

В.Л. ЕМЕЛЬЯНОВ, ст. викл., НТУ "ХПІ", Харків
О.М. ГРЕЧКО, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПІ", Харків

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ

Приведено аналітичний огляд конструкцій та систем керування сучасних вакуумних вимикачів середньої напруги, які мають попит на ринку комутаційної апаратури України.

Представлен аналитический обзор конструкций и систем управления современных вакуумных выключателей средних напряжений, которые пользуются спросом на рынке коммутационной аппаратуры Украины.

Вступ. Сучасні електроустановки середніх напруг (6-35 кВ) характеризуються великими значеннями струмів коротких замикань (КЗ), які дорівнюють десятків тисяч ампер. Найпоширенішим апаратом захисту в зазначених мережах є вакуумні вимикачі (далі – вимикачі), здатність до вимикання яких повинна відповідати рівню струмів КЗ. Вибираючи тип вимикача необхідно не тільки враховувати його значення здатності до вимикання, але і його можливість в частині обмеження термічної дії струму КЗ на об'єкти захисту.

Як відомо [1], час протікання струму КЗ t_K складається з часу реагування системи релейного захисту та автоматики (РЗА) вимикача t_3 (час від моменту виникнення КЗ до моменту видачі команди на вимикання вимикача), власного часу спрацьовування вимикача t_c (час від моменту видачі команди на вимикання вимикача до моменту розмикання його контактів) і часу гасіння електричної дуги t_d (час від моменту розмикання контактів вимикача до моменту згасання електричних дуг на всіх його контактах):

$$t_K = t_3 + t_c + t_d. \quad (1)$$

Таким чином, зменшити час протікання струму КЗ можливо за рахунок зменшення часу реагування системи РЗА вимикача t_3 .

Метою роботи є аналітичний огляд конструкцій вакуумних вимикачів та їх систем керування, які є найпоширенішими на українському ринку комутаційної апаратури середньої напруги.

Вакуумний вимикач серії TEL виробництва "Таврида Електрик". В основі побудови вимикача TEL [2] закладено принцип співві-

ності трьох електромагнітів з кожною з фаз вимикача, тобто з відповідною вакуумною дугогасною камерою (ВДК) (рис. 1).

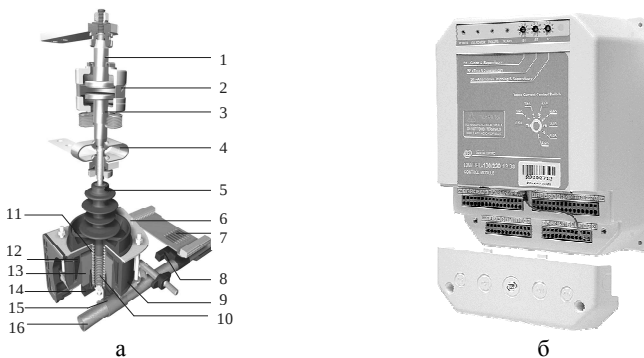


Рис. 1. Конструкція однієї з трьох фаз вимикача серії TEL (а) та зовнішній вигляд блоку керування БУ/TEL-12-03 (встановлюється окремо, поза корпусом вимикача).

На рис. 1,а позначено: 1, 3 – контакти ВДК; 2 – ВДК; 4 – гнучкий струмознімач; 5 – тяговий ізолятор; 6 – кришка; 7 – геркони; 8 – постійний магніт; 9 – кільцевий постійний магніт; 10 – контактна пружина; 11 – пружина вимикання; 12 – котушка; 13 – ярір; 14 – втулка якоря; 15 – кулачок; 16 – загальний вал.

При подачі команди вмикання блок керування (БК) подає напругу на котушку 12 електромагніту. Струм створює магнітний потік в зазорі між ярком 13 і кільцевим магнітом 9, під дією якого ярір втягується всередину електромагніту і через тяговий ізолятор 5 стискає пружину вимикання 11. При цьому контакти 1 і 3 ВДК замикаються.

