

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

**Методичні вказівки
до виконання самостійної роботи**

СУМИ – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

Методичні вказівки
до виконання самостійної роботи

для здобувачів освітньої програми G3 «Електрична інженерія», , 4, 2с.т.
курсу денної та 5, 3 с.т. курсу заочної форми здобуття освіти ступеня вищої
освіти «бакалавр»

СУМИ – 2026

Укладачка: Рясна О.В., старший викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем

Н 18 Науково-методичне забезпечення навчального процесу
методичні вказівки до виконання самостійної роботи для
здобувачів освітньої програми G3 «Електрична інженерія», 4, 2
с.т. курсу денної та 5, 3 с.т. курсу заочної форми здобуття освіти
ступеня вищої освіти «бакалавр»:/ укл.: Рясна О.В. - Суми, 2026.
– 83 с.

У методичних вказівках до виконання самостійної роботи наведені:
матеріал написаний у формі лекцій, прийнятий такий порядок подачі
матеріалу: електричні апарати низької та високої напруги.

Поряд з класичними комутаційними пристроями розглянуті деякі види
апаратів спеціального призначення та систем керування. Зроблено аспект на
роботу електрообладнання: вивчення будови та принципу дії, фізичних
процесів у контактах, теорії електричної дуги, конструктивних
особливостей та характеристик сучасних апаратів захисту і керування. Для
самоконтролю знань до кожного розділу додаються контрольні завдання
(тести).

Рецензенти:

Козін В.М., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Герасименко В.О., к.ф.-м.н., доцент, завідувач кафедри вищої математики та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Юрченко О.Ю., PhD, доцент, завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою якості інженерно-технологічного факультету.
Протокол №6 від «14» травня 2026 року

ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
ВСТУП.....	7
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	8
ТЕМА ВСТУП. ПРИНЦИП ДІЇ І ЗАГАЛЬНА	
1 КОНСТРУКЦІЯ ОСНОВНИХ ВИДІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ	11
АПАРАТІВ.....	
2 ТЕМА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ І ЗАСТОСУВАННЯ	14
ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ.....	
ТЕМА УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРА ПОЛЮСУ	
3 КОМУТАЦІЙНОГО АПАРАТА.....	19
4 ТЕМА СТРУМООБМЕЖЕННЯ ТА ІНТЕГРАЛ	26
ДЖОУЛЯ.....	
5 ТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОВІДНОСТІ ПОВІТРЯНИХ	30
ЗАЗОРІВ.....	
6 ТЕМА ГАСІННЯ ДУГИ ПРИ ЗМІННОМУ СТРУМІ.	34
УМОВА ГАСІННЯ ДУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ.....	
7 ТЕМА ВИМИКАЧІ ТА З'ЄДНУВАЧІ ПОБУТОВОГО	42
ЗАСТОСУВАННЯ.....	
8 ТЕМА КОНТАКТОРИ.....	58
9 ТЕМА ДОПОМІЖНЕ ОБЛАДНАННЯ КОМПЛЕКТНИХ	62
ПРИСТРОЇВ.....	
10 ПРОМІЖНИЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТОМ	70
РОБОТИ ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОГО	
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ.....	
11 ПЕРЕЛІК ТЕМ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	71
12 ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ ЗНАНЬ.	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82

Тематичний план

№ з/п	Тема самостійного заняття	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	ВСТУП. ПРИНЦИП ДІЇ І ЗАГАЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ ОСНОВНИХ ВИДІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ	10	15
2	ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ І ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ	10	15
3	УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРА ПОЛЮСУ КОМУТАЦІЙНОГО АПАРАТА	10	15
4	СТРУМООБМЕЖЕННЯ ТА ІНТЕГРАЛ ДЖОУЛЯ	10	15
5	ВИЗНАЧЕННЯ ПРОВІДНОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЗАЗОРІВ	10	15
6	ГАСІННЯ ДУГИ ПРИ ЗМІННОМУ СТРУМІ. УМОВА ГАСІННЯ ДУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ	10	15
7	ВИМИКАЧІ ТА З'ЄДНУВАЧІ ПОБУТОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ	10	15
8	КОНТАКТОРИ	10	15
9	ДОПОМІЖНЕ ОБЛАДНАННЯ КОМПЛЕКТНИХ ПРИСТРОЇВ	10	14
	Разом годин:	90	134

ВСТУП

Енергетика як галузь промисловості має ряд особливостей, що різко виділяють енергетичне виробництво з інших галузей промисловості.

