

**О.Г. СЕРЕДА**, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПІ"  
**І.С. ВАРШАМОВА**, асистент, НТУ "ХПІ"  
**В.В. ЛИТВИНЕНКО**, асистент, НТУ "ХПІ"  
**В.В. МОРГУН**, студент, НТУ "ХПІ"

## ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПОКРАЩЕННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ

Показано необхідність координації апаратів захисту розгалужених електричних мереж. Доведено можливість підвищення надійності захисту за рахунок реалізації режиму "далекого резервування" відмов. Обґрунтована необхідність нових технічних рішень, спрямованих на поліпшення захисних властивостей низьковольтних автоматичних вимикачів.

**Ключові слова:** координація захистів, далеке резервування відмов, селективний захист.

**Вступ.** Для електроустановок (ЕУ) актуальною проблемою є підвищення надійності релейно-струмового захисту. Елементи ЕУ (кабелі і шини) повинні бути захищені при відмові автоматичного вимикача, до зажимів якого вони підключені. Задача захисного апарату полягає в тому, щоб захистити ЕУ в утвореному короткозамкненому електричному колі. Основним чинником, що призводить до виходу з ладу ЕУ, є теплова дія аварійного струму. Пристрій захисту повинен обмежити тривалість і амплітуду аварійного струму на такому рівні, щоб повний інтеграл відключення, що забезпечується захистом, не перевищував значення максимально допустимого для об'єкту, що захищається. Рішення даної задачі характеризується рівнянням:

$$\int_0^{t_{\text{кз}}} i_{\text{кз}}^2 \cdot dt < \left[ I_{\text{кз}}^2 \cdot t_{\text{кз}} \right]_{\text{дп}}, \quad (1)$$

де  $t_{\text{кз}}$  – загальна тривалість короткого замикання (КЗ), с;  $i_{\text{кз}}$  – миттєве значення струму КЗ, А;  $I_{\text{кз}}$  – діюче значення струму КЗ, А;  $\left[ I_{\text{кз}}^2 \cdot t_{\text{кз}} \right]_{\text{дп}}$  – допустима здатність до перевантаження, А<sup>2</sup>с.

Загальна тривалість КЗ розраховується за формулою:

$$t_{\text{кз}} = t_0 + t_{\text{аза}} + t_{\text{а}}, \quad (2)$$

де  $t_0$  – час, за який аварійний струм досягає значення уставки захисно-

го приладу, що відключає,  $c$ ;  $t_{\text{від}}$  – власний час відключення автоматичного вимикача від досягання струмом значення уставки до початку розходження контактів, що визначає швидкодію автоматичного вимикача,  $c$ ;  $t_{\text{д}}$  – час гасіння дуги,  $c$ .

Класифікацію автоматичних вимикачів проводять за призначенням та конструктивними особливостями, що визначають час спрацьовування (відмикання):

1. Швидкодіючі автоматичні вимикачі. Це автоматичні вимикачі постійного та змінного струму, що захищають напівпровідникові прилади, перетворювачі частоти, потужні підстанції з генераторами постійного струму, які є дуже чутливими до надструмів. Власний час їх відключення  $t_{\text{від}} < 5$  мс.

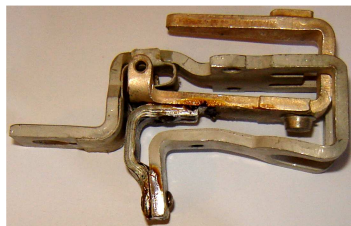
2. Автоматичні вимикачі, до яких не ставляться вимоги за швидкістю, або вони невисокі. Це автоматичні вимикачі як постійного, так і змінного струму, що захищають обладнання, яке не входить до типу обладнання, яке захищають автоматичні вимикачі гасіння магнітного поля та швидкодіючі автоматичні вимикачі. Вони в свою чергу поділяються на:

– струмообмежуючі автоматичні вимикачі, у яких максимальний миттєвий струм КЗ не досягає ударного (пікового) значення. Це забезпечується зменшенням значення  $t_{\text{від}}$  автоматичного вимикача шляхом використання електродинамічних зусиль між нерухомим та рухомим контактами (рис. 1,а), або шляхом використання різних швидкодіючих приводів. Власний час їх відключення  $t_{\text{від}} < 10$  мс.

– неструмообмежуючі автоматичні вимикачі, у яких максимальний миттєвий струм КЗ досягає ударного значення. Це забезпечується компенсацією електродинамічних зусиль між нерухомим та рухомим контактами. На рис. 1,б наведений приклад компенсації електродинамічних зусиль.



а



б

Рис. 1 – Використання електродинамічних зусиль в контактних системах:  
а – струмообмежуючий пристрій; б – компенсуючий пристрій.

– селективні автоматичні вимикачі, або автоматичні вимикачі з витримкою часу на спрацьовування. Власний час їх відключення  $100 \text{ мс} < t_{\text{від}} < 500 \text{ мс}$ .

**Мета роботи** – дослідження існуючих способів координації роботи апаратів захисту розгалужених електричних кіл.

**Селективність автоматичних вимикачів в мережах електропостачання низької напруги.** Вибір системи релейно-струмового захисту ЕУ є важливим аспектом як для забезпечення економічної та технічно правильної експлуатації самої установки, так і для мінімізації проблем, пов'язаних з ненормальними умовами експлуатації або поточними несправностями [1]. Розглянемо узгодження роботи різних пристроїв, призначених для захисту елементів ЕУ з метою:

- забезпечення безпеки ЕУ та персоналу в усіх випадках;
- швидкої ідентифікації та відключення зони, в якій виникла проблемна ситуація, без проведення загальних відключень, які припиняють подачу електроенергії в зони нормальної роботи ЕУ;
- зниження впливу наслідків пошкоджень на складові частини установки: падіння напруги й втрата стабільності в обертових механізмів;
- зниження термічної й динамічної навантаження на елементи ЕУ й попередження пошкоджень в зоні несправності;
- забезпечення безперервності електропостачання належної якості;
- забезпечення резервування в разі несправності захисту, що відповідає за відключення аварійної ділянки;
- надання персоналу, відповідальному за системне техобслуговування та керування, інформації, необхідної для якнайшвидшого відновлення експлуатації решти частини електромережі з мінімальним втручанням.

Система захисту повинна мати здатність точної ідентифікації виду й місця аварії, розрізняючи при цьому ненормальний, але припустимий режим від серйозної несправності в межах зони відповідальності, щоб уникнути помилкових спрацьовувань з подальшою невиправданою зупинкою справної частини устаткування. У той же час необхідно максимально швидке спрацьовування захисту для обмеження руйнівної дії КЗ для збереження безперервності й стабільності подачі електроживлення. Алгоритм спрацьовування захисту заснований на компромісі між двома протилежними вимогами: точна ідентифікація несправності й швидке спрацьовування, і визначаються відповідно до того, яка вимога є переважнішою. У тому випадку, коли більш важливо запобігти небажаним спрацьовуванням, перевага віддається непрямій системі захисту, заснованій на блокуваннях і передачі даних між

різними пристроями, які проводять локальні вимірювання електричних величин, в той час як швидкість і необхідність обмеження руйнівних ефектів КЗ вимагають застосування систем прямої дії з захисними розчеплювачами, вбудованими безпосередньо в апарати захисту. У системах низької напруги первинного та вторинного розподілу енергії перевага віддається останнім варіантом.

В італійському Стандарті CEI 64-8 "Електричні установки з номінальною напругою нижче 1000 В змінного струму та 1500 В постійного струму" у відношенні установок низької напруги в частині 5 "Вибір і монтаж електричних компонентів" сказано: "Селективність між пристроями захисту від надструмів передбачає при кількох захисних пристроях, встановлених послідовно, коли це виправдано вимогами експлуатації, узгодження їх робочих характеристик таким чином, щоб відключати тільки ту частину установки, де виникла несправність".

Визначення селективності наведено і в ГОСТ Р 50030.1 "Апаратура розподілу й керування низьковольтна – Частина 1: Загальні вимоги та методи випробувань". Селективність щодо надструмів – це координація робочих характеристик двох або декількох пристроїв захисту від надструмів з таким розрахунком, щоб у разі виникнення надструмів в межах вказаного діапазону спрацював тільки пристрій, призначений для оперування в даному діапазоні, а інші не спрацювали.

Під надструмом розуміється струм з більш високим значенням, ніж номінальний струм, викликаний будь-якою причиною (перевантаження, коротке замикання).

Таким чином здійснюється селективність між двома послідовними автоматичними вимикачами щодо надструму, який протікає через обидва вимикачі (рис. 2). При цьому автоматичний вимикач з боку навантаження  $QF_{3,1}$  розмикається, забезпечуючи захист кола, а автоматичний вимикач з боку живлення  $QF_1$  залишається замкнутим, забезпечуючи подачу живлення неушкодженій частини установки.

Визначення повної та часткової селективності наведено в частині 2 ГОСТ Р 50030.2 "Апаратура розподілу й керування низьковольтна – Частина 2: Автоматичні вимикачі". Повна селективність – селективність щодо надструмів, коли при послідовному з'єднанні двох

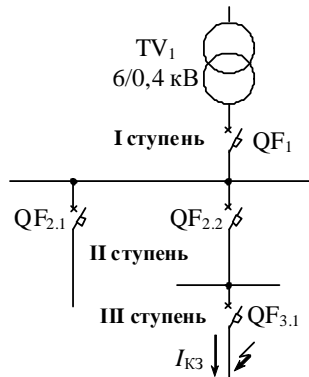


Рис. 2 – Координація роботи автоматичних вимикачів.