Замикання рухомого контакту 3 з нерухомим 1 відбувається в мить, коли між ярком і верхньою кришкою електромагніту залишається зазор 2 мм. Проходячи цю відстань, ярір стискає контактну пружину 10, створюючи необхідне контактне натиснення. Після замикання магнітної системи ярір встає на магнітну заціпку і залишається в цьому положенні необмежено довго за рахунок залишкової індукції кільцевого електромагніту 9. Тривалість подачі напруги на котушку електромагніту встановлюється блоком керування і складає приблизно 60-80 мс залежно від типу БК.

При подачі команди вимикання БК подає на котушку електромагніту напругу протилежної полярності та певної тривалості. При цьому

електромагніт частково розмагнічується і якір знімається з магнітної заціпки. Під дією контактної пружини та пружини вимикання якір ударяє по тяговому ізолятору 5, що механічно з'єднаний з рухомим контактом 3. Після удару контакт набуває високої стартової швидкості і під дією пружини вимикання разом з іншими рухливими частинами вимикача займає кінцеве положення.

Використовування принципу перемагнічування кільцевого магніту не дає можливості використання для їх виготовлення сучасних високоерцитивних магнітотвердих матеріалів, для перемагнічування яких через котушку необхідно пропускати великі струми, що вимагає потужних джерел енергії в колах керування і створює проблеми комутації таких струмів.

Структурна схема керування вимикачем серії TEL показана на рис. 2. Блоки (BU/TEL-220-05A або БУ/TEL-12-03) призначені для керування вимикачем і взаємодією з релейним захистом і автоматикою за допомогою спеціального інтерфейсу.

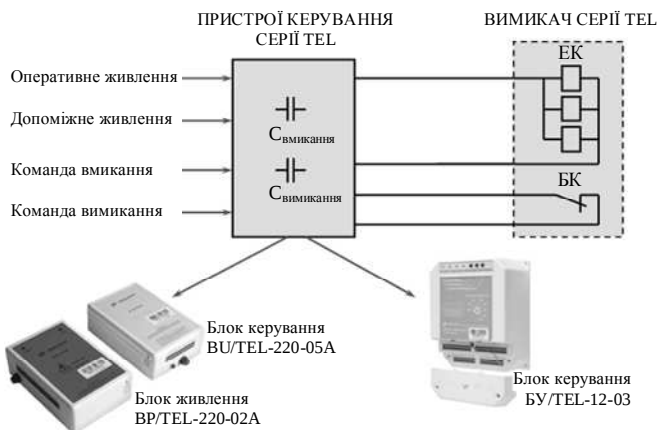


Рис. 2. Схема керування вимикачем серії TEL.

Вмикання і вимикання вимикача здійснюється шляхом розряду вбудованих в БК конденсаторів на обмотки електромагнітного приводу вимикача. Датчиком положення вимикача служить його блок-контакт БК.

Блоками керування є електронні пристрої нового покоління, що використовують твердотільні комутатори та однокристальні мікроконтролери. Це дозволяє з високою точністю підтримувати режими керу-

вання вимикачем, забезпечуючи оптимальні умови для його роботи. Блоки керування мають ряд типовиконань, що відрізняються один від одного за напругою живлення, інтерфейсом підключення і функціональними можливостями.

Сучасна елементна база у сукупності зі схемотехнічними рішеннями дозволила створити блоки керування, які дозволяють інтегруватися в електричні схеми і конструкції розподільних пристроїв різних виробників. Загальні технічні параметри для всіх типовиконань блоків керування наведені в табл. 1, а детальний опис роботи блоків керування – в [3].

Таблиця 1. Технічні параметри блоків керування.

Стандартний цикл автоматичного повторного вмикання (АПВ)	Вим – 0,3 с – Вм-Вим – 15 с – Вм-Вим – 180 с – Вм-Вим*
Власний час вимикання вимикача, мс	25
Максимальна кількість циклів Вм-Вим в годину	100
Ступінь захисту	IP40
Споживана потужність, не більше	
У процесі підготовки до вмикання	50 Вт /70 ВА
У стаціонарному режимі	10 Вт / 15 ВА
Час підготовки до операції "Вмикання", не більше	
Після подачі оперативного живлення	15 с
Після попередньої операції "Вм"	9 с
Час підготовки до операції "Вим" після подачі оперативного живлення, не більше	0,5 с
Час збереження здатності до виконання операції "Вим" після зникнення оперативного живлення, не менш	30 с

* "Вим" та "Вм" – операції вимикання та вмикання вимикача відповідно.

