

РОЗПОДІЛЬНІ ПРИСТРОЇ З ЕЛЕГАЗОВОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ SafeRing & SafePlus: БЕЗПЕЧНІСТЬ, НАДІЙНІСТЬ, КОМПАКТНІСТЬ

Термінологія, яка використовується у даній публікації, відповідає сучасній базовій міжнародній електротехнічній термінології, зафіксованій у Міжнародному електротехнічному словнику (International Electrotechnical Vocabulary – IEV), що має статус стандарту IEC 60050 Міжнародної електротехнічної комісії (International Electrotechnical Commission – IEC), а також специфічній термінології, зафіксованій у профільних стандартах IEC, тобто у стандартах на окремі групи електричних апаратів.

До комутаційних апаратів, що застосовуються у розподільних пристроях, в англійській технічній літературі вживають терміни «disconnector», «switch» та «circuit-breaker». Перші два з цих типів апаратів виконують суто комутаційні функції, а третій, поряд з комутацією електричних кіл, забезпечує також й захист мереж та обладнання від надструмів (перевантажень та коротких замикань). В усіх мовах країн, де застосовуються стандарти Міжнародної електротехнічної комісії (International Electrotechnical Commission – IEC) ці різновиди апаратів чітко розрізняють термінологічно. У даній статті ми будемо вживати до зазначених апаратів відповідно такі терміни: «роз'єднувач» («disconnector»), «вимикач» («switch») та «відмикач» («circuit-breaker»).

Крім відмикачів, захисні функції у розподільних пристроях можуть виконувати й запобіжники («fuses»). На користь відмикачів свідчить зручність експлуатації, адже вони можуть здійснювати комутаційні функції, а також надають можливість багаторазового використання після аварійного спрацювання. На користь запобіжників – їх висока надійність, компактність, дуже висока здатність до відмикання коротких замикань, яка може перевищувати відповідний показник відмикачів та відносно низька вартість, навіть у комбінаціях з комутаційними апаратами – вимикачами та роз'єднувачами.

У галузі вторинного розподілення електричної енергії підстанції, які здійснюють зниження напруги з рівня середніх напруг (6 – 35 кВ) до рівня низьких напруг (0,4 кВ), дуже часто об'єднують у так звані кільцеві мережі, які є особливо популярними при напрузі 6 – 10 кВ та відносно невеликих робочих струмах збірних шин (до 630 А). Саме у цих мережах застосування системи SafeRing/SafePlus має суттєві переваги перед традиційними розподільними системами.

На рис. 1 зображена стандартна кільцева мережа, яка може цілком складатися з блоків системи SafeRing. Кільцева мережа приєднується через відмикачі, встановлені на головній (районній) підстанції до вторинних обмоток двох силових трансформаторів тієї підстанції.

