір плавких запобіжників за відсутності магнітного пускача;
- вибір магнітного пускача;
- вибір запобіжника за наявності магнітного пускача.

## Практична робота №3

**„Захист силових трансформаторів”**

### **Програма роботи**

1. Побудувати схему системи живлення трьох споживачів від силового трансформатора.

2. На підставі паспортних даних трансформатора та даних про одного зі споживачів, заданих викладачем, здійснити:

- вибір плавких запобіжників для захисту силового трансформатора;
- вибір запобіжників для захисту одного зі споживачів;
- показати наявність селективності у захисті.



## Практична робота №4

### **„Захист двигунів постійного струму; комплектація (координація) схеми – тип 2”**

#### **Програма роботи**

1. Побудувати схему системи живлення двигуна постійного струму за використання автоматичного вимикача.
2. На підставі паспортних даних та технічних характеристик (в тому числі й сталої часу) двигуна, заданих викладачем, здійснити:
  - вибір автоматичного вимикача;
  - вибір плавкого запобіжника, враховуючи постійну часу при корекції часопрумової характеристики тощо.

## Практична робота №5

### **„Захист асинхронного двигуна з фазним ротором”**

#### **Програма роботи**

1. Побудувати схему системи живлення асинхронного двигуна з фазним ротором за використання автоматичного вимикача, враховуючи, що у радіальній ланці кола послідовно увімкнений спільний запобіжник, розташований у розподільному щиті.
2. На підставі паспортних даних двигуна, заданих викладачем, здійснити:
  - вибір автоматичного вимикача;
  - визначити граничний струм селективності (струм координації), якщо кратність номінального струму запобіжника дорівнює 2, використавши енергетичні характеристики вимикача і запобіжника концерну ETI (рис.19);
  - оцінити зроблений вибір запобіжника, порівнявши його з рекомендаціями виробника (табл.6).

## Практична робота №6

### „Захист конденсаторної установки”

#### Програма роботи

1. Технічні характеристики установки:

- потужність – 20 кВАр;
- напруга трифазної мережі – 400 В;
- з’єднання конденсаторів у батареї – трикутник;
- кількість ступенів регулювання – 3;
- програма регулювання – (5:5:10) кВАр.

2. На підставі технічних характеристик та структурної схеми (рис.50) вибрати запобіжники окремих ступенів – FU1, FU2, FU3 та спільні FU запобіжники.

3. Порівняти вибраний номінальний струм загальних запобіжників з рекомендованим виробником (див. табл.9).

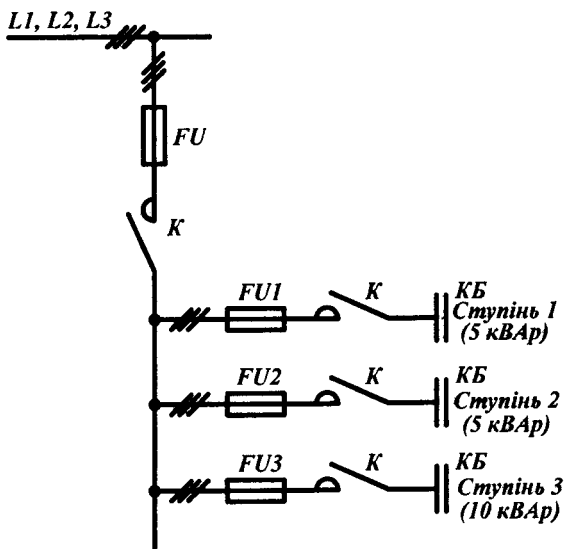


Рис.50. Структурна схема конденсаторної установки:

КБ – конденсаторна батарея

## СЛОВНИК ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ

У словнику даються пояснення деяких понять, використаних у цьому посібнику. Він не повинен вважатись заміною текстів використаних стандартів, зокрема ІЕС 60269-1-98.