апаратів захисту від надструмів апарат з боку навантаження здійснює захист без спрацьовування мережевого захисного апарату. Можна говорити про повну селективності, коли забезпечується селективність для будь-якого значення надструму, можливого в установці.

Про повну селективності між двома автоматичними вимикачами  $QF_{2.1}$  та  $QF_{3.1}$  (рис. 2) говорять, коли забезпечується селективність до меншого із значень граничного струму  $I_{cu}$  двох автоматичних вимикачів, так як максимальний очікуваний струм КЗ установки в будь-якому випадку буде нижче або дорівнюватиме найменшому значенню  $I_{cu}$  двох автоматичних вимикачів. Про часткову селективності говорять, коли забезпечується тільки селективність до певного значення струму  $I_{sd}$  (граничний струм селективності). Якщо струм перевищує це значення, то селективність між двома автоматичними вимикачами більш не може бути забезпечена. Про часткову селективності між двома автоматичними вимикачами говорять, коли забезпечується селективність до певного значення  $I_{sd}$ , яке нижче значень  $I_{cu}$  двох автоматичних вимикачів. Якщо максимальний очікуваний струм КЗ установки нижче або дорівнює струму селективності  $I_{sd}$ , говорять про повну селективність.

Для аналізу селективності вводяться поняття "зони перевантаження" та "зони КЗ". Під "зоною перевантаження" розуміють діапазон значень струму  $i$ , отже, відповідну частину часострумових характеристик спрацьовування автоматичного вимикача між номінальним струмом  $I_r$  самого автоматичного вимикача та значенням, яке в 8-10 разів вище за  $I_r$ . Це зона, в якій зазвичай відбувається спрацьовування теплового захисту для термомагнітних розчеплювачів та захисту  $L$  для електронних розчеплювачів (рис. 3,а). Ці струми звичайно відповідають колам з перевантаженням. Можливість виникнення даної події більш висока в порівнянні з появою КЗ.

Під "зоною КЗ" розуміють діапазон значень струму  $i$ , отже, відповідну частину кривих спрацьовування автоматичного вимикача (рис. 3,б), які в 8-10 разів вище за струм  $I_r$ . Це зона, в якій звичайно відбувається спрацьовування магнітного захисту для термомагнітних розчеплювачів або захистів  $S, I$  для електронних розчеплювачів. Ці значення струму зазвичай відповідають пошкодженню в колі живлення. Ця подія менш імовірна, ніж просте перевантаження.

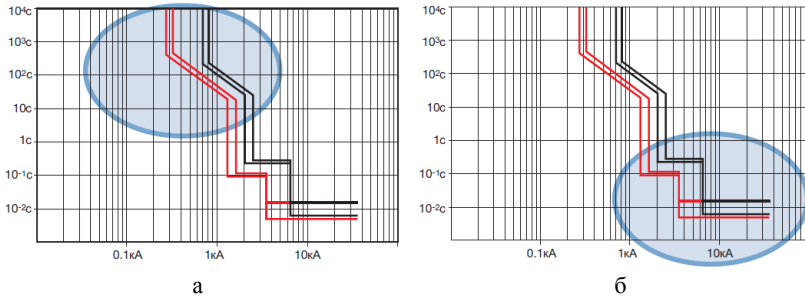


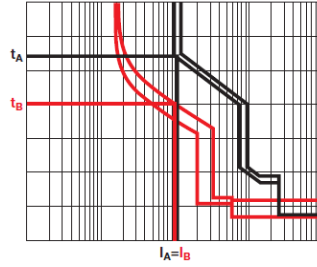
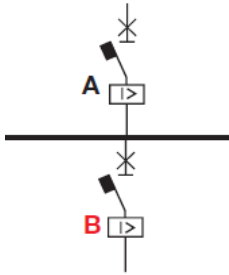
Рис. 3 – Захисні часострумові характеристики вимикачів:  
а – зона перевантаження; б – зона КЗ.

При порівнянні часострумових кривих двох автоматичних вимикачів оцінюється час спрацювання двох апаратів, як якщо б по них пропускався однаковий струм. Такий підхід коректний тільки у випадку, коли між двома послідовними автоматичними вимикачами відсутні інші відгалуження, тобто є один вхідний і один вихідний фідер, які стоять на одному і тому ж вузлі. Коли ж мається кілька автоматичних вимикачів з боку живлення, які стоять на тій же шині, або кілька вихідних фідерів з боку навантаження, струми, що проходять через апарати, можуть значно відрізнятись. У відношенні дійсних струмів, що проходять через автоматичні вимикачі, розглядають три основні випадки:

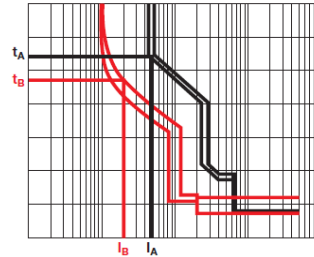
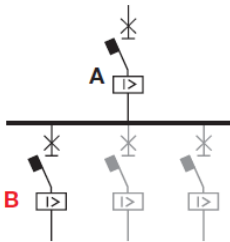
– один автоматичний вимикач на боці живлення і один автоматичний вимикач на стороні навантаження (пропускається однаковий струм), рис. 4,а;

– один автоматичний вимикач на боці живлення й кілька автоматичних вимикачів на стороні навантаження (через вимикач зі сторони живлення пропускається струм більш високий, ніж струм у вимикачі з боку навантаження), рис. 4,б;

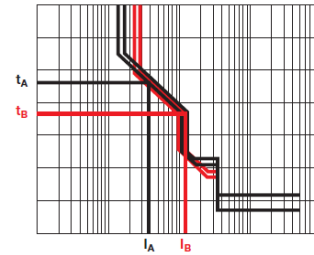
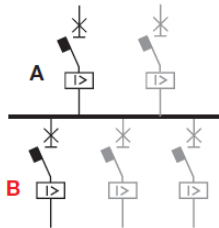
– два або більше автоматичних вимикачів на стороні живлення й кілька автоматичних вимикачів на стороні навантаження рис. 4,в.



а



б



в

Рис. 4 – Часо-струмові характеристики увімкнених послідовно вимикачів:  
 а – один автоматичний вимикач на боці живлення і один автоматичний вимикач на стороні навантаження; б – один автоматичний вимикач на боці живлення й кілька автоматичних вимикачів на стороні навантаження; в – два або більше автоматичних вимикачів на стороні живлення й кілька автоматичних вимикачів на стороні навантаження.

**Методи забезпечення селективності автоматичними вимикачами АВВ.** У зоні перевантаження з застосуванням пристроїв захисту АВВ звичайно реалізується часо-струмовий тип селективності. У зоні КЗ із застосуванням пристроїв захисту можуть використовуватися різні методи

забезпечення селективності, зокрема: струмова селективність, часова селективність, енергетична селективність, зонна селективність [1].

Коли пристрої захисту мають характеристику, при якій в міру зростання струму час спрацьовування автоматичного вимикача зменшується (за допомогою теплового розчеплювача або за допомогою функції  $L$  електронного розчеплювача), то застосовується метод **часострумової селективності**. **Часострумова селективність** забезпечує спрацьовування вимикачів шляхом регулювання характеристики спрацьовування розчеплювачів таким чином, щоб захист з боку навантаження при всіх можливих значеннях надструму спрацьовував швидше, ніж автоматичний вимикач з боку живлення. При налаштуванні часу спрацьовування двох автоматичних вимикачів необхідно враховувати допуски порогів і часів спрацьовування та дійсні струми, що протікають в автоматичних вимикачах. Що стосується допусків, характеристики спрацьовування розчеплювачів АВВ подані двома кривими (рис. 4), одна з яких вказує найбільший час спрацьовування (верхня крива), а інша – найменший час спрацьовування (нижня крива). Для коректної селективної роботи необхідно враховувати найгірші умови (рис. 5), коли автоматичний вимикач **А** з боку живлення спрацьовує за нижньою кривою, а автоматичний вимикач з боку навантаження **В** спрацьовує за верхньою кривою. Якщо по двох автоматичних вимикачів пропускається однаковий струм, достатньо, щоб не було перекриття між кривою автоматичного вимикача з боку живлення й кривою автоматичного вимикача з боку навантаження. Якщо по двох автоматичних вимикачів пропускаються різні струми, необхідно вибрати ряд показових точок на кривих і переконатися в тому, що величини часу спрацьовування захисту з боку живлення завжди вище відповідних величин часу захисту з боку навантаження. Якщо умова  $t_A > t_B$  виконується у всьому діапазоні зміни струму, тоді селективність в зоні перевантаження забезпечується.

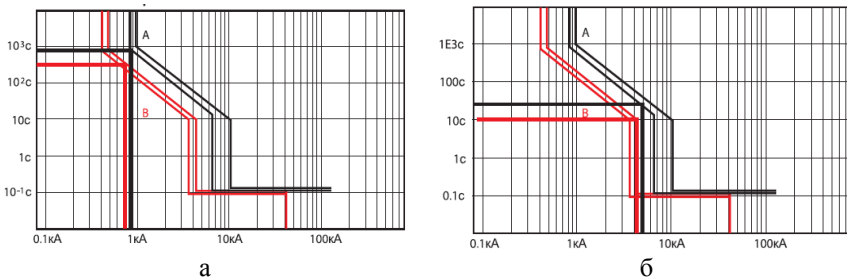


Рис. 5 – Захисні характеристики вимикачів при часострумовій селективності:  
 а – автоматичний вимикач **А** з боку живлення спрацьовує за нижньою кривою;  
 б – автоматичний вимикач з боку навантаження **В** спрацьовує за верхньою кривою.