Найважливіша особливість енергетики полягає в тому, що виробництво електроенергії, її транспорт, розподіл і споживання здійснюються в один і той же момент часу. Ця особливість перетворює всю систему виробництва, передачі, розподілу і споживання електроенергії, окремі ланки якої можуть бути віддалені на сотні кілометрів один від одного, в єдиний, складний механізм, в якому системою електропостачання називають сукупність електроустановок, призначених для забезпечення споживачів електроенергією.

Все наростаючі темпи підвищення енергоємності промисловості і аграрного сектора економіки вимагають неухильного росту електричних апаратів. І тут простим збільшенням їх чисельності питання не вирішити. Потрібні нові підходи, оригінальні зберігаючі технології, свіжі конструктивні рішення. Така робота може проводитися тільки на базі ясних уявлень про фізику явищ, що протікають в електричних апаратах, і умінню застосовувати закони електротехніки при їх проектуванні.

Електричні апарати - це електротехнічні пристрої, які використовують для включення і відключення електричних ліній, виміру, захисту, управління і регулювання електроустановок, призначених для передачі, перетворення, розподілу і споживання електроенергії. Також під електричними апаратами розуміють широкий круг всіляких пристроїв, використовуваних в побуті, промисловості та енергетиці.

Електричні апарати нині розробляються на основі глибоко розроблених теоретичних основах. Досягнення в області напівпровідникових технологій дозволили значно розширити функціональні можливості електричних апаратів і відповідно до сфери їх застосування. Пристрій сучасних електричних апаратів, дозволяє управляти потоками електроенергії не лише в цілях її перетворення з одного виду в інший, але і для розподілу, організації швидкодіючого захисту електричних ланцюгів, компенсації реактивної потужності та ін. Ці функції, тісно зв'язані з традиційними завданнями електроенергетики.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою вивчення вибіркової дисципліни «Електричні апарати» є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок щодо принципів роботи, конструкції, вибору та експлуатації електричних апаратів керування, захисту та комутації, а також здатності застосовувати ці знання для вирішення професійних задач у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Вивчення дисципліни «Електричні апарати» базується на знаннях, отриманих під час опанування таких освітніх компонентів, як: вища математика, фізика, теоретичні основи електротехніки, електричні машини. Дисципліна тісно пов'язана та забезпечує основу для подальшого вивчення освітніх компонентів: основи електропривода, релейний захист, теоретичні основи автоматики.

Отримані знання використовуються при виконанні практичних задач, розрахунково-графічних і кваліфікаційних робіт, а також у професійній діяльності, пов'язаній із проєктуванням, експлуатацією та обслуговуванням електрообладнання.

У методичних вказівках до виконання самостійної роботи наведені: матеріал написаний у формі лекцій, прийнятий такий порядок подачі матеріалу: електричні апарати низької та високої напруги.

Освітній компонент «Електричні апарати» спрямований на формування у здобувачів вищої освіти системи знань про принципи дії, конструкцію, характеристики та режими роботи електричних апаратів, що застосовуються в електроенергетичних системах, електроприводах і системах автоматизації.

У межах дисципліни розглядаються питання класифікації електричних апаратів, фізичні процеси в комутаційних апаратах, явища електричної дуги, принципи гасіння дуги, конструкції апаратів керування, захисту та автоматики, а також сучасні тенденції розвитку електротехнічних пристроїв.

Особлива увага приділяється вибору електричних апаратів за технічними параметрами, їх експлуатаційним характеристикам, надійності та безпеці використання.

І одним із головних аспектів є узагальнені програмні результати навчання щодо електричних машин і апаратів, такі концепції:

- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки;

здатність розуміти і враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні та комерційні міркування, що впливають на реалізацію технічних рішень в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці;

здатність до усвідомлення сучасного стану та розуміння перспектив розвитку електроенергетики та електромеханіки.

аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах;

аналізувати поточний стан електроенергетики та електромеханіки, розуміти та оцінювати напрямки та перспективи їх розвитку.

вміти вирішувати комплексні міждисциплінарні науково-практичні проблеми у сферах електроенергетичних та електромеханічних систем.