**1. Плавкий запобіжник** – апарат, який шляхом розплавлення однієї або декількох спеціально спроектованих деталей розмикає коло, у якому він встановлений, відмикаючи струм, якщо той перевищує задане значення впродовж обумовленого часу. Запобіжник містить усі частини, що створюють єдиний пристрій.

**2. Тримач плавкого запобіжника** – комбінація основи плавкого запобіжника з тримачем плавкої вставки.

**3. Основа плавкого запобіжника** – незнімна частина плавкого запобіжника, яка містить контакти, виводи і, при необхідності, оболонку.

**4. Тримач плавкої вставки** – знімна частина плавкого запобіжника, призначена для утримання плавкої вставки.

**5. Плавка вставка** – частина плавкого запобіжника, що містить плавкий (і) елемент (и), яка замінюється після спрацьовування плавкого запобіжника.

**6. Контакт плавкого запобіжника** – дві або кілька струмоведучих частин, призначених для забезпечення безперервності кола між плавкою вставкою і відповідним тримачем.

**7. Плавкий елемент** – частина плавкої вставки, призначена для розплавлення при спрацьовуванні плавкого запобіжника. У плавкій вставці може бути кілька паралельних плавких елементів.

**8. Показчик спрацьовування (індикатор)** – пристрій, призначений для вказівки спрацьовування плавкого запобіжника.

**9. Ударник** – механічний пристрій, що є частиною плавкої вставки, який у разі спрацьовуванні плавкого запобіжника звільняє енергію, необхідну для спрацьовування іншого апарата або покажчика або для забезпечення внутрішнього блокування.

**10. Вивід** – струмоведуча частина плавкого запобіжника, призначена для електричного приєднання до зовнішніх кіл.

*Примітка.* Виводи можна розрізнити за видом кола, для якого вони призначені (наприклад, головний вивід, заземлювальний вивід тощо), і за конструкцією (наприклад, різьбовий вивід, втичний вивід тощо).

**11. Струмообмежувальна плавка вставка** – плавка вставка, яка у процесі й у результаті свого спрацьовування у встановленому діапазоні струмів обмежує струм до значно нижчого значення, ніж пікове значення очікуваного струму.

**12. Плавка вставка типу  $g$**  – струмообмежувальна плавка вставка, здатна у встановлених умовах вимикати усі струми, які викликають розплавлення плавкого елемента, аж до номінальної вимикальної здатності.

**13. Плавка вставка типу  $a$**  – струмообмежувальна плавка вставка, здатна у встановлених умовах вимикати усі струми в інтервалі між найменшим струмом, показаним на часострумівій характеристиці вимикання ( $k_1 I_n$  на рис.11), і номінальною вимикальною здатністю.

*Примітка.* Плавкі вставки типу  $a$ , зазвичай, застосовують для захисту від струмів короткого замикання. Якщо потрібний захист від струмових перевантажень, які не перевищують  $k_1 I_n$ , то їх застосовують разом з іншим необхідним пристроєм, що захищає від таких струмових перевантажень.

**14. Селективність при надструмі** – координація відповідних характеристик двох або більше пристроїв для захисту від надструмів з таким розрахунком, щоб з появою надструмів у встановлених межах спрацьовував пристрій, розрахований на ці межі, у той час як інший пристрій не спрацьовував.

**15. Серія плавких запобіжників** – сукупність плавких запобіжників, заснована на однакових фізичних принципах щодо форми плавких вставок, типу контактів тощо.

**16. Типорозмір** – установлений ряд розмірів плавких запобіжників у межах серії. Кожен окремий типорозмір охоплює визначений діапазон номінальних струмів, для яких установлені розміри плавких запобіжників залишаються незмінними.

**17. Категорія застосування (плавкої вставки)** – сукупність вимог, пред'явлених до умов, у яких плавка вставка виконує своє призначення, і вибраних з метою відображення визначеної групи практичних випадків застосування (див.табл.3).