**Струмова селективність** заснована на положенні про те, що чим ближче місце замикання до джерела живлення установки, тим вище струм КЗ. Тому можна визначити зону, в якій трапилося замикання, шляхом уставки розчеплювача миттєвої дії на різні значення струму. Повну селективність звичайно можна отримати в конкретних випадках тільки там, де струм замикання невисокий, і де між двома пристроями захисту є елемент з високим повним електричним опором (трансформатор, дуже довгий кабель або кабель зі зменшеним поперечним перерізом) і, отже, велика різниця між значеннями струмів КЗ. Даний тип узгодження використовується, в першу чергу, в кінцевих розподільчих щитах де низькі значення номінального струму і струму КЗ, і високий повний електричний опір з'єднувальних кабелів. При цьому граничний струм селективності звичайно низький, тому селективність найчастіше є частковою, рівень уставки захисту від надструмів швидко зростає резервування захисту, що забезпечує швидке відключення пошкодженої лінії, якщо один з апаратів захисту несправний, є неможливим. Цей тип селективності також може бути реалізований між автоматичними вимикачами однакового розміру без функції S захисту від КЗ з затримкою.

На практиці (рис. 6,а) уставка захисту від КЗ автоматичного вимикача **A** з боку живлення буде встановлена на значення, яке не допускає його спрацювання при КЗ, що виникають в навантаженні на стороні апарату **B**:  $I_{sl\ min A} > 1\ \text{кА}$ . Уставка захисту автоматичного вимикача з боку навантаження **B** буде встановлена так, щоб він спрацював при КЗ, які виникають на його стороні навантаження:  $I_{sl\ max B} > 1\ \text{кА}$ . Значення граничного струму селективності, яке може бути отримано, дорівнює порогу миттєвого спрацювання захисту з боку живлення без будь-якого допуску:  $I_s = I_{sl\ min A}$  (рис. 6,б)

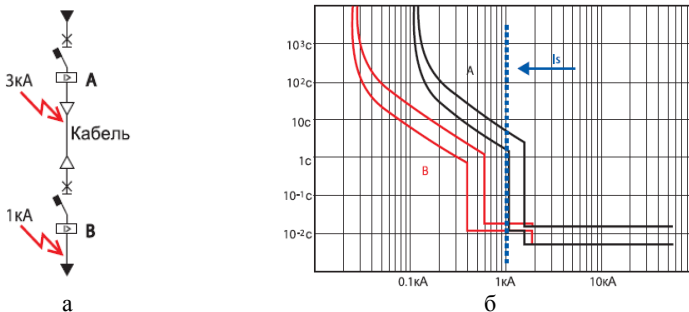
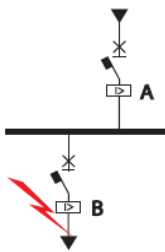


Рис. 6 – Захисні характеристики вимикачів: а – схема розташування вимикачів; б – значення граничного струму селективності.

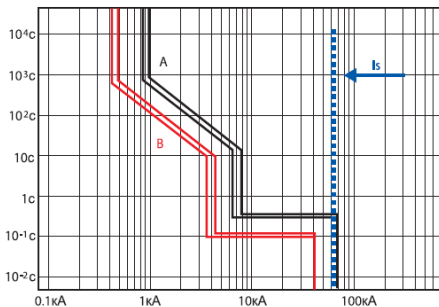
*Часова селективність* являє собою розвиток струмової. Тепер для узгодженої роботи вимикачів крім уставки спрацьовування за струмом визначається також час спрацьовування. Значення струму уставки викликає спрацювання розчеплювача після певної часової затримки, що дозволяє забезпечити спрацювання будь-яких апаратів захисту, розташованих найближче до місця аварії, відмикаючи ділянку, де сталася несправність. Стратегія полягає в поступовому підвищенні уставок струму й затримок спрацьовування при наближенні до джерела живлення. Різниця між затримками, встановленими для послідовних апаратів захисту, повинна враховувати час виявлення замикання, час спрацьовування вимикача на стороні навантаження, а також час інерції вимикача на стороні живлення, протягом якого пристрій захисту може спрацювати навіть після зникнення струму КЗ. Як і у випадку струмової селективності, узгодження роботи вимикачів проводиться шляхом порівняння часострумівих кривих. Цей тип узгодження легко реалізувати. Він не дуже дорогий щодо системи захисту й дозволяє отримати високі значення меж селективності та забезпечити резервування пристроїв захисту. Однак час спрацьовування й рівні енергії, що пропускаються вимикачами, особливо розташованих біля джерел, є значними.

На практиці параметри захисту із затримкою при КЗ у двох автоматичних вимикачів (рис. 7,а) повинні бути встановлені та відрегульовані таким чином, щоб не створювати перекриття зон спрацьовування часострумівих характеристик (рис. 7,б). Час спрацювання повинен бути відрегульованим таким чином, щоб автоматичний вимикач **В** з боку навантаження відключився, в той час як автоматичний вимикач **А** з боку живлення, який перебуває в стадії очікування, був здатний "побачити" відключення струму і залишитися в замкнутому стані. Отриманий граничний струм селективності  $I_s$  (рис. 7,б) дорівнює уставки миттєвого спрацювання захисту з боку живлення, якщо ця функція увімкнена, або значенню  $I_{cw}$  для повітряних автоматичних вимикачів з боку живлення, якщо функція миттєвої захисту встановлена в положення OFF.

Узгодження енергетичного типу (*енергетична селективність*) є специфічним типом селективності, який заснований на струмообмежувальних характеристиках автоматичних вимикачів у литому корпусі.



а



б

Рис. 7 – Захисні характеристики вимикачів: а – захист із затримкою при КЗ у двох автоматичних вимикачів; б – часострумові характеристики.

Струмообмежуючий вимикач є автоматичним вимикачем з надзвичайно малим часом вимикання, протягом якого струм КЗ не встигає досягти свого максимального значення [2]. На практиці, всі автоматичні вимикачі в литому корпусі серій ISOmax і Tmax, модульні автоматичні вимикачі та повітряні струмообмежуючі автоматичні вимикачі E2L та E3L, що випускаються концерном АВВ, мають більш-менш виражені струмообмежувальні властивості. В умовах КЗ струмообмежуючі автоматичні вимикачі мають надзвичайно високу швидкодію (час спрацьовування становить кілька мілісекунд) і розмикаються при наявності значної аперіодичної складової. Тому для їх узгодження неможливо використовувати часострумові криві спрацьовування, отримані з урахуванням діючих значень періодичних складових.

У каталогах АВВ наводяться таблиці та програми розрахунку із зазначенням величини граничного струму селективності  $I_s$  при КЗ між різними комбінаціями автоматичних вимикачів. Ці значення визначаються шляхом теоретичного об'єднання результатів випробувань, проведених у відповідності з вказівками [2] (рис. 8).

		Сторона питання	T5				A	
Исполнение		N, S, H, L, W						
		Расцепитель		TM		EL		
		$I_n$ [A]		400	630	400	630	
Сторона нагрузки	N	$I_n$ [A]						
		63	25	25	25	25	25	25
		80	25	25	25	25	25	25
		100	25	25	25	25	25	25
		125	20	20	20	20	20	20
		160			20	20	20	20
		200				20	20	20
		250					20	20
		63	25	25	25	25	25	25
		80	25	25	25	25	25	25
S		$I_n$ [A]						
		100	25	25	25	25	25	
		125	20	20	20	20	20	
		160			20	20	20	
		200				20	20	
		250					20	
		160					20	

Рис. 8 – Величини граничного струму селективності.

На практиці в розчеплювачах термомагнітного типу з боку живлення уставки магнітного спрацьовування повинні бути такими, щоб не створювати перекриття зон спрацьовування (рис. 9), з урахуванням допусків та дійсних струмів, що протікають через автоматичні вимикачі.

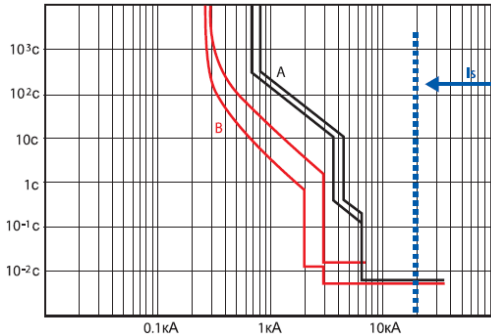


Рис. 9 – Захисні характеристики вимикачів.

Магнітний поріг спрацьовування автоматичного вимикача з боку живлення повинен дорівнювати або бути вище  $10I_n$  або бути встановленим на максимальне значення, якщо воно регулюється. В розчеплювачах електронного типу автоматичних вимикачів з боку живлення всі

функції захисту від КЗ з затримкою  $S$  повинні бути відрегульовані у відповідності з тими ж вказівками, які дійсні у відношенні селективності за часом, при цьому функція миттєвого захисту I автоматичних вимикачів з боку живлення повинна бути вимкнена.

**Зонна селективність** являє собою розвиток часової селективності. Вона реалізується за допомогою діалогу між струмовимірювальними пристроями, що при виявленні струму збурення установки дозволяє точно визначити місце несправності та відключити подачу електроживлення тільки в цю зону. Вимірювальні пристрої направляють інформацію про перевищення уставки струму системі контролю, та остання визначає, який пристрій має спрацювати. У разі коли є значення струму, які вище відповідних уставок, то кожне захисний пристрій направляє сигнал блокування за допомогою прямого з'єднання або шини на ієрархічно більш високий рівень захисту, і до спрацювання перевіряється, що аналогічний сигнал блокування не надійшов від захисного пристрою з боку навантаження. Таким чином, спрацьовує тільки захист, розташований безпосередньо з боку джерела живлення від точки несправності. У порівнянні з часовою селективністю не потрібно підвищувати навмисну затримку при наближенні до джерела живлення. Затримка може бути зменшена на час, потрібний для прийому можливого сигналу блокування від захисного пристрою з боку навантаження. Цей тип селективності підходить для радіальних мереж та, в поєднанні зі спрямованим захистом, підходить також для вузлових мереж.