При підготовці методичних вказівок основний ухил зроблено на розкриття фізичної суті явищ, що визначають роботу електричних апаратів при номінальних режимах, а також у робочих, механічних режимах роботи. Матеріал повністю відповідає сучасному підходу до теорії та практики електроенергетики.

Виклад кожної лекції закінчується переліком того, що слід запам'ятати, а також подається низка запитань теоретичного та практичного плану, що допоможе краще засвоювати матеріал лекції при самостійному її опрацюванні.

Дані методичні рекомендації призначені для допомоги в організації самотійної роботи здобувачами вищої освіти під час вивчення дисципліни «Електричні апарати», а також допомогти їм у практичній реалізації набутих знань.

Мета самотійної роботи здобувача вищої освіти полягає в науково обґрунтованій системі дидактично та методично оформленого навчального матеріалу, що визначається з урахуванням структурно-логічної схеми підготовки фахівців, яку відображено в освітньо-професійній програмі та робочому навчальному плані. Зміст самотійної роботи студента з кожної навчальної дисципліни визначається робочою програмою навчальної дисципліни, методичними матеріалами, завданнями та вказівками щодо підготовки та вивчення необхідного матеріалу.

Робочою програмою дисципліни «Електричні апарати» передбачено самотійне виконання індивідуального завдання самопідготовки до виконання якого вони приступають під час вивчення теоретичної частини курсу.

Методичні вказівки, розроблені відповідно до робочої програми (силабус) дисципліни та включають в себе такі частини як:

- самотійна робота здобувача вищої освіти; організація самотійної роботи;

- проміжковий контроль знань за результатом роботи виконання самостійного (індивідуального) завдання;
- перелік тем для самостійної роботи, які потрібні для виконання, пояснення (захисту) індивідуального завдання самостійної роботи.

Завдання (письмова робота або тест множинного вибору) для самоконтролю знань виносяться поряд з навчальним матеріалом, який вивчається під час аудиторних занять.

1. ВСТУП. ПРИНЦИП ДІЇ І ЗАГАЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ ОСНОВНИХ ВИДІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

Апарат (від лат. apparatus - устаткування) - це прилад, технічний пристрій, пристосування.

У вітчизняній технічній літературі на протязі десятиліть зберігалася традиція відносити до електричних апаратів саме електротехнічні пристрої комутації, керування й захисту.

Характерною особливістю електричних апаратів є дуже широка номенклатура пристроїв, що відносяться до цієї галузі електротехніки, величезна кількість понять, визначень, характеристик, а також надзвичайно динамічний ринок як з точки зору неухильного зростання його обсягу, так і з точки зору швидкого оновлення номенклатури та розширення функціональних можливостей апаратів.

Обмежений обсяг посібника не дає можливості розглянути усі типи пристроїв, які прийнято відносити до електричних апаратів, й докладно розглянути їх.

Тому у методичні розробці розглянуто лише ті апарати, що домінують на актуальному ринку, і короткий огляд за такою схемою: призначення, будова, принципи дії, сфери застосування, найважливіші характеристики.

1.1. Призначення електричних апаратів коротко можна визначити так:

- розподілення електричної енергії між споживачами – комутаційні апарати, призначені для вмикання, вимикання та перемикання в розподільних
- мережах та інших електричних колах;
- керування, переважно, електродвигунами, вбудованими у різні технологічні процеси – електричні апарати керування;
- захист людей, тварин, майна й довкілля від згубної дії електричної енергії;
- електричні апарати захисту;
- виконання функцій керування, сигналізації, блокування тощо в допоміжних колах комутаційної апаратури, апаратури керування, а також в колах

керування електротехнічного обладнання – апарати кіл керування (не плутати з апаратами керування, які призначені для здійснення комутацій у головних колах).

Поділ електричних апаратів на групи згідно з їх призначенням є досить умовним, оскільки деякі апарати можуть мати ознаки, які дозволяють відносити

їх до різних груп. Наприклад, такі апарати як вимикачі-роз'єднувачі, комбіновані із запобіжниками (вимикачі-роз'єднувачі-запобіжники – мал. В.3 та запобіжниковимикачі-роз'єднувачі), широко застосовуються у комплектних пристроях для комутації електричних кіл, отже вони можуть бути віднесені до групи комутаційних апаратів призначених для розподілення електричної енергії. Ці ж апарати відповідно до стандарту ІЕС 60947-3 можуть застосовуватися й для вмикання та вимикання кіл з електродвигунами, відтак їх можна віднести до групи апаратів керування. Нарешті, наявність запобіжників у складі цих апаратів дає підстави віднести їх до групи апаратів захисту.