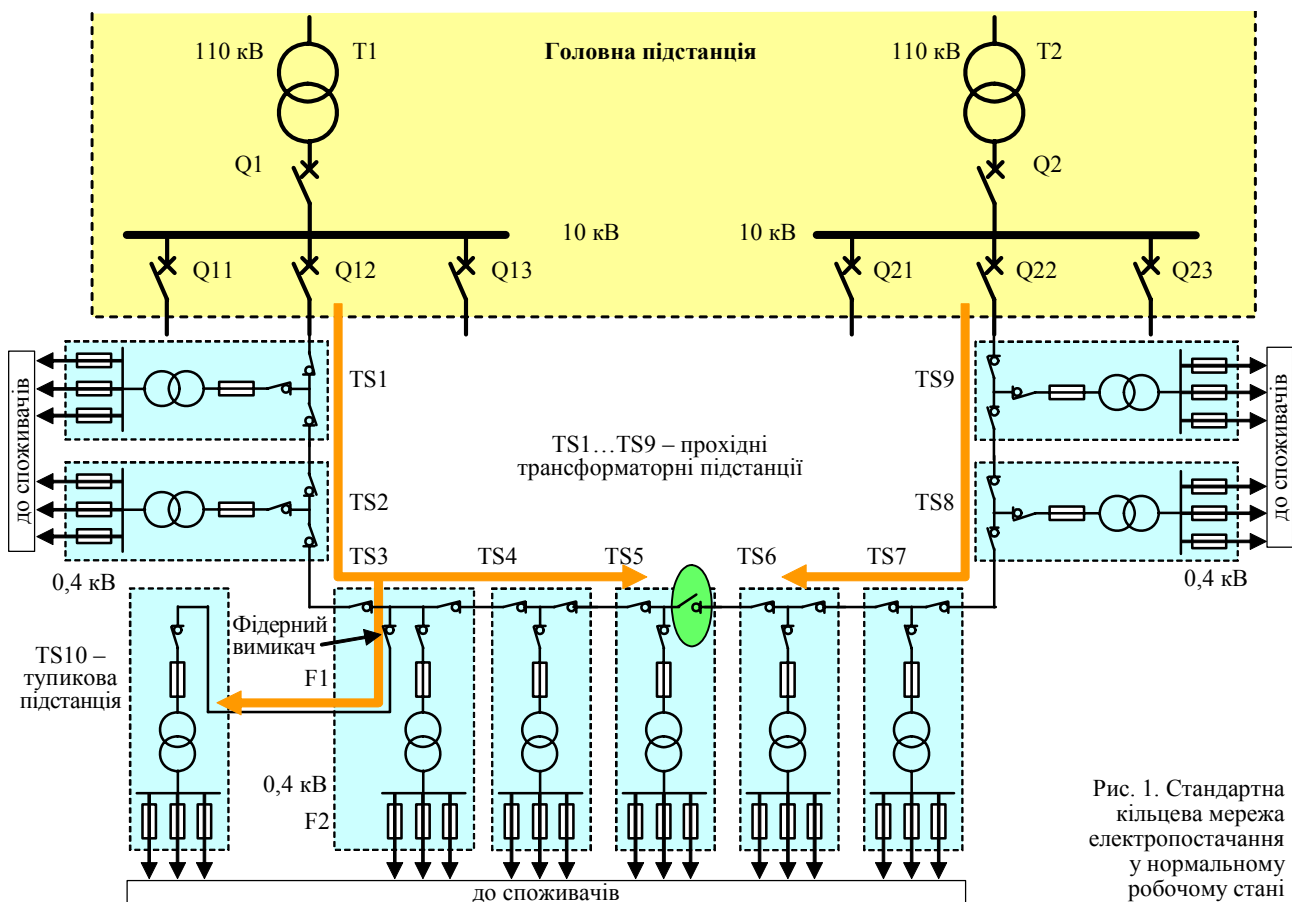


Рис. 1. Стандартна кільцева мережа електропостачання у нормальному робочому стані

Кільцева мережа, зображена на рис. 1, об'єднує декілька (у даному випадку їх дев'ять – TS1...TS9) однотипних прохідних підстанцій невеликої потужності.

¹ Інформацію надано компанією ТОВ «АББ Лтд», Олександр Єна, менеджер по продукції АБВ

До кільцевої мережі можуть бути приєднані віддалені тупикові підстанції (у даному випадку TS10). При цьому найближча до неї підстанція кільцевої мережі (у даному випадку TS3) має бути оснащена додатковим фідерним вимикачем-роз'єднувачем для приєднання лінії, що відходить до тупикової підстанції. Кожна з прохідних підстанцій містить розподільний пристрій 10 кВ (ПП 10), який складається з двох вимикачів-роз'єднувачів, що забезпечують підведення енергії з будь-якого боку та ще одного вимикача-роз'єднувача, комбінованого із запобіжниками (F1). Цей апарат дозволяє вмикати / вимикати трансформатор та захищає його від перевантажень. У разі коротких замикань на шинах та терміналах трансформатора цей запобіжник, діючи селективно з відмикачем на головній підстанції, від'єднує цю підстанцію від живлення, запобігаючи перериванню живлення інших

підстанцій. Замість запобіжників на підстанціях можуть застосовуватися відмикачі.

На схемі не зображені уземлювальні перемикачі (earthing switches), які обов'язково входять до складу ПП 10 усіх підстанцій – прохідних та тупикових.

Фідери, що відходять від розподільних пристроїв низької напруги (ПП 0,4), у підстанціях невеликої потужності зазвичай захищають запобіжниками (F2), хоча можуть застосовуватися й відмикачі.

У нормальному стані в обладнанні та на лініях трансформатор T1 головної підстанції через відмикач Q12 живить прохідні підстанції TS1 ... TS5 кільцевої мережі та тупикову підстанцію TS10, оскільки правий вимикач-роз'єднувач на підстанції TS5 знаходиться у розімкненому стані, а трансформатор T2 головної підстанції через відмикач Q22 живить прохідні підстанції TS6 ... TS9.