У порівнянні з часовою селективністю, зонна селективність забезпечує скорочення часу спрацювання, зниження пошкодження, що викликається замиканням, та втручання в систему електроживлення, зниження теплових та динамічних навантажень на частини установки, отримання великої кількості рівнів селективності. Однак вона дорожча й вимагає наявності додаткового джерела живлення.

На практиці цей тип селективності може бути реалізований:

– між повітряними автоматичними вимикачами  $E_{max}$ , оснащеними розчеплювачами PR122 та PR123. Граничний струм селективності, який може бути отриманий, дорівнює  $I_s = I_{cw}$ ;

– між автоматичними вимикачами в литому корпусі  $T_{max}$  T4L, T5L та T6L, оснащеними розчеплювачем PR223 EF. Граничний струм селективності, який може бути отриманий, становить  $I_s = 100$  кА.

За допомогою додаткового модуля IM210, можна створити коло зонної селективності між вимикачами серій  $T_{max}$  та  $E_{max}$  компанії ABB (рис. 10)

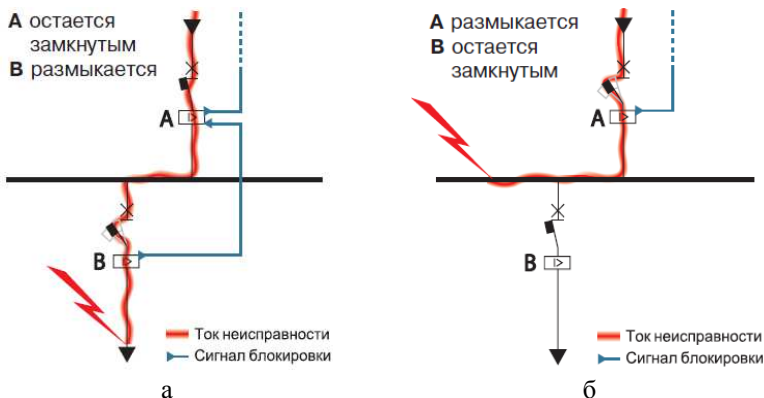


Рис. 10 – Координація роботи автоматичних вимикачів АВВ:  
а – резервирование; б – зона селективности.

Компанія АВВ випускає наступні типи автоматичних вимикачів:

- мініатюрні (модульні) автоматичні вимикачі (МСВ) представлені серією автоматичних вимикачів System Pro-M Compact. Вони оснащені термомагнітними розчіплювачами, характеристики спрацьовування яких відповідають Стандартам МЕК 60898, ГОСТ Р 50345 та DIN VDE 0660. Ці автоматичні вимикачі мають здатність до відмикання ( $I_{cu}$ ) відповідно до МЕК60947-2, ГОСТ Р 50030.2. Межі енергетичної селективності зазначені в стандартах.

- автоматичні вимикачі в литому корпусі (МССВ) серій Tmax та ISOMax оснащені термомагнітними або електронними розчеплювачами. Найсучасніший електронний розчеплювач серії Tmax – це PR223EF. Він дозволяє реалізувати зонну селективність між автоматичними вимикачами МССВ.

- повітряні автоматичні вимикачі (АСВ) серії Emax оснащені електронними розчеплювачами. Найсучасніші електронні розчеплювачі серії Emax – це PR122/P та PR123/P. PR122/P дозволяють реалізувати зонну селективність. PR123/P крім зонної селективності дозволяють реалізувати спрямовану зонну селективність.

МСВ – це автоматичні вимикачі з термомагнітним розчеплювачем а, отже, неможливо забезпечити часову та зонну селективність. Селективність МСВ-МСВ реалізується двома методами: струмова та енергетична селективність. В залежності від типу МСВ на стороні живлення, можна реалізувати або один, або інший метод.

Для випадку забезпечення селективності МССВ-МССВ між автоматичним вимикачем в литому корпусі на стороні живлення та модульним автоматичним вимикачем на стороні навантаження завдяки різному розміру двох автоматичних вимикачів, завжди можливо отримати енергетичну селективність.

Для забезпечення селективності МССВ-МССВ між двома автоматичними вимикачами в литому корпусі можливо використовувати різні методи забезпечення селективності. Струмова селективність використовується для комбінацій автоматичних вимикачів, які не мають значення енергетичної селективності, коли елемент з високим повним електричним опором розташований між ними. Часова селективність використовується для комбінацій автоматичних вимикачів, які не мають значення енергетичної селективності, а автоматичний вимикач з боку живлення оснащений електронним розчеплювачем. Енергетична селективність використовується для комбінацій, коли наведені таблиці координації апаратів захисту та керування. Зонна селективність використовується для автоматичних вимикачів Tmax, оснащених розчеплювачем PR223EF.

Для випадку забезпечення селективності АСВ-МССВ між повітряним автоматичним вимикачем на стороні живлення та автоматичним вимикачем в литому корпусі на стороні навантаження можливо використовувати два методи: традиційний підхід з часової чи енергетичної селективністю, або зонна селективність, коли розташований зі сторони навантаження автоматичний вимикач Tmax оснащений розчеплювачем PR223EF, а вимикач Emax на стороні живлення оснащений розчеплювачем PR122/P або PR123/P.

**Інтегральний селективний захист низьковольтних мереж електропостачання апаратами Schneider Electric.** В теперішній час при захисті електричних мереж електропостачання напругою 0,4 кВ запобіжниками застосовується інтегральний селективний захист, при якому вибірковість захисту при виникненні КЗ на одному зі ступенів захисту розгалуженого кола забезпечується відмінністю інтеграла плавлення плавкого елемента на різних ступенях захисту.

При захисті автоматичними вимикачами Schneider Electric застосовуються:

– ступінчасто-часовий селективний захист, при якому вибірковість захисту при виникненні КЗ на одному зі ступенів захисту розгалуженого кола забезпечується відмінністю витримок часу на спрацювання автоматичних вимикачів різних ступенів захисту (аналогічно часовій селективності вимикачів АВВ);

– "енергетична" селективність реалізовується вимикачами Compact-NS фірми "Schneider Electric", при реалізації якої для виборчого підвищення швидкодії вимикача на аварійному ступені захисту розгалуженої мережі використовують енергію дуги, що виділяється при розмиканні контактів [3, 4].

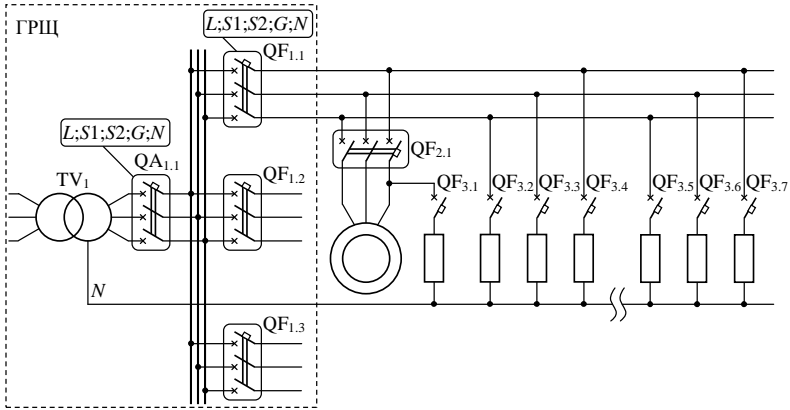
Зазначені способи забезпечення селективності мають як переваги, так і недоліки. Для кращого розуміння вказаних достоїнств і недоліків при вживанні різних типів селективного захисту розглянемо, як приклад, системи захисту двох типів, характерних для мереж електропостачання напругою 0,4 кВ.

На рис. 11,а наведена схема розгалуженої мережі електропостачання з довгими повітряними лініями та підключеними вздовж неї споживачами. Такий тип мереж характерний для живлення будинків приватного сектора та котеджних селищ. На головному розподільчому щиті (ГРЩ) трансформаторної підстанції встановлено ввідний захисний апарат – автоматичний вимикач  $QA_{1,1}$ , до відвідних затисків якого підключені три захисні фідерні апарати – автоматичні вимикачі  $QF_{1,1}$ - $QF_{1,3}$ . Кожен фідерний вимикач захищає свою довгу повітряну лінію, до якої підключені різного виду споживачі. Зокрема, до лінії, що захищається апаратом  $QF_{1,1}$ , підключені споживачі, що захищаються апаратами  $QF_{2,1}$ ,  $QF_{3,1}$ - $QF_{3,7}$ .