Вакуумний вимикач серії VM1 виробництва АВВ. У вакуумних вимикачах серії VM1 [4] двопозиційний електромагніт складається з нерухомої та рухомої частин магнітопроводу, двох котушок і постійних магнітів (рис. 3,а). Рухома частина – якір – має форму паралелепіпеда та розташовується усередині котушки. Нерухома частина магнітопроводу – пакет феромагнітних пластин прямокутної форми, товщина яких приблизно дорівнює глибині поперечного перетину якоря. На рис. 3,б наведено модуль керування, що встановлюється безпосередньо усередині корпусу вимикача.

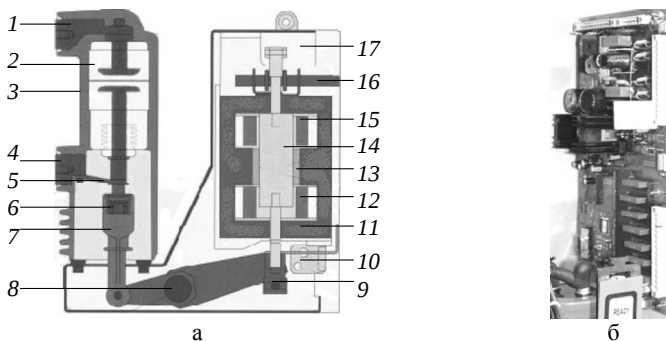


Рис. 3. Конструкція двопозиційного електромагніту (а) та зовнішній вигляд модуля керування.

На рис. 3,а позначено: 1 – верхній термінал; 2 – ВДК; 3 – епоксидна ізоляція; 4 – нижній термінал; 5 – гнучкий контакт; 6 – контактна пружина; 7 – тяговий ізолятор; 8 – важіль; 9 – протиударний вузол; 10 – датчики положення вимикача; 11 – нерухома частина магнітопроводу; 12 – котушка вмикання; 13 – постійні магніти; 14 – ярі; 15 – котушка вимикання; 16 – аварійний ручний привід вимикання; 17 – корпус.

Коли ярі 14 притиснутий до нерухокої частини магнітопроводу 11 з нижньої сторони, він утримується в цьому положенні при знеструмлених котушках 12 і 15 завдяки дії магнітного потоку, що створюється постійними магнітами 13. При цьому контакти ВДК 2 замкнені. Якщо пропустити струм відповідної величини й напрямку через котушку вимикання 15, ярі почне рухатися вгору. Коли ярі упреться в нерухливу частину магнітопроводу з верхньої сторони, він залишиться в цьому положенні й після вимикання котушки 15 завдяки магнітному потоку постійних магнітів. Електромагніт є бістабільним, оскільки має два сталі положення при знеструмлених котушках.

До основного недоліку вимикача можна віднести невелику силу утримання електромагніту при знеструмлених котушках, тому що сила утримання в кожному сталому положенні створюється лише в одному робочому зазорі та обмежується значенням магнітної індукції насичення матеріалу магнітопроводу, що для сучасних магнітом'яких матеріалах складає ≈ 2 Тл, а відповідне значення сили утримання ≈ 160 Н/см².

Модуль керування (рис. 4,а) складається з двох панелей: перетворювача АС/DC (верхня панель А на рис. 4,а) та блоку керування вимикача (нижня панель Б на рис. 4,а) [5].

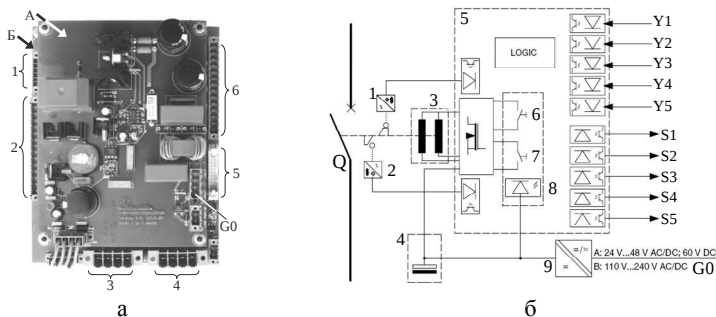


Рис. 4. Конструкція (а) та схема (б) модуля керування.