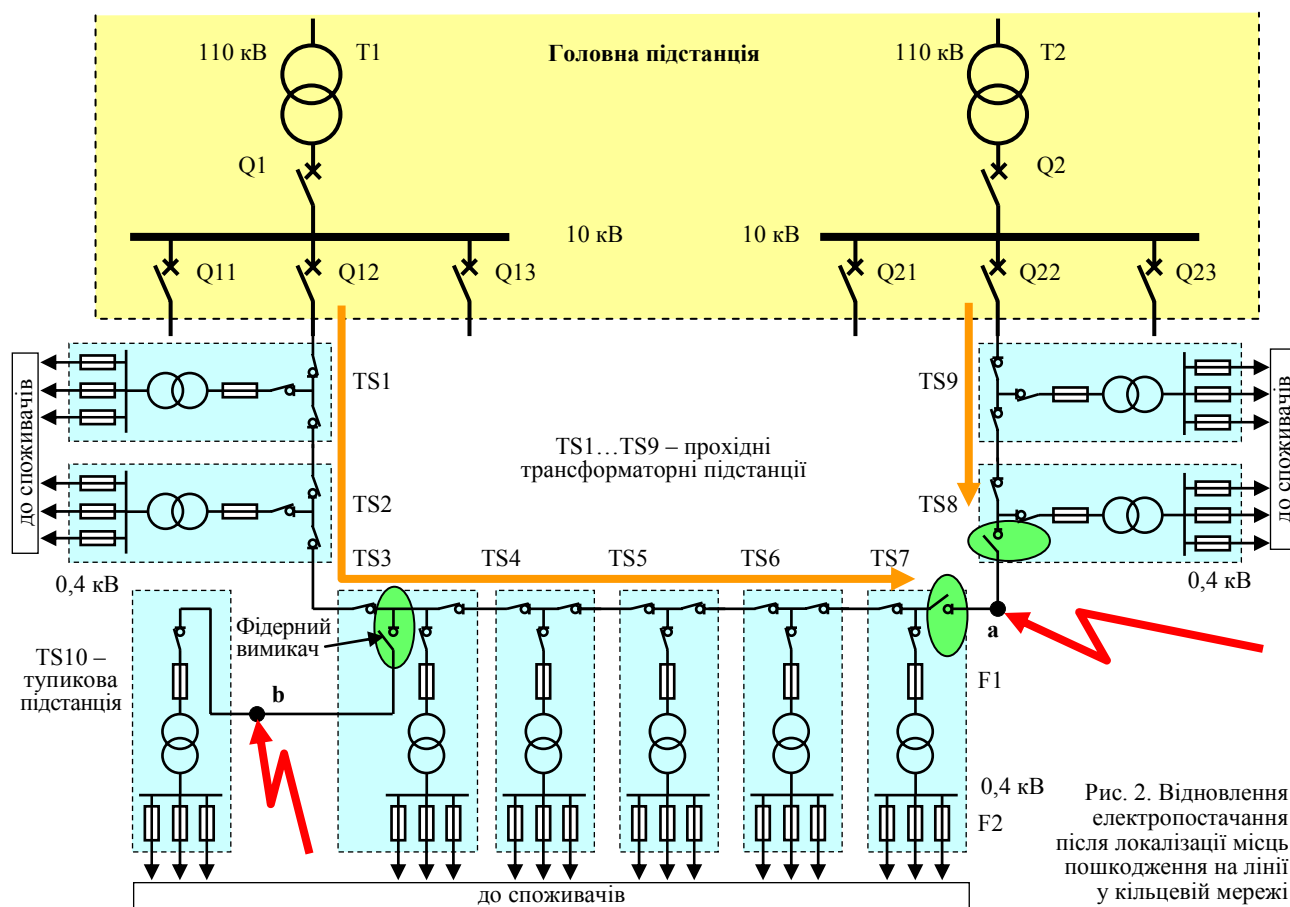


Рис. 2. Відновлення електропостачання після локалізації місць пошкодження на лінії у кільцевій мережі

При виникненні короткого замикання в мережі, наприклад у точці **а** (рис. 2), релейний захист виявляє місце пошкодження, а відмикач Q22 спрацьовує, тимчасово знеживлюючи підстанції TS6 ... TS9. Після цього діями оперативного персоналу або засобами телемеханіки вимикаються правий вимикач підстанції TS7 та лівий вимикач підстанції TS8 (без струму, оскільки відмикач Q22 лишається у розімкненому стані). Вслід за тим цього вмикаються правий вимикач підстанції TS5 та відмикач Q22 головної підстанції, відновлюючи електропостачання усіх підстанцій кільцевої мережі. При цьому трансформатор T1 головної підстанції через відмикач Q12 живить прохідні підстанції TS1 ... TS7 та

тупикову підстанцію TS10, а трансформатор T2 через відмикач Q22 живить прохідні підстанції TS8 та TS9.

Пошкодження ж на лінії, що живить тупикову підстанцію, наприклад, коротке замикання в точці **б**, спричиняє спрацьовування відмикача Q22 і тимчасове знеживлення прохідних підстанцій TS1 ... TS5 та тупикової підстанції TS10. Вслід за тим вмикається фідерний вимикач на підстанції TS3, після чого вмикається відмикач Q22 головної підстанції, відновлюючи електропостачання усіх підстанцій кільцевої мережі за винятком тупикової підстанції у тому ж порядку, що й до аварії, тобто трансформатор T1 живить підстанції TS1 ... TS5 та TS10, а трансформатор T2 – підстанції TS6 ... TS9.

Апарати розподільних пристроїв середньої напруги зазвичай монтуються в комірках з повітряною ізоляцією, наприклад, у комірках КСО (камери сборные одностороннего обслуживания – рус.), розміри яких визначаються умовами надійного ізолювання. Типові комірki з повітряною ізоляцією мають ширину 800 ... 1000 мм, приблизно таку ж глибину та висоту 1900 ... 2100 мм. Розміри комірок суттєво впливають на розміри й вартість трансформаторних підстанцій.