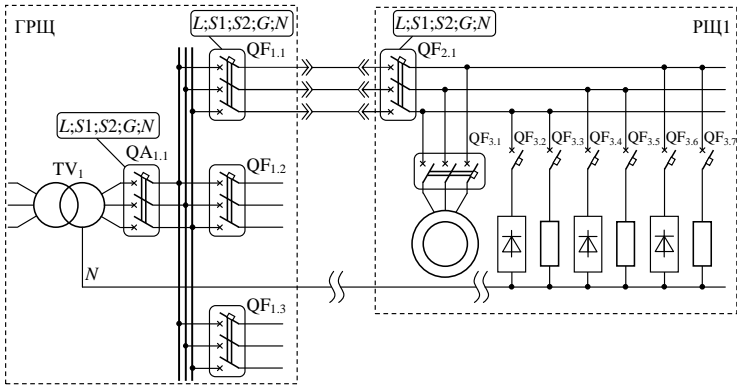
Схема мережі електропостачання з кабельними лініями та підключеним у кінці їх зосередженим навантаженням у вигляді житлових багатоповерхових будинків, наведена на рис. 11,б. Як і у попередньому випадку, до відвідних затисків ввідного вимикача  $QA_{1,1}$  підключені три фідерні апарати  $QF_{1,1}$ - $QF_{1,3}$ . Але тепер, до кожного з фідерних апаратів підключені кабельні лінії, що живлять багатоквартирні житлові будинки. Так, до фідерної лінії, що захищається апаратом  $QF_{1,1}$  підключена кабельна лінія, до кінця якої підключений розподільний щит РЩІ багатоквартирного житлового будинку.

Для мереж з повітряними лініями (рис. 11,а) однією з проблем забезпечення селективності являється захист від струмів у кінці довгої лінії – видалене КЗ. Суть проблеми полягає в тому, що у разі виникнення аварійної ситуації у кінці довгої лінії (за вимикачем  $QF_{3,7}$ ) значення струму видаленого КЗ може бути меншим величини пускового струму електродвигуна, підключеного на початку лінії до вимикача  $QF_{2,1}$ , а також меншим величини струму перевантаження, що створюється усіма підключеними до цієї лінії споживачами.





а



б

Рис. 11 – Фрагмент розгалуженої мережі електропостачання: а – наведена схема розгалуженої мережі електропостачання з довгими повітряними лініями та підключеними вздовж неї споживачами; б – схема мережі електропостачання з кабельними лініями та підключеним у кінці їх зосередженим навантаженням у вигляді житлових багатоповерхових будин.

Для мереж з кабельними лініями (рис. 11,б) головною проблемою є надійність захисту кабельних відсіків при КЗ. У разі відмови захисту від термічної дії струму КЗ значно ушкоджуються кабельні лінії по всій довжині до місця КЗ. Заміна кабелю в умовах насиченої інфраструктури міста дуже трудомістка і дорога процедура. В той же час, існуючі показники вірогідності безвідмовної роботи вимикачів 0,95-0,97 при виконан-

ні захисних функцій не відповідають сучасним вимогам високої надійності захисту. Тому важливим напрямом підвищення показників безвідмовності захисту є перехід до захисту ділянок електричних мереж системою з двох апаратів захисту, в якому апарат ближчий до джерела живлення резервує апарат ближчий до споживача у разі відмови останнього.

Для випадку (рис. 11,б) струмова уставка  $I_{sd1}$  зони КЗ ввідного вимикача  $QA_{1,1}$  має дорівнювати відповідній уставці  $I_{sd1} = I_{sd2}$  нижнього фідерного вимикача, наприклад  $QF_{1,1}$ . При використанні існуючих вимикачів тільки з однією струмовою уставкою зони КЗ, яка залежить від величини номінального струму вимикача  $I_n$ , вказану умову рівності струмових уставок у більшості випадків забезпечити неможливо. Дійсно, у ввідного вимикача  $QA_{1,1}$  струмова уставка повинна бути вибрана з урахуванням струмів перевантаження та пускових струмів електродвигунів усіх трьох відвідних ліній, значення яких може бути більше струмової уставки КЗ вимикача  $QF_{1,1}$ . Тому потрібна вибірковість за видом струмів збурення. Захист зони КЗ вимикача  $QA_{1,1}$  не повинен реагувати на струми перевантаження й пускові струми сусідніх ліній, але бути чутливим до невеликих струмів КЗ в лінії, що захищається вимикачем  $QF_{1,1}$ . Таким чином, для розгалужених електричних мереж система захисту буде оптимальною у тому випадку, якщо буде реалізований селективний захист не лише за місцем виникнення струму збурення кола, але й за видом струму збурення (пуск електродвигуна, перевантаження або КЗ).

Основною перевагою інтегрального селективного захисту запобіжниками є надійність захисту, що характеризується показником безвідмовної роботи при виконанні захисних функцій. Саме ця якість запобіжників сприяє тому, що в існуючих кабельних мережах зберігається досить багато кіл, що захищаються запобіжниками. Показник безвідмовності для цих апаратів захисту (0,99) значно вищий, ніж у існуючих автоматичних вимикачів вітчизняного виробництва. Наприклад, у автоматів АЗ700 цей показник дорівнює 0,95.

Іншою перевагою вказаної системи захисту є досить висока швидкодія при великих струмах КЗ в порівнянні зі "ступінчасто-часовою" селективністю автоматичних вимикачів.

В той же час системам інтегрального селективного захисту на базі запобіжників властиві наступні недоліки:

- нестабільність часових і струмових уставок, обумовлена впливом технологічних і кліматичних чинників на струми плавлення;
- неможливість регулювання часових і струмових уставок без заміни плавких вставок;

– неможливість реалізації селективного захисту за видом струму збурення.

Під останнім недоліком розуміється неможливість ідентифікувати вид струму збурення електричного кола (пуск електродвигуна, перевантаження або КЗ) і, відповідно, вибірково (селективно) реагувати на ці збурення. Коли пусковий струм електродвигуна, розташованого на початку довгої лінії (рис. 11,а) буде дорівнювати (або навіть більшим) струму видаленого КЗ, за допомогою запобіжника, який реагує на інтеграл струму, що пропускається, не можливо вибірково відключити коло при видаленому КЗ, і не відключити коло у разі пуску-розгону електродвигуна.

При ступінчасто-часовому селективному захисті автоматичними вимикачами в порівнянні із захистом запобіжниками забезпечується стабільність часових і струмових уставок, а також можливість їх регулювання за рахунок застосування електронних (напівпровідникових) розчеплювачів. Електронні розчеплювачі дозволяють реалізувати й ряд нових захистів, наприклад, захист від однофазного КЗ на нейтральний провідник, або захист від обриву нейтрального провідника. Проте часострумова характеристика ступінчасто-часової селективної системи захисту, тобто залежність часу спрацьовування від величини струму КЗ  $t_c = f(I_{КЗ})$ , з технічної точки зору невірна. Чим ближче ступінь захисту розташована до джерела живлення (чим більше струму КЗ  $I_{КЗ}$  на цьому ступені), тим більше час спрацьовування  $t_c$ . Оптимальною має бути зворотна залежність. Час спрацьовування захисту зі збільшенням струму повинен зберігатися хоч би постійним і бути не великим за значенням. Крім того існуючі розчеплювачі, у тому числі й електронні, не дозволяють реалізацію селективного захисту за видом струму збурення.

Проілюструємо на прикладі 4-х ступінчастої системи захисту (рис. 12) недоліки ступінчасто-часової часострумової характеристики. На першому ступені захисту, в місці встановлення вимикача "Електрон", де  $I_{КЗ} = 22$  кА, час спрацьовування захисту складає  $t_c = 0,5-0,7$  с, тобто в 5-7 раз більший, ніж на 3-му ступені (вимикач ВА55А31), де струм КЗ складає усього  $I_{КЗ} = 1,5$  кА. Саме від недосконалості часострумової захисної характеристики ступінчасто-часової селективності виникають труднощі з надійністю захисту кабелів в електроустановках за вимикачами А3790С. У разі відмови вимикача А3790С (рис. 12) вищий вимикач "Електрон" з витримкою  $t_c = 0,5-0,7$  с не здатний захистити кабелі.

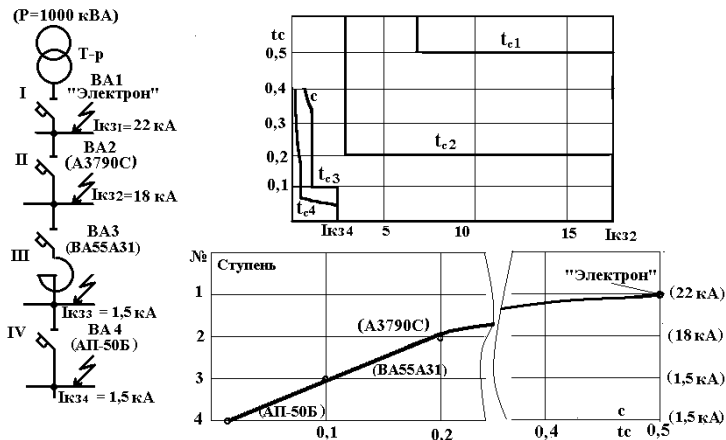


Рис. 12 – Ілюстрація ступінчасто-часового селективного захисту.

Недолік існуючих електронних розчеплювачів з часовою селективністю, а саме, їх нездатність селективно реагувати на різні види збурення також негативно проявив себе при захисті електроустановок. У разі відмови вимикачів АП-50, чутливості захисту вищого вимикача виявляється недостатньо для реалізації режиму резервування. Понизити струмову уставку зони КЗ цих апаратів не представляється можливим, оскільки пускові струми сусідніх фідерів виявлялися більшими, ніж струм віддаленого КЗ. Вказана проблема була вирішена за рахунок підвищення чутливості захисту в зоні перевантаження. У разі відмови вимикача АП-50 захист аварійного фідера здійснюють за рахунок спрацьовування у вимикачі ВА55А31 розчеплювача перевантаження.

Аналогічна проблема з недостатньою чутливістю до струмів видалених КЗ проявилася і на першому ступені системи захисту при захисті довгої магістральної лінії, що захищається вимикачем "Електрон" (рис. 13).