Електричний апарат - це електротехнічний пристрій, що використовується для комутації електричних кіл, контролю, виміру, захисту, керування і регулювання установок, призначених для передачі, перетворення, розподілу і споживання електроенергії. Електричні апарати являють собою засоби керування електричним струмом, функції яких полягають у керуванні параметрами, що характеризують струм: електричною напругою, електричною потужністю й енергією, частотою струму, його силою і т.п.

1.2.Класифікація електричних апаратів: за призначенням (основною виконуваною функцією); за областю застосування; за принципом дії; за напругою; за родом струму; за виконанням захисту від впливів навколишнього середовища; за конструктивними особливостями.

За призначенням апарати діляться на групи:

- комутаційні апарати розподільних пристроїв. Призначені для комутації електричних кіл (рубильники, пакетні вимикачі, вимикачі навантаження, вимикачі високої напруги, роз'єднувачі, відокремлювачі, короткозамикачі, автоматичні вимикачі, запобіжники). Для цієї групи характерно відносно рідке їх вмикання і вимикання.
- обмежуючі апарати призначені для обмеження токів короткого замикання (реактори) і перенапруги (розрядники). Режими к.з. і перенапруг є аварійними.
- пускорегулюючі апарати призначені для пуску, регулювання частоти обертання, напруги і струму електричних машин або інших споживачів енергії. До цієї групи відносяться контролери, командоконтролери, контактори, пускачі, резистори і реостати. Характерна риса - часті вмикання і відключення (3600 у час і більш).
- контролюючі апарати електричних або неелектричних параметрів (реле і датчики). Для реле характерно плавна зміна величини, що контролюється, яка викликає стрибкоподібну зміну вихідної величини. У датчиках плавна зміна вхідної величини перетворюється у плавну зміну (вимірювальні датчики) або стрибкоподібну (реле-датчики) вихідної величини.

- вимірюючі апарати. За допомогою кола первинної комутації (головного струму) ізолюють вимірювальне коло від нього, а величина, що вимірюється набуває стандартного значення (трансформатори струму, напруги, ємнісні дільники напруги).

- електричні регулятори. Призначені для регулювання заданого параметра за визначеним законом.

Розподіл апаратів за областю застосування умовне тому, що одні і ті ж апарати можуть бути віднесені до різних груп.

Класифікація апаратів у межах групи:

- а) за напругою - низького (до 1000 В включно) і високого (від 1000 В и вище);
- б) за родом струму - постійного, змінного промислової частоти і змінного підвищеної частоти;
- в) за родом захисту від навколишнього середовища - відкриті, захищені, брызгозахищені, водозахищені, герметичні, вибухонебезпечні й ін.;
- г) за засобом (принципу) дії - електромагнітні, магнітоелектричні, індукційні, теплового й інші;
- д) за інших факторами (швидкодія, засоби гасіння дуги й ін.).

1.3. Загальні вимоги до електричних апаратів:

1. При номінальному режимі роботи температура струмоведучих елементів апарата не повинна перевершувати значень, що рекомендуються ДСТУ. При к.з. термічні і динамічні навантаження в струмоведучих елементах не повинні порушувати працездатність апарата після його усунення.
2. Апарати, призначені для частого вмикання і відключення, повинні мати високу зносостійкість.
3. Контакти апаратів, що призначені для відключень струмів к.з. повинні бути розраховані на цей режим.
4. Ізоляція апаратів повинна витримувати перенапруги і мати запас, що враховує погіршення її властивостей з часом.
5. Апарати повинні мати специфічні вимоги, які обумовлені його застосуванням.
6. Апарати повинні мати високу надійність.
7. Маса, розміри, вартість і час, необхідний для його установки повинні бути мінімальними.

Апарати керування призначені для частих оперативних відключень і включень нормальних струмів навантаження. До них відносяться: контактори, пускачі, командоапарати, електромагнітні муфти, реле управління і тому подібне.

Основними конструктивними елементами апаратів управління є: обмотка; магнітопровід; контакти.