Суттєве зменшення розмірів комірок розподільних пристроїв, а відтак і підстанцій у цілому, може бути досягнуто за рахунок застосування у них елегазу як ізолювального середовища. Шестифториста сірка, відома також як гексафторид сірки, SF₆ та елегаз, була вперше синтезована ще у 1890 році й досконально досліджена французьким вченим Анрі Муассаном, за що у 1906 році йому була присуджена Нобелівська премія з хімії. Цей газ, завдяки своїм унікальним електричним властивостям був названий елегазом відомим вченим Б.М. Гохбергом (до речі, членом-кореспондентом АН УРСР) завдяки його унікальним властивостям – висока електрична міцність та висока теплосмність дозволяють застосовувати цей газ як ізоляційне та охолоджувальне середовище, а дуже великий коефіцієнт теплового розширення сприяє утворенню конвекційних потоків та підвищенню тиску, що дозволяє застосовувати елегаз як ефективне дугогасне середовище.

Перші спроби практичного застосування елегазу в електроенергетиці відносяться до кінця 30-х років минулого століття, а зараз апаратуру з елегазовою ізоляцією та охолодженням, а також з гасінням дуги в середовищі елегазу випускають усі провідні виробники електричної апаратури. Найбільшого успіху досягли відмикачі високої напруги (110 кВ та вище), які повністю витіснили з ринку відмикачі, побудовані на інших принципах дугогасіння (повітряні, масляні тощо).

В діапазоні середніх напруг (6 ... 35 кВ) на певному етапі елегазові відмикачі демонстрували потужну динаміку зростання, але зараз поступаються вакуумним відмикачам, обіймаючи стабільні 20 ... 25% ринку. У той же час розподільні пристрої з елегазовою ізоляцією демонструють стабільну динаміку просування на ринку як при високих напругах (110 кВ), так і у діапазоні середніх напруг.

Система SafeRing від ABB була створена як альтернатива розподільній апаратурі з повітряною ізоляцією для застосування передусім у кільцевих мережах. Це – система герметичних блоків, у корпусах яких, виготовлених з нержавіючої сталі, міститься два, три або чотири модуля з апаратами, причому при повітряній ізоляції для відповідних апаратів модуля має застосовуватися окрема комірka. Габаритні розміри модуля SafeRing є такими: ширина – 696 мм (два модулі), 1021 мм (три модулі) та 1346 мм (чотири модулі), глибина – 765 мм, висота – 1336 мм. Як бачимо, ці розміри суттєво менші, ніж розміри комірок з повітряною ізоляцією. Уявлення про переваги (з точки зору габаритів) блоків SafeRing над комірками з повітряною ізоляцією можна скласти з рис. 3, де поруч зображені контури трьох комірок з повітряною ізоляцією та один блок SafeRing з трьома модулями.

Слід зазначити, що компактність – це не єдина перевага блоків SafeRing. Серед інших їх достоїнств слід зазначити такі:

- зручність в експлуатації, оскільки блоки системи SafeRing практично не потребують технічного обслуговування, а також не потребують жодних робіт з елегазом;
- безпечність, оскільки конструкція блоків системи SafeRing практично повністю виключає доступ людей до струмопровідних частин;
- можливість дистанційного керування;
- висока надійність й довговічність – підтверджено багаторічною практикою експлуатації.

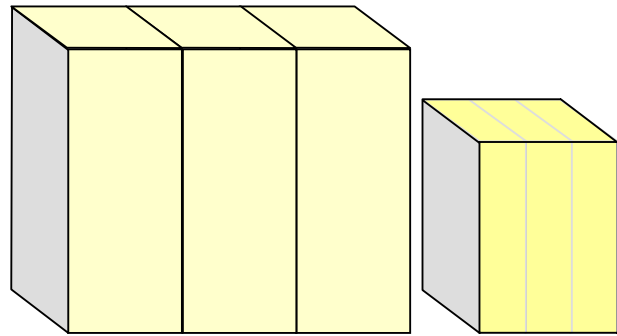
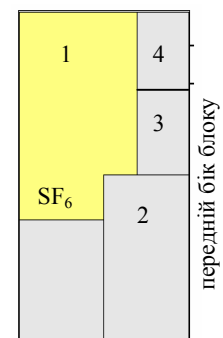


Рис. 3. Порівняння контурів комірок з повітряною ізоляцією та блоку з трьома функціонально відповідними модулями системи SafeRing з елегазовою ізоляцією

Хоча основним призначенням системи SafeRing є застосування у кільцевих мережах, однак ці елегазові комплекти використовують також і споживачі, не об'єднані у кільцеві мережі, серед яких є вітряні електростанції, торгові центри, офісні споруди, підприємства гірничої промисловості, аеропорти, об'єкти залізниці, підземні та кіоскові підстанції, малі промислові підприємства тощо.