На рис. 4,а позначено: 1 – входи для сигналів з сенсорів положення вимикача; 2 – входи Y1-Y5; 3 – приєднання для додаткового конденсатора (для циклу АПВ); 4 – приєднання для котушок електромагніту; 5 – приєднання для кнопок вмикання, вимикання та сигнального діоду готовності вимикача до комутації; 6 – виходи S1-S5; G0 – вхід для живлення додаткової напругою.

На рис. 4,б позначено: Q – контакти вимикача; 1 – сенсорний датчик вимкненого положення вимикача; 2 – сенсорний датчик увімкненого положення вимикача; 3 – електромагнітний привод; 4 – додатковий конденсатор; 5 – блок керування вимикача; 6 – кнопка вмикання; 7 – кнопка вимикання; 8 – сигнальний діод (LED) готовності вимикача до комутації; 9 – перетворювач AC/DC; Y1-Y5 – команди щодо комутаційного стану кіл; S1-S5 – вихідні сигнали.

Перетворювач AC/DC з будь-якої напруги у робочому діапазоні вхідної напруги створює напругу 80 В, яка заряджає конденсатор для живлення електромагнітного приводу вимикача. Перетворювач також генерує напругу 12 В для живлення блоку керування.

Блок керування складається з модуля логіки, оптоелектронних елементів зв'язку, фотоелектричних реле, силових електронних компонентів для керування подачею живлення від конденсатору до обмоток електромагнітного приводу, роз'ємів для керування та сигналізації тощо.

Якщо вимикач вимкнуто, то енергії конденсатору достатньо для однієї операції вмикання вимикача та однієї операції вимикання. Якщо вимикач увімкнено, то енергії конденсатору достатньо для однієї операції вимикання вимикача, а якщо ж з якоїсь причини зникло оперативне живлення, то енергії достатньо для однієї операції вимикання вимикача упродовж перших 200 секунд з моменту зникнення живлення.

Загальні технічні параметри модуля керування наведені в табл. 2,

а детальний опис роботи – в [6].

Таблиця 2. Технічні параметри модуля керування.

Стандартний цикл автоматичного повторного вмикання (АПВ)	Вим – 0,3 с – Вм-Вим – 180 с – Вм-Вим
Власний час вимикання вимикача	≤ 50 мс
Споживана потужність, не більше	
У процесі зарядки	100 Вт
У стаціонарному режимі	4 Вт
Значення напруги на конденсаторі, при якому можливе вмикання та вимикання вимикача	
Номінальне значення	80 В
Мінімальне значення	72 В
Час зарядки конденсатора (від джерела постійної напруги)	
Первісна зарядка при введенні в експлуатацію	8-60 с
Повторна зарядка до 80 В після комутації	2,5-3 с

Вакуумний вимикач серії ВР виробництва ЗАТ "Високовольтний союз". В електромагнітному приводі вимикача серії ВР (рис. 5,а) виробництва ЗАТ "Високовольтний союз" рухоме осердя 4 утримується магнітними колами постійних магнітів 3 у двох сталих положеннях (рис. 5,б) [7].

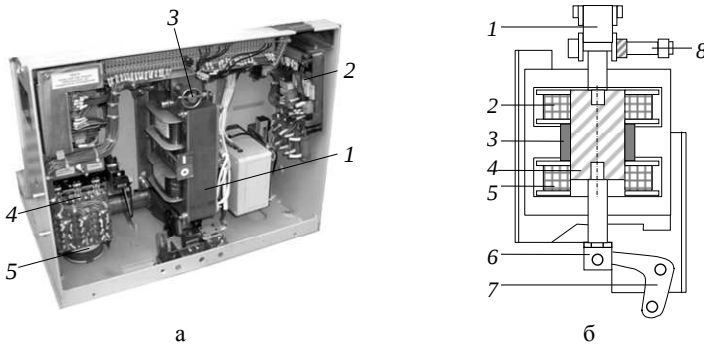


Рис. 5. Зовнішній вигляд (а) та схема (б) вакуумного вимикача серії ВР.