Апарати захисту призначені для захисту ланцюгів від аномальних режимів роботи (перевантажень, коротких замикань, перенапружень та ін.). До них відносяться автоматичні вимикачі, теплові і струмові реле, запобіжники і ін.

Основними конструктивними елементами захисних апаратів є: контакти; електромагніт або нагрівальний елемент, плавка вставка.

Питання для самоконтролю

1. Загальні поняття про електричний апарат їх призначення та класифікація.
2. Які вимоги ставляться до електричних апаратів?
3. Який принцип дії і конструкція контактора, електромагнітного пускача та теплового реле?
4. Який принцип дії і конструкція автоматичного вимикача?
5. Яка конструкція і принцип дії електромагнітних муфт?
6. Який принцип дії герконів?

2. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ І ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

Сучасний етап розвитку електротехніки характеризується переходом від традиційних механічних пристроїв до інтелектуальних систем. Основними драйверами змін є цифровізація, впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та підвищення вимог до енергоефективності.

1. Інтелектуалізація та Smart Grid (Розумні мережі)

Одним із головних напрямків є створення **Smart-апаратів**. Це пристрої, що мають вбудовані мікропроцесорні блоки для:

- **Самодіагностики:** апарат здатний оцінювати стан своїх контактів та механізмів, прогнозуючи потребу в технічному обслуговуванні (Maintenance 4.0).
- **Дистанційного моніторингу:** інтеграція в системи SCADA для управління мережею в реальному часі.
- **Адаптивного захисту:** автоматичне підлаштування уставок захисту залежно від зміни режиму роботи мережі.

2. Екологізація: відмова від елегазу

Елегаз десятиліттями був основним дугогасним середовищем у високовольтних апаратах завдяки своїм унікальним властивостям. Проте він є одним із найпотужніших парникових газів.

Перспективи розвитку:

- Перехід на вакуумні вимикачі для напруг 110 кВ і вище.
- Використання альтернативних газових сумішей (наприклад, на основі азоту, вуглекислого газу або інноваційних фторованих сумішей), які мають мінімальний вплив на глобальне потепління.

3. Напівпровідникові апарати

Застосування силової електроніки дозволяє створювати апарати без рухомих частин. **Напівпровідникові комутаційні апарати** (англ. semiconductor switching device) призначені для вмикання струму в електричних колах за допомогою керування провідністю напівпровідника. У напівпровідникових апаратах постійного струму, для комутації електричних кіл зазвичай, застосовують транзистори (найчастіше IGBT) або двоопераційні тиристори, а в апаратах змінного струму — тиристори різних типів та симістори.

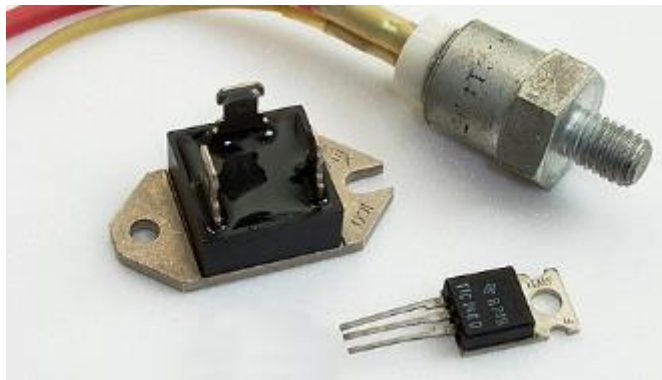


Рисунок 2.1 - Тиристори різних типів та симістори

Висока швидкодія напівпровідникових комутаційних апаратів змінного струму, є їх безумовною перевагою. Іншими перевагами цих апаратів, є відсутність будь-яких рухомих частин, а відтак і відсутність проблеми механічної витривалості, та відсутність електричної дуги при комутації електричних кіл, отже і відсутність створюваних дугою ефектів — теплового, світлового та звукового.