Модулі системи SafeRing містять такі комутаційні та захисні високовольтні апарати: трипозиційні перемикачі, вакуумні відмикачі, топкі запобіжники, перемикачі уземлення, а також автоматичний короткозамикач або ліквідатор дуги (arc suppressor). Усі ці апарати розташовують в герметичному баку, заповненому елегазом – високовольтному відсіку блоку SafeRing (рис. 4). Приєднання пристрою до зовнішніх кіл здійснюється за допомогою кабельних виводів, що проходять крізь прохідні ізолятори (cable termination – bushings), розташованими на межі між високовольтним та кабельним відсіками, та спеціальних кабельних адаптерів, що встановлюються на кінцях зовнішніх кабелів. Над кабельним відсіком розташований низьковольтний відсік з апаратурою вторинної комутації, через який, крім того, здійснюється заміна вставок запобіжників, а над ним – відсік керування, у який крізь спеціальні сальники виведені вали приводів комутаційних апаратів, та у якому розташовують двигунові приводи комутаційних апаратів, блоки релейного захисту, вимірювальні прилади тощо.

Рис. 4. Відсіки блоку SafeRing: 1 – високовольтний відсік; 2 – кабельний відсік; 3 – низьковольтний відсік; 4 – відсік керування.



В системі SafeRing застосовується чотири види модулів (рис. 5), які в різних комбінаціях об'єднуються у блоки. Модулі знизу закінчуються кабельними виводами, а зверху приєднуються до загальної шини блоку.

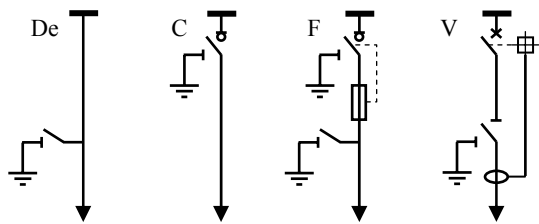


Рис. 5. Модулі системи SafeRing

Модуль De – це пряме з'єднання загальної шини з кабельним виводом, до якого приєднаний перемикач уземлення (Direct cable connection with earthing switch).

Модуль C (Cable switch) реалізує з'єднання загальної шини з кабельним виводом через трипозиційний перемикач – апарат, який поєднує функції вимикача-роз'єднувача (switch-disconnector) та перемикача уземлення (earthing switch). Елементи конструкції модуля C (вид зсередини) зображені на рис. 6, а.

Рухомі контакти трипозиційного перемикача 1 виконані у вигляді подвійних ножів, що забезпечує компенсацію електродинамічного відкидання контактів при коротких замиканнях і запобігає їх зварюванню. Шина 2, яка забезпечує з'єднання усіх трьох фаз фідерного кабелю уземлюється не через металевий корпус (який обов'язково уземлюється, виходячи з вимог електробезпеки), а через спеціальну мідну пластину 3 з додатковим терміналом уземлення 4. Ця пластина розташована у низьковольтному відсіку, який у нижній частині оболонки має отвір 5, через який до кабельного відсіку пропускають уземлювальний провідник.

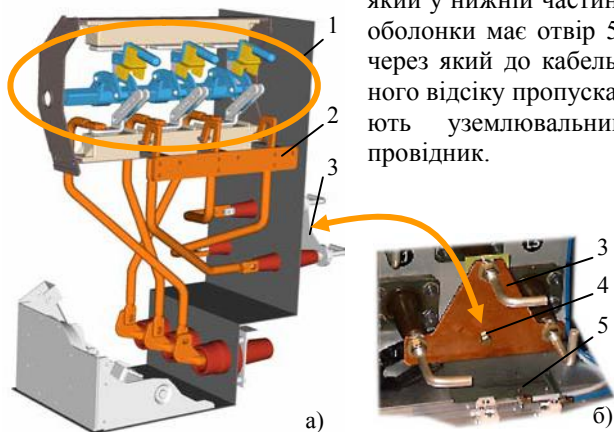


Рис. 6. Модуль C системи SafeRing: а – вигляд високовольтного відсіку зсередини; б – мідна пластина з терміналом уземлення у відсіку керування

Модуль F (рис. 7) забезпечує з'єднання загальної шини з кабельним виводом через комбінацію трипозиційного перемикача 1 із запобіжником (switch-Fuse-disconnector). У цьому модулі застосовується додатковий перемикач уземлення 2, який приєднує свій уземлений вал до кабельного виводу, оскільки за відсутності топкої вставки (або при її перегоранні) трипозиційний перемикач не забезпечує уземлення фідерного кабелю. Модуль F насправді має гібридну побудову – комутаційні апарати та тримачі запобіжників 3 знаходяться в середовищі елегазу, а вставки мають повітряну ізоляцію.