**18. Номінальні значення** – загальний термін, що позначає значення параметрів, що у сукупності визначають робочі умови, відповідно до яких проводять випробування і на які розраховане устаткування.

*Примітка.* Для низьковольтних плавких запобіжників, зазвичай, вказують номінальні значення напруги, струму, вимикальну здатність, втрати потужності, розсіювану потужність і частоту (за необхідності).

**19. Очікуваний струм кола (щодо плавкого запобіжника)** – струм, який би проходив по колі, якби увімкнений у нього плавкий запобіжник був замінений провідником, повним опором якого можна знехтувати.

**20. Розкид** – граничні значення, між якими знаходяться характеристики, наприклад часострумові.

**21. Вимикальна здатність плавкої вставки** – значення очікуваного струму, який здатна вимикати плавка вставка при встановленій напрузі у встановлених умовах експлуатації й обслуговування.

**22. Пропущений струм** – максимальне миттєве значення, що досягається струмом у процесі вимикання, коли плавка вставка

своім спрацьовуванням запобігає досягненню струмом максимально можливого в інших умовах значення.

**23. Характеристика пропущеного струму** – залежність пропущеного струму від очікуваного струму у встановлених умовах спрацьовування.

**24. Піковий витримуваний струм** (тримача) – значення пропущеного струму, який тримач плавкої вставки може витримати.

*Примітка.* Піковий витримуваний струм повинен бути не меншим від максимального пропущеного струму будь-якої плавкої вставки, для якої цей тримач призначений.

**25. Переддуговий час** – час між появою струму, достатнього для розплавлення плавкого елемента, і моментом виникнення дуги.

**26. Час дуги** – час між моментами виникнення й остаточного загасання дуги.

**27. Час вимикання** – сума переддугового часу і часу дуги.

**28.  $I^2t$  (інтеграл Джоуля)** – інтеграл квадрата струму за визначений період часу  $I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i_c^2 dt$ .

*Примітки.* 1. Переддуговий  $I^2t$  – це інтеграл  $I^2t$  за переддуговий час плавкого запобіжника.

2.  $I^2t$  вимикання – це інтеграл  $I^2t$  за час вимикання плавкого запобіжника.

3. Енергія в джоулях, яка виділяється в резисторі 1 Ом у колі, що захищається плавким запобіжником, дорівнює  $I^2t$  вимикання, вираженому в ампер у квадраті-секундах ( $A^2c$ ).

**29. Характеристика  $I^2t$**  – крива залежності значення  $I^2t$  (переддугового і/або вимикання) від очікуваного струму у встановлених умовах спрацьовування.

**30. Номінальний струм плавкої вставки  $I_n$**  – значення струму, який плавка вставка може довготривало проводити у встановлених умовах без ушкоджень.

**31. Часострумова характеристика** – крива залежності преддугового часу або часу вимикання від очікуваного струму у встановлених умовах спрацьовування.

*Примітка.* Для часу більше від 0,1 с практично можна знехтувати різницею між переддуговим часом і часом вимикання.

**32. Умовний струм неплавлення  $I_{nf}$**  – встановлене значення струму, який плавка вставка здатна пропускати протягом устанавленого (умовного) часу, не розплавляючись.

**33. Умовний струм плавлення  $I_f$**  – встановлене значення струму, який викликає спрацьовування плавкої вставки протягом устанавленого (умовного) часу.

**34. Втрати потужності плавкої вставки** – енергія, що виділяється в плавкій вставці, яка проводить номінальний струм у встановлених умовах.

**35. Розсіювана потужність тримача** – максимальне значення виділюваної в плавкій вставці енергії, на яке розраховується тримач плавкої вставки у встановлених умовах.

**36. Поновлювана напруга** – напруга, що з'являється на виводах плавкого запобіжника після вимикання струму.

*Примітка.* Цю напругу можна розглядати в двох послідовних інтервалах часу: перший – коли є перехідна напруга, і наступний за ним другий – коли є тільки поновлювальна напруга або промислової частоти, або постійного струму.