Поряд із зазначеними перевагами, напівпровідникові комутаційні апарати мають й суттєві недоліки:

відсутність функції роз'єднання. Функція роз'єднання в напівпровідникових комутаційних апаратах не може бути забезпечена, оскільки напівпровідникові прилади не гарантують відсутності струмів витоку та не витримують імпульсних перенапруг високого рівня; велике падіння напруги на комутаційному елементі. Пряме падіння напруги у напівпровідниковому комутаційному елементі є набагато більшим аніж у контактному елементі і становить 1 ... 3 В. Отже, за струму 100 А та падінні напруги 2 В, потужність

втрат енергії у цьому комутаційному елементі становитиме 200 Вт, а коефіцієнт корисної дії зменшиться до 99,09%. Таке збільшення втрат (у 50 разів більших, ніж у контактному елементі) має не тільки економічні наслідки, а й може призвести до неприпустимого нагрівання апарата. Щоб цього не сталося, до конструкції напівпровідникового комутаційного апарата вводять радіатори, вентилятори тощо, а це призводить:

- до збільшення габаритів апарата та його вартості;
- великі габарити і вартість;
- низька перевантажувальна здатність;
- чутливість до температури середовища;
- чутливість до перенапруг;
- схильність до процесу старіння;
- створення радіоперешкод.

У напівпровідникових комутаційних апаратах, зокрема у контакторах, не виникає електрична дуга, відтак вони мають суттєві переваги над електромеханічними апаратами при роботі у вибухонебезпечному середовищі.

Гібридні комутаційні апарати (англ. hybrid switching device) — це апарати, у головних колах яких, застосовуються як контактні елементи, так і напівпровідникові прилади. У ввімкненому стані, струм головного кола тече переважно через контактні елементи, а за вимикання, струм перетікає у паралельні контактам, гілки головного кола, де розташовані напівпровідникові комутаційні пристрої, які й здійснюють відмикання струму.

Таким чином, гібридні апарати у певній мірі поєднують переваги електромеханічних та напівпровідникових апаратів — малі втрати енергії у робочому стані, а також високу швидкодію та практичну відсутність електричного зносу контактів.

4. Апарати для систем постійного струму (DC)

Через розвиток сонячних електростанцій, систем накопичення енергії та зарядних станцій для електромобілів зростає потреба в апаратах постійного струму. Гасіння дуги в колах DC є значно складнішим завданням, ніж у AC, що стимулює розробку:

- Спеціалізованих автоматичних вимикачів зі швидким розведенням контактів.
- Електронних ключів на базі SiC (карбід кремнію) та GaN (нітрид галію).

5. Компактизація та модульність

Сучасні трансформаторні підстанції в містах вимагають мінімальної площі. Розвиток йде шляхом створення:

- Компактних комплектних розподільчих пристроїв (КРП).

- Багатофункціональних апаратів (наприклад, поєднання вимикача, роз'єднувача та трансформаторів струму в одному корпусі).

Перспективи застосування:

Розумні мережі (Smart Grid): Автоматичні вимикачі, роз'єднувачі та реле, здатні самостійно керувати потоками потужності, забезпечуючи високу надійність електропостачання.

Відновлювана енергетика: Апарати, адаптовані для роботи з вітровими та сонячними електростанціями, де критичною є функція швидкого перемикавання та захисту.

Електротранспорт: Високовольтні та низьковольтні апарати для електромобілів та зарядних станцій.

Промислова автоматизація: Виконавчі механізми та регулюючі органи, інтегровані в цифрові системи управління.

Основним завданням сучасного розвитку є підвищення надійності, довговічності та інтелектуальності електричних апаратів для стабільної роботи систем електропостачання.



Рисунок 2.2 - Малогабаритний контактор для монтажу на DIN рейку



Рисунок 2.3 - Магнітний пускач для запуску електропривода

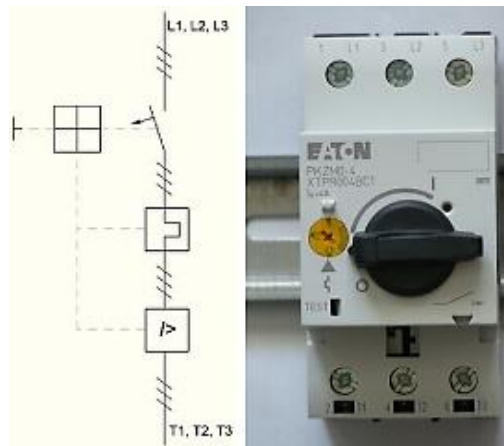


Рисунок 2.4 - Апарат захисту електродвигуна та його умовне позначення на електричних схема