На рис. 5,а показано: 1 – електромагнітний привод; 2 – система керування; 3 – механізм ручного вимикання; 4 – електромеханічні шляхові вимикачі; 5 – конденсатор.

На рис. 5,б показано: 1 – вставка вимикання; 2 – котушка вими-

кання; 3 – постійний магніт; 4 – осердя; 5 – котушка вмикання; 6 – вставка вмикання; 7 – проміжний вал; 8 – вал ручного вимикання.

Переміщення осердя 4 здійснюється двома котушками (2 або 5 залежно від комутаційного стану вимикача) та починається, коли тягове зусилля, що створює котушка буде більше зусилля магнітної зачіпки. Конструкція електромагніта розроблена таким чином, що магнітне поле котушок вмикання і вимикання направлене узгоджено з магнітним полем постійних магнітів, що перешкоджає їх розмагнічуванню. Вимикання вимикача відбувається за рахунок енергії попередньо заряджених конденсаторів.

Недоліком вимикача є відносно невелика сила утримання осердя при знеструмлених котушках, тому що сила утримання в кожному сталому положенні створюється лише в одному зазорі і обмежується величиною магнітної індукції насичення матеріалу магнітопроводу. Також істотним недоліком є низька швидкодія вимикача (власний час вимикача складає 42-50 мс [8]).

Схема керування вимикачів серії ВР складає єдине ціле з ним і розміщується безпосередньо в корпусі вимикача. При цьому керування здійснюється, як змінним, так і постійним (випрямленим) оперативним струмом. Застосування нових електронних елементів гарантує високу надійність роботи схеми. Принципові електричні схеми приведені в [9].

З метою гарантованого виконання вимикачем своїх функцій, навіть при зникненні оперативного живлення у споживачів, вимикачі мають такі функціональні можливості:

1. *Резервний блок аварійного вимикання* призначений для вимикання вимикачів при КЗ на лінії та тривалій відсутності при цьому оперативної напруги. Вимикачі з таким блоком призначені для роботи на підстанціях з великою вірогідністю тривалого зникнення оперативної напруги (на час більше 10 годин). Принцип роботи блоку заснований на перетворенні струму первинного кола в напругу з подальшим збільшенням до 220 В. При нормальній роботі підстанції оперативна напруга на вимикач поступає через діодний міст. При зникненні напруги до схеми підключається помножувач, який підтримує конденсатор в зарядженому стані [9].

2. *Блок вмикання* призначений для неоперативного дистанційного вмикання вимикачів за відсутності оперативної напруги [9].

3. *Блок вимикання від струмів КЗ* призначений для вимикання вимикачів при КЗ в умовах відсутності оперативної напруги в колах керування вимикача. Джерелом енергії застосовуються трансформатори струму головного кола, які забезпечують заряд конденсаторів ви-

микача у момент протікання струмів КЗ [9].

Вакуумний вимикач серії ВБ4-Е виробництва ТОВ "АВМ АМПЕР" (м. Кременчук). В вимикачах застосовується електромагнітний привод (рис. 6,а) з магнітною защіпкою з двома робочими повітряними зазорами δ_1 і δ_2 із використанням висококоерцитивних постійних магнітів 4 із застосуванням електромеханічної системи керування з електронними компонентами (рис. 6,б) [10]. Сила утримання створюється у двох робочих зазорах – між якорем 1 і осердям 6 та між якорем 1 і корпусом 5. Завдяки цьому сила утримання збільшується приблизно у 2 рази, а це, як відомо з літературних джерел [11], дозволяє збільшити здатність до вимикання струмів КЗ.

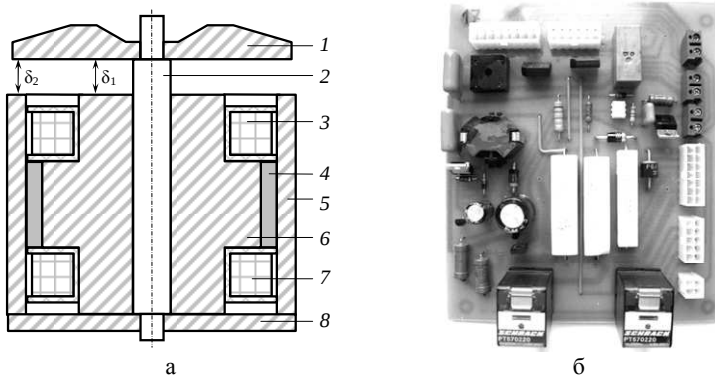


Рис. 6. Конструкція (а) та зовнішній вигляд (б) вакуумного вимикача серії ВБ4-Е.