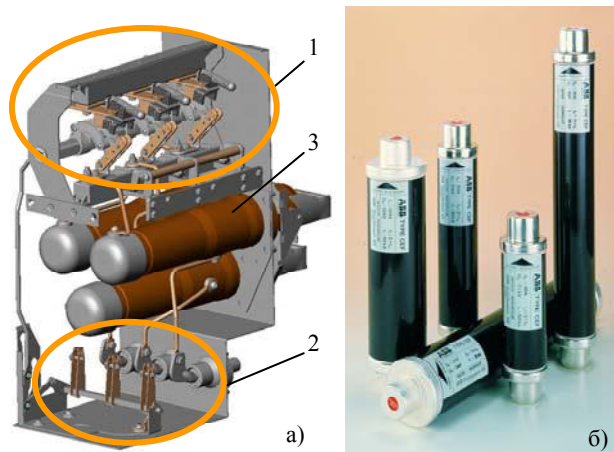


Рис. 7. Модуль F системи SafeRing: а – вигляд високовольтного відсіку зсередини; б – топкі вставки АБВ СЕФ, які мають застосовуватися у модулі F

Топкі вставки запобіжників АБВ СЕФ, які мають застосовуватися у модулі F, забезпечують ефективний захист фідерних кабелів при коротких замиканнях, а також трансформаторів (до 1600 кВА) при перевантаженнях, не перериваючи живлення при короточасних перевантаженнях. Наприклад, переддуговий час топкого елемента вставки з номінальним струмом 100 А при струмі 200 А становить приблизно годину, а при струмі 500 А – 6 секунд. Вставки запобіжників АБВ СЕФ мають дуже велику номінальну (гарантовану виробником) здатність до відмикання коротких замикань – 63 кА при номінальній напрузі 12 кВ та нижче і 50 кА при номінальній напрузі понад 12 кВ. При потужних коротких замиканнях ці вставки мають дуже високу швидкодію, а відтак, забезпечують ефективне струмообмеження. Зокрема, при очікуваному струмі короткого замикання 2 кА вставка з номінальним струмом 100 А спрацює приблизно за 7 ... 8 мс, але пропущений струм буде дорівнювати піковому значенню очікуваного струму – 5 кА. При більших значеннях очікуваного струму короткого замикання ця вставка стає струмообмежувальною. Зокрема, при очікуваному струмі короткого замикання 10 кА (середньоквадратичне значення симетричної складової) відповідне пікове значення становитиме 25 кА, пропущений струм не перевищуватиме 8 кА. Але найбільша струмообмежувальна здатність спостерігається при дуже потужних коротких замиканнях – при очікуваному струмі 50 кА відповідне пікове значення становитиме 125 кА, а пропущений струм не перевищуватиме 15 кА (восьмикратне обмеження).

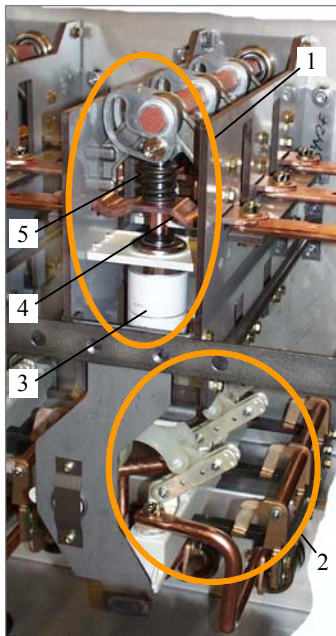
В системі SafeRing бажано застосовувати вставки СЕФ довжиною 442 мм, хоча передбачена можливість застосування вставок меншої довжини з номінальною напругою менше 24 кВ, але для цього слід застосовувати спеціальний адаптер.

Модуль V (рис. 8) містить вакуумний відмикач (Vacuum circuit-breaker), який *автоматично* спрацьовує при коротких замиканнях. Датчиками коротких замикань є трансформатори струму, вбудовані у модуль. Вакуумний відмикач 1 має пружинний привід, причому перед вмиканням контактів відмикача має бути попередньо зведена привідна пружина, у якій накопичується енергія, необхідна для швидкого розмикання

контактів. При виникненні струмів коротких замикань трансформатори струму виробляють сигнал, який впливає на обмотку електромагніта (tripping coil), рухома частина магнітопроводу якого впливає на механізм вільного розчеплення (trip-free mechanism) і в результаті контакти відмикача розмикаються. Крім вакуумного відмикача модуль V містить ще один комутаційний апарат – перемикач уземлення 2, розташований у нижній частині апаратного відсіку.

Важливою особливістю вакуумного відмикача є те, що при коротких замиканнях він спрацьовує автоматично без витримки часу. Захист від перевантажень здійснюється за допомогою спеціальних реле, які забезпечують необхідну форму зворотно-залежної часо-струмової характеристики. Для повторного спрацьовування відмикача треба звести привідну пружину – вручну або за допомогою спеціального приводу. Тому виробник заявляє для цього відмикача такий цикл: O – 3 min – CO – 3 min – CO, а не цикл, який слід застосовувати для споживачів першої категорії: O – 0,3 s – CO – 3 min – CO. Такий цикл може бути реалізований у системі SafePlus.

Номінальний струм відмикача становить 200 А, здатність до відмикання коротких замикань – 21 кА при номінальній напрузі 12 кВ та менше або 16 кА при більших значеннях номінальної напруги (до 24 кВ).



Ці показники є цілком достатніми, щоб тривало жити й надійно захищати трансформатори потужністю до 2500 кВА (більше ніж допускає модуль F).