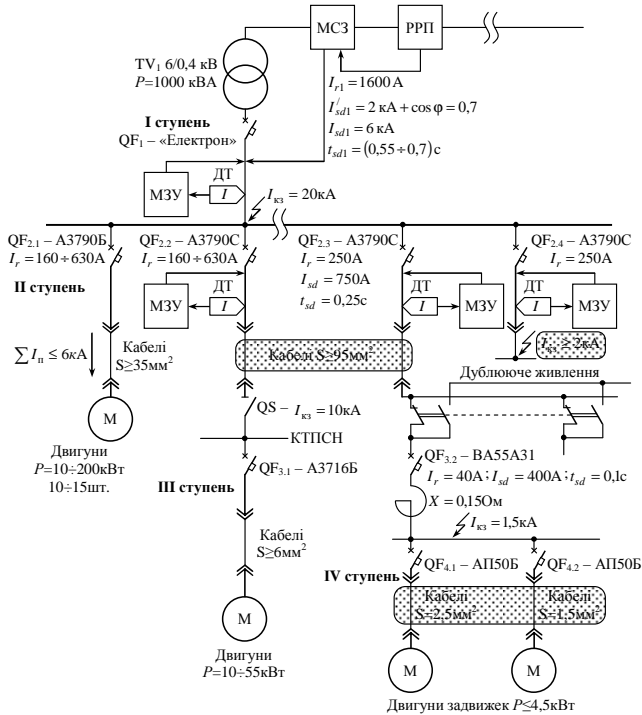


Рис. 13 – Система захисту магістральної лінії.

Ця лінія досить протяжна, а на її початку підключені потужні електродвигуни, пускові струми яких виявляються більшими струмів КЗ у кінці магістральної лінії. В даному випадку проблема видаленого КЗ була вирішена за допомогою релейної апаратури з боку високої напруги трансформатора за рахунок застосування максимального струмового захисту МСЗ і реле реактивної потужності РПП. При цьому власний розчеплювач у вимикачі «Електрона» відсутній. Разом з тим таке рішення не забезпечує ні швидкодію захисту, ні необхідну точність і надійність. Крім того, таке рішення неможливо застосувати на нижчих ступенях захисту.

Таким чином, на прикладі захисту електроустановок напругою 0,4 кВ можна сформулювати недоліки існуючої системи ступінчасточасової селективності та розчеплювачів, що реалізують цю селективність. Щоб забезпечити високу надійність захисту за показником безвідмовності за рахунок реалізації режиму резервування, система захис-

ту повинна мати виборчу (селективну) чутливість до струмів КЗ і до- сить високу швидкодію.

На сьогодні швидкодіючий "енергетичний" селективний захист реалізується за допомогою вимикачів Compact-NS фірми "Schneider Electric". Зазначені апарати забезпечують ефективне струмообмеження для радикального зниження теплового та електродинамічного впливу на елементи мережі на рівні розподільчих щитів. Вони реалізують так зване "рефлексне" відключення, суть якого полягає в тому, що обмеження великих струмів КЗ здійснюється за рахунок тиску, що утворюється енергією дуги. При певному значенні тиску, викликаному виділенням енергії електричної дуги, що виникає при розходженні контактів, автоматично (рефлексно) виникають додаткові зусилля, які сприяють скорішому розчепленню механізму вимикача і розведенню контактів. Саме тому цей спосіб забезпечення селективності відключення й названий "енергетичним". Проте слід зазначити, що кінцевим критерієм селективності відключення вищого й нижчого вимикача в даному випадку є величина обмеженого нижчим вимикачем струму КЗ. Але щоб обмежений нижчим вимикачем струм був меншим струму спрацьовування розчеплювача вищого апарату, окрім дуже швидкодіючого механізму, приводом якого є торсіонний вал, додатково для прискорення розчеплення механізму і руху контактів використовується енергія дуги, що виділяється при відключенні.

На рис. 14 показана схема контактнo-дугогасної системи апаратів Compact-NS компанії "Schneider Electric" на струми 100, 400 й 630 А, що ілюструє принцип реалізації "рефлексного" й "енергетичного" відключення струмів КЗ.

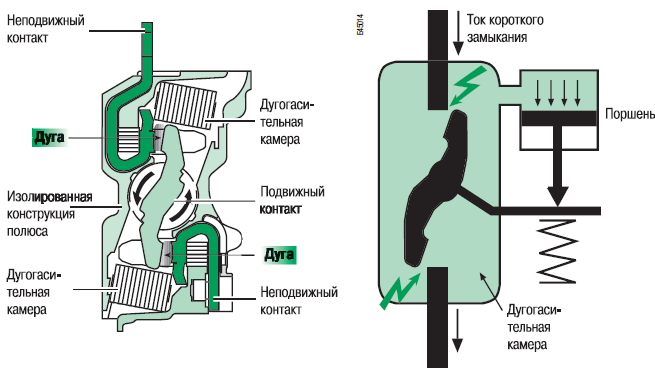


Рис. 14 – Контактнo-дугогасна система вимикачів Compact NS:  
а – кинематична схема; б – схема використання енергії дуги.

На рис. 15 показані схема електроустановки та часоструміві захисні характеристики вимикачів Compact-NS, на номінальні струми 100, 400 й 630 А.

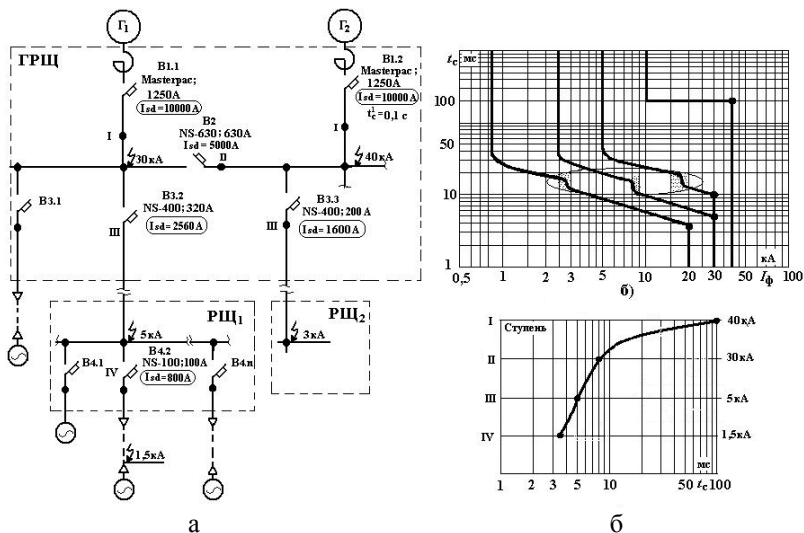


Рис. 15 – Схема швидкодіючого "енергетичного" селективного захисту:  
а – схема електроустановки; б – часоструміві захисні характеристики.

На наведених часострумівих захисних характеристиках позначені зони струмів КЗ, в яких є різкі зміни у бік зменшення часу спрацьовування вимикачів. Таке стрибкоподібне зниження часу спрацьовування вимикачів обумовлене саме "рефлексним" відключенням.

Розглянутий спосіб відключення забезпечує достатню швидкість, особливо на нижніх ступенях захисту (ближче до навантаження). Як впливає з часоструміві характеристика, на нижніх ступенях захисту, де встановлені вимикачі Compact-NS з "рефлексним" відключенням, часи спрацьовування селективного захисту незначні за величиною (в межах 10 мс). На першому ж ступені (поблизу джерела живлення), де застосований вимикач Masterpas, що не має "рефлексного" відключення, а має умисну затримку на відключення, час спрацьовування захисту становить 0,1 с. Застосування на першому ступені не струмообмежувального вимикача Masterpas обумовлене фізичними закономірностями, що не дозволяють зробити струмообмежувальними вимикачі з великими масами контактних систем (на струми понад

630 А). Маса контактної системи при переході на вищий ступінь зростає значно швидше, ніж струм КЗ і відповідні електродинамічні зусилля. Саме тому, на тому ступені захисту, де найбільший очікуваний струм КЗ виходить найбільший час спрацьовування захисту.

Таким чином, хоча за абсолютними значеннями час спрацьовування усєї системи селективного захисту при використанні вимикачів фірми "Schneider Electric", виходить значно меншим, ніж при існуючій ступінчасто-часовій селективності, сам характер часо струмової характеристики такої системи захисту, по суті, зберігається таким же некоректним, як і при ступінчасто-часовому селективному захисті. "Некоректний" характер часо струмової характеристики системи селективного захисту означає той факт, що зі збільшенням величини очікуваного струму КЗ на більш високих ступенях захисту зростає і час спрацьовування захисту.

Таким чином, перевагою "енергетичного" селективного захисту фірми "Schneider Electric" є висока швидкодія на нижніх ступенях захисту, а завдяки цьому й істотне зниження часу умисної витримки часу спрацьовування на першій ступені до 0,1 с.

Недоліками системи "енергетичного" селективного захисту залишаються:

- часо струмова характеристика, що реалізується за допомогою такої системи захисту не є оптимальною: на високому ступені найбільший струм і найбільший час спрацьовування;

- не реалізується селективний захист за видом струму збурення, внаслідок чого не в усіх випадках чутливість апаратів до струмів КЗ виявляється достатньою для реалізації режиму резервування і забезпечення високого показника безвідмовності захисту.