Електромагніт складається з нерухомої частини магнітопроводу (осердя 6 і корпуса 5), рухомої частини (немагнітного штока 2 і двох якорів 1 і 8), вмикальної 3 та вимикальної 7 котушок, постійних магнітів 4. Вмикання вимикача відбувається при підключенні вмикальної обмотки до конденсатору. Магнітний потік, що створюється вмикальною обмоткою, направлений згідно з магнітним потоком постійних магнітів. В момент, коли сила тяжіння якоря стає більшою за силу протидіючих пружин, починається рух якоря – контакти ВДК замикаються. Принцип роботи електромагніту при вимиканні вимикача є аналогічним за умови підключення вимикальної обмотки до конденсатору.

Кола живлення системи керування мають можливість підключатися до джерела живлення як змінної, так і постійної напруги 110-220 В, забезпечуючи при цьому напругу заряду конденсатора на рівні 330-350 В.

Це необхідно задля забезпечення гарантованих циклів АПВ вимикача без застосування додаткових конденсаторів.

Як показала експериментальна перевірка близько 300 екземплярів, розроблена система керування вимикачем забезпечує:

1. Надійне вмикання і вимикання вимикача при різному характері джерела живлення.

2. Виконання всіх необхідних циклів роботи вимикача згідно [12].

3. Ряд необхідних захисних блокувань, а саме: обмеження часу підключення обмоток контакторів і котушок електромагніту до джерела живлення, що унеможливило їх вихід з ладу із-за перегріву; неможливість вмикання і вимикання вимикача при недостатньому рівні напруги на конденсаторі; неможливість одночасної видачі команди на вмикання і вимикання вимикача; неможливість видачі команди на вмикання при неувімкненому положенні вимикача; захист від повторного вмикання вимикача (повторного розряду конденсатора на котушку вмикання).

Висновки. У статті проведено аналітичний огляд конструкцій та систем керування вакуумних вимикачів середньої напруги, які мають попит на ринку комутаційної апаратури України, показані особливості їх роботи, зазначені переваги та недоліки.

Список літератури: 1. Климченко Б.В. , Байда Е.И. , Гречко А.М. , Боев С.В. О термическом действии токов коротких замыканий в электрических цепях средних напряжений, защищаемых вакуумными выключателями. – *Электротехника і електромеханіка.* – Харків, 2007. – № 1. – С. 30-33. 2. www.teu.tavrida.com/vv.htm. 3. Блок управления серии БУ/TEL-12А для вакуумных выключателей серии ВВ/TEL. Руководство по эксплуатации ТШАГ 468332.034 РЭ. 4. www.abb.ua/ProductGuide/Alphabetical.aspx. 5. VM1. Medium voltage vacuum circuit-breakers with magnetic drive 12-24 kV, 630-2500 A, 16-31,5 kA. www.abb.com. 6. VM1. Вакуумный выключатель с магнитным приводом. Руководство по монтажу, обслуживанию и уходу. www.abb.com. 7. www.vsoyuz.ru/russian/products. 8. Мельник Я.В. Выключатели вакуумные серии ВР. Особенности конструкции, результаты испытаний и эксплуатации / Я.В. Мельник // *Электротехника і електромеханіка.* – 2003. – № 3. – С. 90-94. 9. Выключатели вакуумные серии ВР. Техническая информация. НКАИ.670049.011 ТИ, 2005. 10. www.abm-ampere.com/prod_vb4-e.htm. 11. Кузнецов Р.С. Аппараты распределения электрической энергии на напряжение до 1000 В / Р.С. Кузнецов – М.: Энергия, 1970. – 544 с. 12. Выключатели переменного тока на напряжении свыше 1000 В. Общие технические условия: ГОСТ 687-78. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 71 с.

Надійшла до редколегії 12.04.2011

Рецензент д.т.н., проф. Климченко Б.В.