Рис. 8. Модуль V системи SafeRing:

- 1 – вакуумний відмикач;
- 2 – перемикач уземлення;
- 3 – вакуумна дугогасна камера;
- 4 – гнучке контактне з'єднання;
- 5 – пружина контактного натиснення.

Як вже зазначалося, система SafeRing – це блоки, побудовані з розглянутих вище модулів. Номенклатура блоків SafeRing передбачає такі 10 варіантів: DeF, DeV, CCC, CCF, CCV, CCCC, CCCF, CCCV, CCFF, CCVV. Схеми цих блоків представлені на рис. 9. Ці блоки можуть мати різне застосування, але у кільцевих мережах вони мають конкретне призначення:

- блоки DeF та DeV призначені для тупикових підстанцій; споживач може обрати тип захисного апарата – запобіжник чи вакуумний відмикач;
- блок CCC застосовується у кільцевій мережі як проміжний елемент, розташований між двома прохідними підстанціями і призначений для здійснення відгалуження до тупикової підстанції;

- блоки CCF та CCV призначені для прохідних підстанцій; споживач може обрати тип захисного апарата – запобіжник чи вакуумний відмикач;
- блок CCCC застосовується у кільцевій мережі як проміжний елемент, розташований між двома прохідними підстанціями і призначений для здійснення відгалужень до двох тупикових підстанцій;
- блоки CCCF та CCCV призначені для прохідних підстанцій з одним відгалуженням до тупикової підстанції; споживач може обрати тип захисного апарата – запобіжник чи вакуумний відмикач;
- блоки CCFF та CCVV призначені для прохідних підстанцій для споживачів, які потребують живлення від двох трансформаторів або для двох окремих споживачів, розташованих на невеликій відстані один від одного; споживачі можуть обрати тип захисних апаратів – запобіжники чи вакуумні відмикачі.

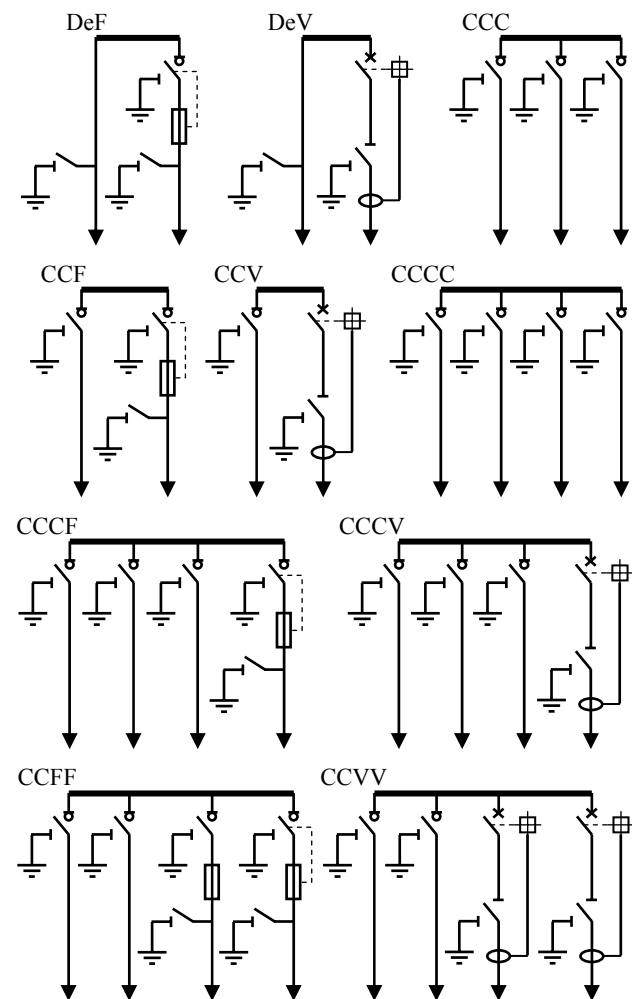


Рис. 9. Електричні схеми блоків системи SafeRing

У якості прикладу, на рис. 10 зображено апаратний відсік блоку CCF (вид зсередини). Як бачимо, блок містить значну кількість неізольованих мідних провідників, розташованих на невеликій відстані один від одного. Хоча електричне середовище є надійним ізоляційним середовищем, вірогідність (хоча й дуже мала) замикання провідників між собою, а відтак й виникнення електричної дуги всередині блоку все ж існує. Виникнення дуги всередині блоку – це серйозна аварія, наслідками якої можуть бути вибух та пожежа.