**37. Перехідна поновлювана напруга** – поновлювана напруга у період, коли вона носить у значній мірі перехідний характер.

**38. Поновлена напруга** – поновлена напруга після загасання перехідних процесів.

**39. Напруга дуги** – миттєве значення напруги, яка з'являється на виводах плавкого запобіжника в період горіння дуги.

## ОЦІНКА СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Нижче наведена методика швидкої оцінки струмів КЗ. Ця методика дозволяє оцінити струм у разі КЗ на виході силового трансформатора Т, на виході головного розподільного щита ГРЩ і на виході розподільного щита РЩ (рис.Б1)

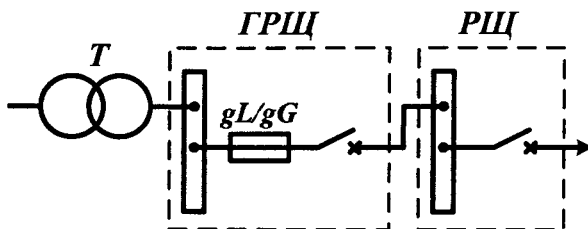


Рис.Б1. Структурна схема лінії при оцінці струмів КЗ

Вихідні дані, необхідні для визначення струмів КЗ:

- потужність силового трансформатора, кВА;
- довжина кабеля, м;
- переріз кабеля,  $\text{мм}^2$ ;
- матеріал кабеля, мідь або алюміній.

### Хід визначення струмів КЗ.

1. За потужністю силового трансформатора Т за табл.Б1 визначаємо струм КЗ на виході трансформатора. При виборі струму КЗ потужність трансформатора округляємо в більшу сторону.

2. На підставі даних про довжину кабеля, що з'єднує силовий трансформатор і ГРЩ, його переріз і матеріал, скориставшись табл.Б2 (у разі матеріалу кабеля – мідь) або табл.Б3 (матеріал кабеля – алюміній) визначаємо номер стовпчика N у вибраній таблиці. Для цього у лівому стовпчику вибираємо переріз кабеля і у цьому ж рядку своєю чергою вибираємо довжину кабеля, а за нею – номер стовпчика N (переріз кабеля округляємо до найближчого більшого, а довжину – до найближчого меншого значення).



Струм КЗ на виході ГРЩ визначаємо за табл.Б4. Для цього у лівому стовпчику знаходимо струм КЗ трансформатора, визначений за табл.Б1, а на перетині з номером стовпчика N, визначеного перед тим, одержуємо значення струму КЗ на виході ГРЩ (струм КЗ трансформатора, визначений за табл.Б1, округляємо до найближчого більшого значення).

3. Струм КЗ на виході РЩ визначаємо аналогічно до визначення струму КЗ на виході ГРЩ з тією різницею, що у лівому стовпчику табл.Б4 знаходимо струм КЗ на виході ГРЩ (визначений перед тим), а не трансформатора.

### **Приклад визначення струму КЗ на виході силового трансформатора Т, головного розподільного щита ГРЩ та розподільного щита РЩ**

Вихідні дані:

- потужність силового трансформатора – 350 кВА;
- довжина кабеля між трансформатором і ГРЩ – 50 м;
- переріз кабеля – 50 мм<sup>2</sup>;
- матеріал кабеля – мідь;
- довжина кабеля між ГРЩ і РЩ – 30м;
- переріз кабеля – 25 мм<sup>2</sup>;
- матеріал кабеля – алюміній.

1. Визначаємо струм КЗ на виході силового трансформатора за табл.Б1.

Округляємо потужність трансформатора в більшу сторону до 400 кВА і знаходимо значення струму КЗ – 13,72 кА.

2. Визначаємо струм КЗ на виході ГРЩ.

Скористаємося табл.Б2 (матеріал кабеля – мідь) для визначення номера стовпчика N таблиці. Вибравши в лівому стовпчику переріз провідника 50 мм<sup>2</sup> і в цьому ж рядку довжину кабеля 40 м (довжину кабелю 50 м округляємо в меншу сторону до 40 м), визначимо номер стовпчика – 10.