Забезпечення швидкодіючої, так званої "енергетичної" селективності на базі вимикачів Compact NS гарантується тільки при використанні на всіх ступенях захисту конкретних типовиконань вимикачів саме фірми "Schneider Electric". Ці вимоги в нормативних документах "Schneider Electric" вказані в зв'язку з тим, що принцип селективної роботи зазначених апаратів заснований на гармонізації динамічних характеристик вимикачів різних ступенів. Іншою вимогою реалізації швидкодіючої селективного захисту на базі вимикачів Compact NS є необхідність використання навіть на останньому щаблі захисту вимикачів тільки даної фірми. При цьому в вимикачах фірми "Schneider Electric" немає функції ідентифікації виду струму обурення кола для підвищення чутливості до струмів віддаленого КЗ. Тому застосування на першій ступені вимикачів Masterpac фірми "Schneider Electric" за-



мість "Електрон" не вирішує проблеми "дальнього резервування" для віддалених від джерел живлення ділянок ЕУ.

**Координація роботи апаратів захисту компанії Legrand.** Координація роботи є послідовне з'єднання двох або декількох пристроїв для захисту від надструмів, щоб забезпечити селективність спрацьовування при надструмах та резервний захист [5].

**Резервний захист** – координація з надструмів двох пристроїв захисту від надструмів, з'єднаних послідовно (рис. 16). Захисний пристрій, розташований, як правило, але не обов'язково на вхідній стороні, здійснює захист від надструмів за допомогою іншого захисного пристрою, запобігаючи його надмірному навантаженню. При цьому здатність до відмикання апарата захисту повинна дорівнювати або бути більшою максимального струму КЗ в місці інсталяції апарату. Як виняток, здатність до відмикання може бути нижче очікуваного максимального струму КЗ якщо:

- апарат захисту працює спільно з апаратом, розташованим вище, який має необхідну здатність до відмикання;

- апарат захисту, розташований нижче, й кола, що захищаються ним, здатні витримати потужність, обмежену апаратами захисту розташованими вище.

Таким чином, координація дає суттєву економію.

Координація може бути організована в трьох рівнях, якщо виконується одна з наступних умов (рис. 17):

- розташований на початку лінії апарат захисту  $QF_1$  повинен мати здатність до відмикання, відповідну місцю його інсталяції. Апарати  $QF_{2,1}$  і  $QF_{3,1}$  скоординовані з апаратом  $QF_1$ . Необхідно переконатися, що поєднання  $QF_{2,1}+QF_1$  та  $QF_{3,1}+QF_1$  мають достатню здатність до відмикання. У цьому випадку немає необхідності перевіряти спільну роботу апаратів  $QF_{2,1}$  і  $QF_{3,1}$ .

- координація виконується між послідовно включеними апаратами. При цьому розташований на початку лінії апарат захисту  $QF_1$  має відключаючу здатність, відповідно місця його інсталяції, апарат  $QF_{3,1}$  скоординована з апаратом  $QF_{2,1}$ , а той, у свою чергу, скоординований з апаратом  $QF_1$ . У цьому випадку поєднання  $QF_{3,1}+QF_{2,1}$  і  $QF_{2,1}+QF_1$  мають необхідну відключаючу здатність і немає необхідності перевіряти спільну роботу апаратів  $QF_1$  і  $QF_{3,1}$ .

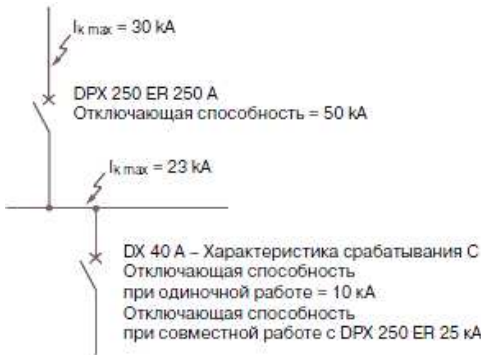


Рис. 16 – Координація роботи вимикачів Legrand.

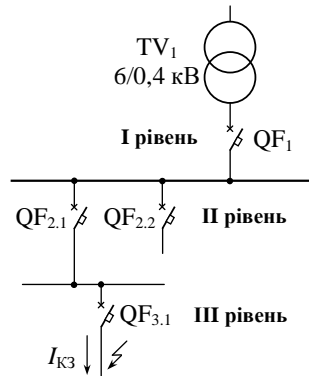


Рис. 17 – Координація в трьох рівнях.

Координація роботи автоматичних вимикачів може виконуватись як для апаратів, розташованих в одному розподільчому щиті, так і в різних щитах. Тому можливо здійснити координацію (резервний захист) апаратів, розташованих, наприклад, в головному розподільчому шафі і у вторинних шафах.

**Селективність з надструмів** – координація робочих характеристик двох або декількох пристроїв захисту від надструмів з таким розрахунком, щоб у разі виникнення надструму в межах заданого діапазону спрацював тільки апарат, призначений для оперування в зазначеному діапазоні, а інші не спрацювали.

Розрізняють послідовну селективність, коли через різні пристрої захисту від надструмів проходить практично однаковий надструм, та паралельну селективність, коли через тотожні захисні пристрої проходять різні частки надструму. Селективність між апаратами **A** і **B** називається повною, якщо повністю визначається значенням очікуваного максимального струму КЗ в місці інсталяції апарату **B**. В інших випадках селективність між апаратами **A** і **B** називається частковою, тому вводиться поняття межі селективності. Це значення струму КЗ, нижче якого обов'язково спрацює тільки вимикач **B**, а при перевищенні якого може спрацювати вимикач **A** (рис. 18,а).

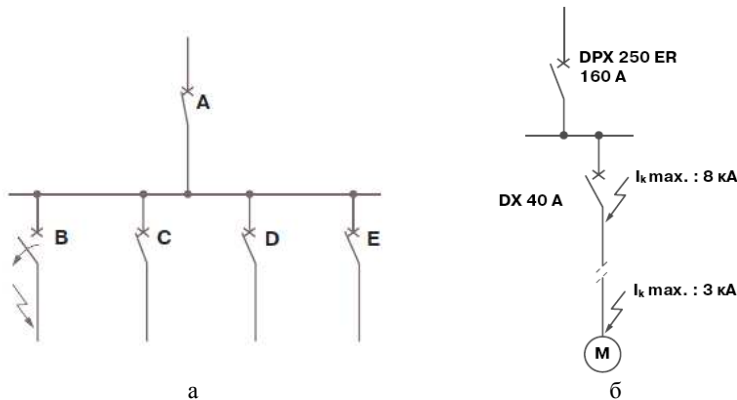


Рис. 18 – Селективність: а – часткова; б – робоча.

Оскільки майже всі несправності в колах з'являються під час експлуатації, то часткова селективність застосовується, якщо межа селективності вище значення струму КЗ на кінці лінії. У цьому випадку говорять про робочу селективність. Її реалізація найчастіше вельми зручна, економічна і проста (рис 18,б). Межа селективності для спільно працюючих автоматичних вимикачів DPX 250 ER (160 А) й DX 40 А (характеристика спрацювання С) становить 6 кА. Максимальний струм КЗ в лінії 8 кА, тому селективність не повна, а робоча, так як струм КЗ в точці підключення обладнання становить лише 3 кА.

Селективність за струмом забезпечується конструктивними відмінностями апаратів Legrand. Для забезпечення селективності при перевантаженні відношення уставок струмів  $I_r$  повинно бути не менше 2 (рис. 19). Для забезпечення селективності при КЗ відношення уставок захисту від КЗ ( $I_m$ ) повинно бути не менше 1,6. Межа селективності дорівнює уставці електромагнітного розчеплювача  $I_{mA}$  апарату А, розташованого вище (рис. 18а). Селективність в цьому випадку є повною доки, поки  $I_{kB}$  менше, ніж  $I_{mA}$ .

Для струму  $I_{kB}$  селективність є повною. Якщо розташований нижче вимикач В є струмообмежувальним, він обмежує струм КЗ за часом й за амплітудою (рис. 20). При цьому селективність є повною, якщо обмежений струм  $I'_{kB}$ , що пропускається вимикачем В, менше, ніж уставка вимикача А. Селективність за струмом дуже зручна для кіл, де струми КЗ відносно невеликі. В інших випадках разом з селективністю за струмом слід використовувати селективність за часом.

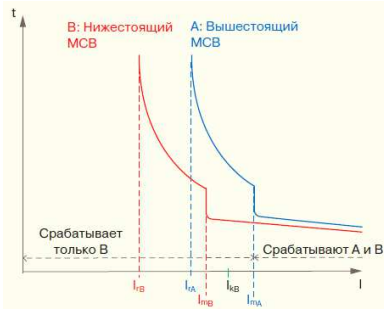


Рис. 19 – Селективність за струмом апаратів Legrand:  $I_{KB}$  – очікуваний максимальний струм КЗ в місці інсталяції вимикача В.



Рис. 20 – Повна селективність зі струмообмежувальним вимикачем:  $I'_{KB}$  – струм КЗ, обмежений апаратом В.

Селективність за часом заснована на зрушенні за часом часострумівих характеристик автоматичних вимикачів з'єднаних послідовно (рис. 18,б). Вона використовується у доповнення до селективності за струмом, щоб забезпечити селективність спрацювання за межами уставки струму КЗ  $I_{mA}$  розташованого вище вимикача А (рис. 18,а).

Для забезпечення селективності за часом повинна бути можливість встановлення затримки спрацьовування  $T_m$  на розташованому вище вимикачі (рис. 21). Розташований вище вимикач повинен витримувати струм КЗ з усіма його впливами протягом усієї затримки. Кабелі, через які протікає цей струм, повинні витримувати тепловий вплив  $I^2t$ . Час неспрацьовування розташованого вище апарату повинен бути більше часу спрацьовування (включно можливої затримку) апарату, розташованого нижче.

У вимикачах DPX є можливість задавати різні затримки спрацьовування, що дозволяє створювати кілька ступенів селективності.