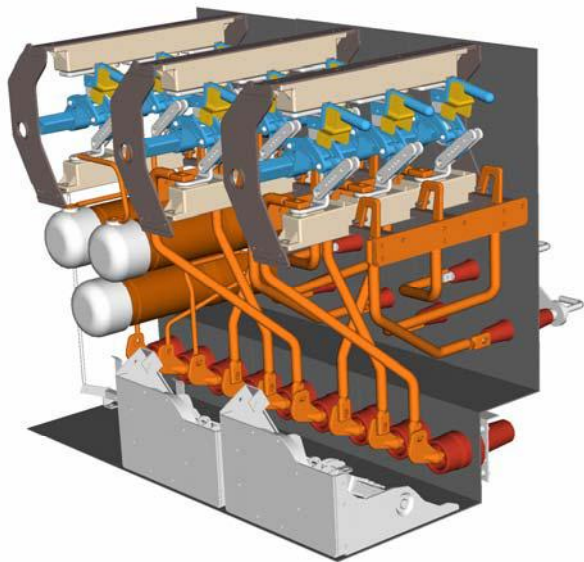


Рис. 10. Високовольтний відсік блоку CCF (вид зсередини)

Для запобігання аваріям, пов'язаним з виникненням дуги всередині блоку системи SafeRing виробник цієї системи пропонує спеціальний апарат – ліквідатор дуги (arc suppressor), яким за вимогу замовника може бути укомплектований будь-який блок.

Ліквідатор дуги (рис. 11) представляє собою трифазний короткозамикач з мембранним приводом, який автоматично спрацює внаслідок неприпустимого підвищення тиску в апаратному відсіку, яке може виникнути при появі електричної дуги. При спрацюванні ліквідатора дуги на ввіді виникає симетричне трифазне коротке замикання, яке призводить до спрацювання відмикача на головній підстанції і, таким чином, до ліквідації аварії всередині блоку. Застосування ліквідаторів дуги є найкращим рішенням для підстанцій, розташованих у людних місцях, закритих та підземних приміщеннях.

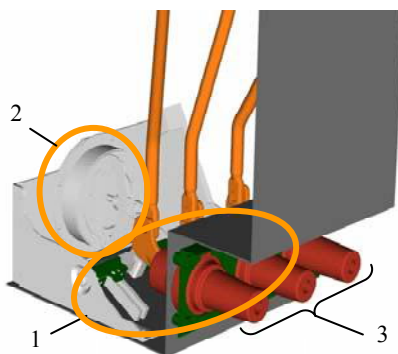


Рис. 11. Ліквідатор дуги (arc suppressor): 1 – контакти короткозамикача; 2 – мембранний привід; 3 – прохідні ізолятори на ввіді в блок.

Уявлення про зовнішній вигляд прохідних ізоляторів, за допомогою яких здійснюється виведення струмопроводів з високовольтного відсіку у кабельний, можна скласти з рис. 10 та 11. Слід зазначити, що в системі SafeRing застосовується чотири типи прохідних ізоляторів, а приєднання до них зовнішніх кіл здійснюється за допомогою відповідних чотирьох типів спеціальних кабельних адаптерів, що встановлюються на кінцях зовнішніх кабелів (рис. 12).



Рис. 12. Прхідні ізолятори (1 – 4) та кабельні адаптери (5 – 8): 1 – серія 200, втичні, 200А; 2 – серія 400, втичні, 400А; 3 – серія 400, нарізні, 400А; 4 – серія 600, нарізні, 630А; 5 – SOC 250 STP; 6 – SOC 400-1(2); 7 – SOC 630-1(2); 8 – SOC 630-3(4, 5).

Кабельні адаптери допускають приєднання мідних або алюмінієвих кабелів з поперечним перетином від 25 до 95 мм² (SOC 250 STP) до 630 мм² (SOC 630-4).

Дуже важливою характеристикою комутаційної апаратури є зносостійкість – механічна (без навантаження) та електрична (під навантаженням). Електрична зносостійкість блоків С та V системи SafeRing (рис. 13) у повній мірі відповідає вимогам міжнародних стандартів до апаратури даного класу (IEC 62271-100, 105).

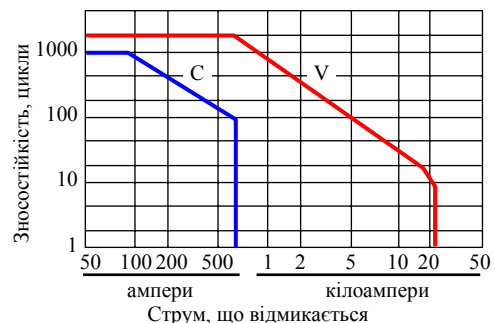


Рис. 13. Зносостійкість блоків С та V системи SafeRing

Окремо слід зазначити надійність й дуже високий ступінь захищеності блоків SafeRing від проникнення всередину сторонніх предметів та вологи. На запит однієї з іспанських компаній блок CCF був повністю занурений у воду і на глибині 3 м його витримували впродовж 24 годин під напругою 20 кВ. Після цього випробування блок був повністю (!) працездатним.

Наведений аналіз, а також п'ятирічний позитивний досвід експлуатації системи SafeRing в Україні дає усі підстави стверджувати, що ця система буде належно оцінена електромонтажними й експлуатаційними компаніями, враховуючи високий рівень технічних рішень, закладених в цій системі, у тому числі в плані майже стовідсоткової її безпечності для оперативного персоналу. Адже безпека – понад усе!

Продовження у наступному номері