Струм КЗ на виході ГРЩ визначаємо за табл.Б4. У лівому стовпчику знайдемо струм КЗ – 15 кА, визначений за табл.Б1

(значення 13,72 кА округляємо до найближчого більшого значення 15 кА), а на перетині з номером стовпчика 10 одержимо значення струму КЗ на виході ГРЩ – 7 кА.

3. Визначимо струм КЗ на виході РЩ.

Скористаємося табл.Б3 (матеріал кабеля алюміній) для визначення номера стовпчика N таблиці. Вибравши в лівому стовпчику переріз провідника 25 мм<sup>2</sup>, і в цьому ж рядку довжину кабеля 17 м (значення 30 м округляємо до найближчого меншого значення 17 м), визначимо номер стовпчика – 11.

Струм КЗ на виході РЩ визначаємо за табл.Б4. У лівому стовпчику знайдемо струм КЗ на виході ГРЩ – 7кА, а на перетині з номером стовпчика 11 одержимо значення струму КЗ на виході РЩ – 4кА.

*Таблиця Б1*

### **Струм КЗ на виході силового трансформатора**

<b>Потужність, кВА</b>	50	100	160	200	250	315	400
<b>Струм КЗ, кА</b>	1,72	3,43	5,49	6,85	8,58	10,80	13,72

<b>Потужність, кВА</b>	500	630	800	1000	1250	1600	2000
<b>Струм КЗ, кА</b>	17,2	21,6	24,4	27,5	31,2	36,6	42,0

Вибір номера стовпця для мідного кабеля

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1,5								0,8	1	1,3	1,6	3	6,5	8	9,5	13	16	32
2,5							1	1,3	1,6	2,1	2,6	5	10	13	16	21	26	50
4						0,8	1,7	2,1	2,5	3,5	4,0	8,5	17	21	25	34	42	85
6						1,3	2,5	3,0	4,0	5,0	6,5	13	25	32	38	50	65	130
10				0,8	1,1	2,1	4	5,5	6,5	8,5	11	21	42	55	65	85	110	210
16		0,9	1,0	1,4	1,7	3,5	7	8,5	10	14	17	34	70	85	100	140	170	340
25	1	1,3	1,6	2,1	2,6	5,0	10	13	16	21	26	50	100	130	160	210	260	
35	1,5	1,9	2,2	3,0	3,5	7,5	15	19	22	30	37	75	150	190	220	300	370	
50	2,1	2,7	3,0	4,0	5,5	11	21	27	32	40	55	110	210	270	320			
70	3,0	3,5	4,5	6,0	7,5	15	30	37	44	60	75	150	300	370				
95	4,0	5,0	6,0	8,0	10	20	40	50	60	80	100	200	400					
120	5,0	6,5	7,5	10	13	25	50	65	75	100	130	250						
150	5,5	7,0	8,0	11	14	27	55	70	80	110	140	270						
185	6,5	8,0	9,5	13	16	32	65	80	95	130	160	320						
240	8,0	10	12	16	20	40	80	100	120	160	200	400						
300	9,5	12	15	19	24	49	95	120	150	190	240							