Логічна селективність реалізується між двома апаратами, об'єднаними спеціальним зв'язком. Коли розташований нижче вимикач виявляє несправність, він посилає сигнал вимикачу, розташованому вище, який почне відлік витримки часу, що дорівнює 50 мс. Якщо за цей час розташований нижче вимикач не в змозі обмежити вплив несправності, то активізується вимикач, розташований вище. Електронні розчеплювачі автоматичних вимикачів DPX забезпечують виконання логічної селективності. Електронні розчеплювачі мають також функцію зниження навантаження, яка полягає у відключенні другорядних кіл в разі, якщо навантаження кола, що захищається, становить більш 90 %. Селективність покращується при використанні автоматичних

вимикачів з електронними розчеплювачами, в яких реалізована функція  $I^2t = \text{const}$ , котра дозволяє уникнути накладення характеристик (рис. 22).

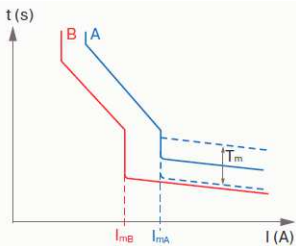


Рис. 21 – Часова селективність апаратів Legrand.

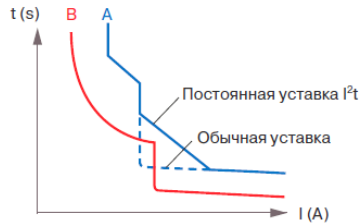


Рис. 22 – Логічна селективність апаратів Legrand.

Автоматичні вимикачі Legrand DPX з електронними розчеплювачами оснащені модулями MP17 (рис. 23), в яких налаштована логічна або динамічна селективність захисту. Коли DPX, що стоїть вище, не отримав відповідний сигнал про ідентифікацію КЗ від DPX, що стоїть нижче, він вважає що КЗ відбувається між ними і відключається миттєво, без урахування часових уставок свого розчеплювача. Призначення – покращення захисту збірних шин низьковольтних комплектних пристроїв. Для підвищення селективності автоматичних вимикачів перемикач селективності може бути встановлений в положення High. Це гарантує селективність такого автоматичного вимикача по відношенню до іншого, що стоїть нижче, перемикач селективності якого встановлений в положення Low (динамічна селективність).

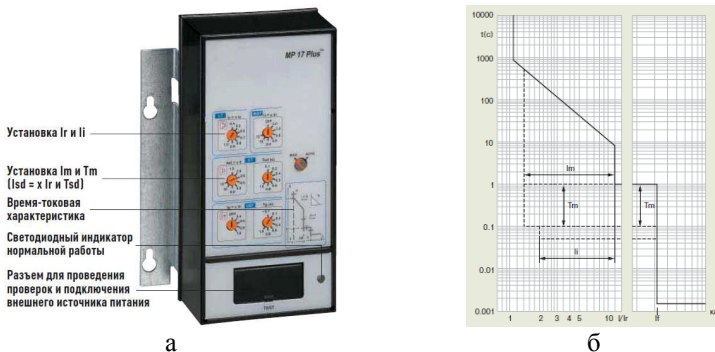


Рис. 23 – Регулювання уставок захисту електронного розчеплювача MP17: а – розчеплювач MP17; б – захисна характеристика.

- Електронні розчеплювачі Legrand випускаються в трьох виконаннях:
- S1 мають один тип характеристики з регульованими  $I_r$  і  $I_m$  (рис. 24,а);
  - S2 (рис. 24,б) мають кілька характеристик з регульованими  $I_r$ ,  $t_r$  і  $I_m$ ,  $t_m$  (рис. 25);
  - Sg мають універсальні характеристики з найбільшим набором регулювань:  $I_r$ ,  $t_r$ ,  $I_m$ ,  $t_m$  і  $I_g$ ,  $t_g$  (рис. 24,в).

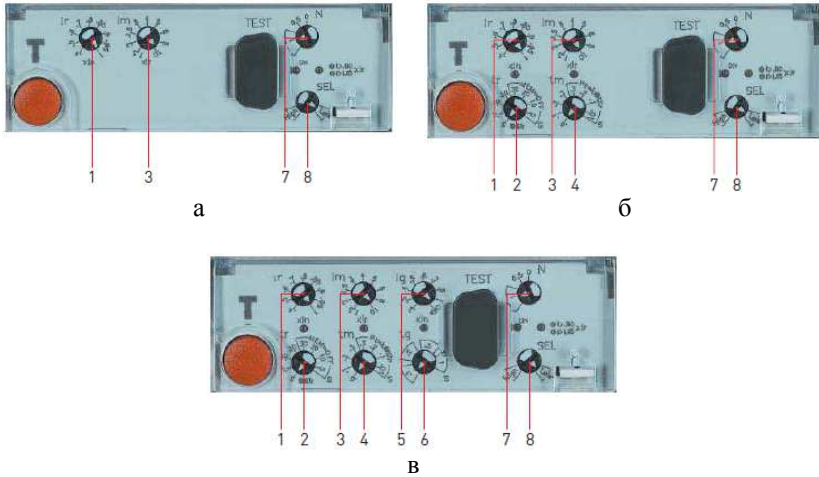


Рис. 24 – Електронні розчеплювачі апаратів Legrand DPX: а – S1; б – S2; в – Sg: 1 – регулювання уставки захисту від перевантаження; 2 – регулювання уставки витримки часу відключення при перевантаженні; 3 – регулювання уставки захисту від КЗ; 4 – регулювання уставки витримки часу відключення при КЗ; 5 – регулювання уставки захисту від струму витікання; 6 – регулювання уставки витримки часу відключення при струмі витікання; 7 – регулювання уставки захисту робочого нульового провідника (тільки для чотирьохполюсних); 8 – регулювання динамічної селективності.

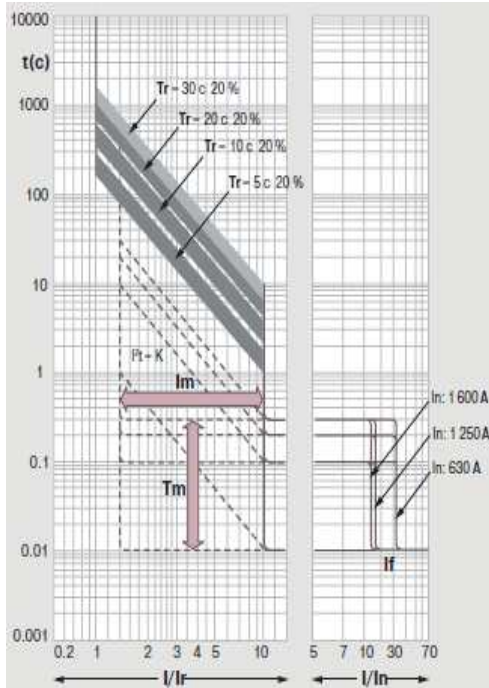


Рис. 24 – Захисні характеристики електронного розчеплювача S2.

**Висновки.** Проведений аналіз існуючих проблем, пов'язаних з координацією роботи апаратів захисту розгалуженої мережі електропостачання показав:

- внаслідок низької чутливості до струмів віддаленого КЗ не забезпечується необхідна точність і надійність режиму "далекого резервування" при захисті електроустановки в кінці магістрального струмопроводу;

- внаслідок технічно некоректної захисної характеристики "ступінчато-часової" селективності, чим ближче розташований апарат до джерела струму, тим більше час спрацьовування захисту, термічна стійкість кабелів в кабельних відсіках не відповідає вимогам пожежної безпеки;

- необхідні нові технічні рішення, спрямовані на вибіркове підвищення чутливості до струмів віддалених КЗ, а також на реалізацію швидкодіючого інтегрального селективного захисту, при якому час спрацьовування апаратів на верхніх ступенях може знижуватися або за-

лишатися на рівні, необхідному для "резервування" нижніх ступенів захисту.

**Список літератури:** **1.** Low voltage selectivity with ABB circuit-breakers / Technical Application Papers. – 2008. – 56 с. **2.** ГОСТ Р 50030.2-2010. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели. – Введ. 01.01.2012. – М.: Стандартинформ, 2012. – 158 с. **3.** Руководство по устройству электроустановок. Технические решения "Шнейдер Электрик" / Техническая коллекция Schneider Electric. – 2009. – 469 с. **4.** Координация защит низкого напряжения / Техническая коллекция Schneider Electric. – 2008. – № 3. – 47 с. **5.** Аппаратура распределения и управления до 4000А / Техническое руководство Legrand. – 2011. – 276 с.

*Поступила в редколлегию 25.03.2013*

УДК 621.316.13: 621.316.95

**Технічний аналіз сучасних методів покращення захисних властивостей автоматичних вимикачів / Серeda О.Г., Варшамова І.С., Литвиненко В.В., Моргун В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2013. – № 15 (988). – С. 61-92. Бібліогр.: 5 назв.**

Показана необхідність координації апаратів захисту розветвлених електричних мереж. Доказана можливість підвищення надійності захисту за рахунок реалізації режиму "дальнього резервування" отказов. Обоснована необхідність нових технічних рішень, направлених на удосконалення захисних властивостей низковольтних автоматичних вимикачів.

**Ключевые слова:** координация защит, дальней резервирование отказов, селективная защита.

The necessity of coordination of protection apparatuses for n-area power grids is shown. A possibility to increase the protection reliability by the realization of a mode of the "long redundancy" of faults is proved. The necessity of new engineering solutions aimed to improve protective performance of low-voltage circuit breakers is validated.

**Keywords:** protection coordination, long redundancy of faults, selective protection.