Переріз мідних провідників, мм<sup>2</sup>

Вибір номера стовця для алюмінієвого кабеля

Переріз алюмінієвих провідників, мм <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	2,5								0,8	1	1,3	1,6	3	6,5	8	9,5	13	16
4							1	1,3	1,6	2,1	2,6	5	10	13	16	21	26	50
6							1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	8	16	20	24	32	40	60
10						1,3	2,6	3,5	4,0	5,5	6,5	13	26	33	40	55	65	130
16				0,8	1,1	2,1	4,0	5,5	6,5	8,5	11	21	42	55	65	85	105	210
25		0,8	1,0	1,3	1,7	3,5	6,5	8,5	10	13	17	33	65	85	100	130	165	330
35	0,9	1,2	1,4	1,8	2,3	4,5	5,0	12	14	18	23	46	90	120	140	180	230	
50	1,3	1,7	2,0	2,6	3,5	6,5	13	17	20	26	33	65	130	170	200	260	330	
70	1,8	2,3	2,8	3,5	4,5	9,0	18	23	28	37	46	90	180	230	280	370		
95	2,5	3,0	4,0	5,0	6,5	13	25	32	38	50	65	130	250	310	380			
120	3,0	4,0	4,5	6,5	8,0	17	32	40	47	65	80	160	320	400				
150	3,5	4,5	5,0	7,0	8,5	17	34	43	50	70	85	170	340					
185	4,0	5,0	6,0	8,0	10	20	40	50	60	80	100	200	400					
240	5,0	6,5	7,5	10	13	25	50	65	75	100	130	250						
300	6,0	7,5	9,0	12	15	30	60	75	90	120	150	300						

Таблиця Б4

Визначення струму КЗ на виході ГРЩ/РЩ

Струм КЗ на ввіді в РЩ, кА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	100	71	67	63	56	50	33	20	17	14	11	9	5	2,4	2,0	1,6	1,2	1,0
90	66	62	58	52	47	32	20	16	14	11	9	4,5	2,4	2,0	1,6	1,2	1,0	0,5
80	61	57	54	49	44	31	19	16	14	11	9	4,5	2,4	2,0	1,6	1,2	1,0	0,5
70	55	52	49	45	41	29	18	16	14	11	9	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1,0	0,5
60	48	46	44	41	38	27	18	15	13	10	8,5	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1,0	0,5
50	42	40	39	36	33	25	17	14	13	10	8,5	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1,0	0,5
40	35	33	32	30	29	22	15	13	12	9,5	8	4,5	2,4	1,9	1,6	1,2	1,0	0,5
35	31	30	29	27	26	21	15	13	11	9,0	8	4,5	2,3	1,9	1,6	1,2	1,0	0,5
30	27	26	25	24	23	19	14	12	11	9,0	7,5	4,5	2,3	1,9	1,6	1,2	1,0	0,5
25	23	22	22	21	20	17	13	11	10	8,5	7,0	4,0	2,3	1,9	1,6	1,2	1,0	0,5
20	19	18	18	17	17	14	11	10	9,0	7,5	6,5	4,0	2,2	1,8	1,5	1,2	1,0	0,5
15	14	14	14	13	13	12	9,5	8,5	8,0	7,0	6,0	4,0	2,1	1,8	1,5	1,2	0,9	0,5
10	9,5	9,5	9,5	9,5	9,0	8,5	7,0	6,5	6,5	5,5	5,0	3,5	2,0	1,7	1,4	1,1	0,9	0,5
7,0			6,5	6,5	6,5	6,0	5,5	5,0	5,0	4,5	4,0	2,9	1,8	1,6	1,3	1,1	0,9	0,5
5,0	5,0	5,0	5	5,0	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	2,5	1,7	1,4	1,3	1,1	0,8	0,5
4,0						3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	2,9	2,2	1,5	1,3	1,2	1,1	0,8	0,4
3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	1,9	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,4
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,4	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,4
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3

## ТЕХНІЧНІ ДАНІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ (фірма VEM, ФРН)

Потужність	Струм	Частота обертання	Коефіцієнт вдачі	Коефіцієнт потужності	Пусковий струм	Пусковий момент	Момент в сідлі	Критичний момент	Момент інерції	Маса
$P_n$ , кВт	$I_n$ , А	$n$ , об/хв	$\eta$	$\cos\varphi$	$I_{пуск}/I_n$ , в.о.	$M_{пуск}/M_n$ , в.о.	$M_{min}/M_n$ , в.о.	$M_{max}/M_n$ , в.о.	$J$ , кг м <sup>2</sup>	$m$ , кг
<b>Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором      U=380 В, f=50 Гц, 2р=2</b>										
5,5	11,5	2860	0,857	0,86	5,5	1,8	1,6	2,2	0,0081	52
7,5	15,0	2900	0,870	0,86	6,6	1,8	1,3	2,5	0,0110	57
11	21,0	2900	0,885	0,90	7,0	2,4	2,0	3,0	0,028	81
15	28,5	2930	0,894	0,90	7,1	2,2	1,7	2,9	0,0575	118
18,5	34,0	2920	0,905	0,92	7,2	2,1	1,6	2,8	0,0675	134
22	39,5	2935	0,918	0,92	6,8	1,7	1,4	2,6	0,105	165
30	53,5	2940	0,928	0,92	7,3	2,0	1,6	2,9	0,128	195
<b>Асинхронний двигун з фазним ротором      U=400 В, f=50 Гц, 2р=4</b>										
5,5	11,5	1450	0,830	0,82	—	—	—	3,4	0,050	95
7,5	15,2	1460	0,860	0,83	—	—	—	3,1	0,093	133
11	22,0	1465	0,870	0,83	—	—	—	4,0	0,128	150
15	29,0	1465	0,875	0,86	—	—	—	3,6	0,195	204
18,5	35,0	1470	0,890	0,86	—	—	—	3,8	0,330	280

## КЛАСИ РОЗЧЕПЛЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЛЕ МАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ

Класи розчеплення теплових реле залежать від їх характеристик спрацьовування.

Класи розчеплення	Час спрацьовування $t_p$ , с
10А	$2 < t_p \leq 10$
10	$4 < t_p \leq 10$
20	$6 < t_p \leq 20$
30	$9 < t_p \leq 30$

$t_p$  – час спрацьовування з холодного стану теплового реле при 7,2-кратному струму уставки (наприклад, реле класу 10 при встановленому значенні  $7,2I_n$  не повинно спрацьовувати протягом 4 с, але повинно спрацьовувати протягом 10 с). Це дозволяє застосовувати клас 10 при нормальному часі пуску або клас 30 у разі важкого пуску.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник. — Харків: Талант, 2008. — 208 с.
2. Электротехническое оборудование. Каталог концерна ЕТІ 2008/09. — 320 с.
3. Dr.-Ing. Herbert Bessei. Starkstromsicherungen. Das Handbuch fuer Anwender von Niederspannungs- und Hochspannungssicherungen. Herausgeber: NH-NH-Recycling e.V.
4. Руководство по устройству электроустановок. Технические решения Schneider Electric, 2008. — 400 с.
5. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 720 с.: ил.
6. Электрические и электронные аппараты: Учеб. для вузов / Под ред. Ю.К. Розанова. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Информэлектро, 2001. — 420 с.
7. ГОСТ Р 50339.0-2003 (IEC 60269-1-98) Предохранители плавкие низковольтные. Часть 1. Общие требования.
8. ГОСТ Р 50339.1 Низковольтные плавкие предохранители. Часть 2. Дополнительные требования к плавким предохранителям промышленного назначения.
9. ГОСТ Р 50339.2 Низковольтные плавкие предохранители. Часть 2-1. Дополнительные требования к плавким предохранителям промышленного назначения. Разделы I—III.
10. ГОСТ Р 50339.3 Низковольтные плавкие предохранители. Часть 3. Дополнительные требования к плавким предохранителям бытового и аналогичного назначения.
11. ГОСТ Р 50339.4 Низковольтные плавкие предохранители. Часть 4. Дополнительные требования к плавким предохранителям для защиты полупроводниковых устройств.
12. ГОСТ Р 50030.3-99 (IEC 60947-3—99) Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и комбинации с их предохранителями.
13. МЭК 60050-441-84 Международный электротехнический словарь. Глава 441. Коммутационная аппаратура, аппаратура управления и предохранители.
14. МЭК 60291-69 Определения, относящиеся к плавким предохранителям.