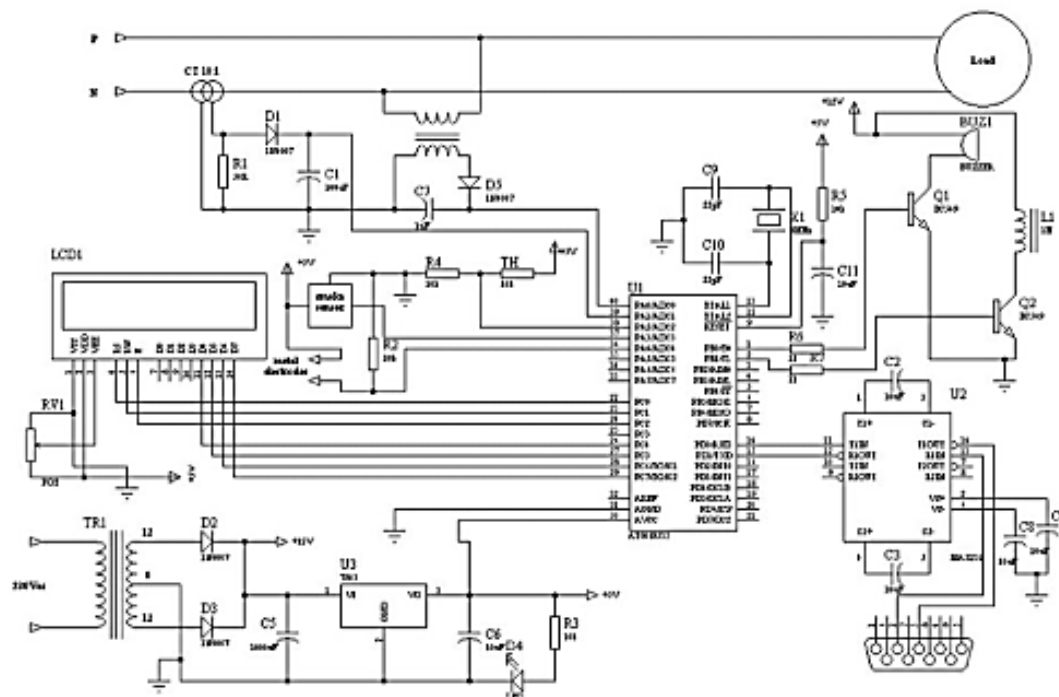


Рисунок 2.5 - Приклад електричної принципової схеми

Питання для самоконтролю:

1. Яку роль відіграє мікропроцесорне керування в сучасних електричних апаратах?
2. Чому світова енергетика намагається відмовитися від використання елегазу в вимикачах?
3. У чому полягає головна перевага гібридних комутаційних апаратів?
4. Які особливості гасіння дуги в апаратах постійного струму (\$DC\$) стимулюють нові конструктивні рішення?
5. Як впровадження концепції Smart Grid впливає на вимоги до надійності комутаційної апаратури?

3. ТЕМА УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРА ПОЛЮСУ КОМУТАЦІЙНОГО АПАРАТА

Узагальнена структура полюса комутаційного апарата (наприклад, автоматичного вимикача, контактора) є комплексом функціональних елементів, призначених для вмикання, вимикання та проведення струму.

Відповідно до класичної теорії електричних апаратів (зокрема, за підручниками Б.В. Клименка), полюс складається з таких основних елементів:

1. **Термінали (Виводи):** Елементи для підключення до зовнішніх провідників (шина, кабель).
2. **Струмopровідні частини (Струмopровідний контур):** Забезпечують проходження струму через полюс у ввімкненому стані.
3. **Контактна система (Основні контакти):** Рухомі та нерухомі контакти, що здійснюють безпосереднє замикання/розмикання електричного кола.
4. **Дугогасна система (Дугогасна камера):** Елементи, що забезпечують швидке гасіння електричної дуги, яка виникає при розмиканні контактів.
5. **Механізм приводу (внутрішній):** Передає зусилля від зовнішнього приводу або ручки на рухомі контакти.
6. **Актуатор (механізм вільного розчеплення - для автоматів):** Елемент, що забезпечує автоматичне вимикання незалежно від положення ручки керування.

Функціональне призначення конструкції:

Полюс спроектований так, щоб забезпечити надійний контакт при номінальному струмі, витримати електродинамічні зусилля при короткому замиканні та забезпечити ефективне гасіння дуги при вимиканні.

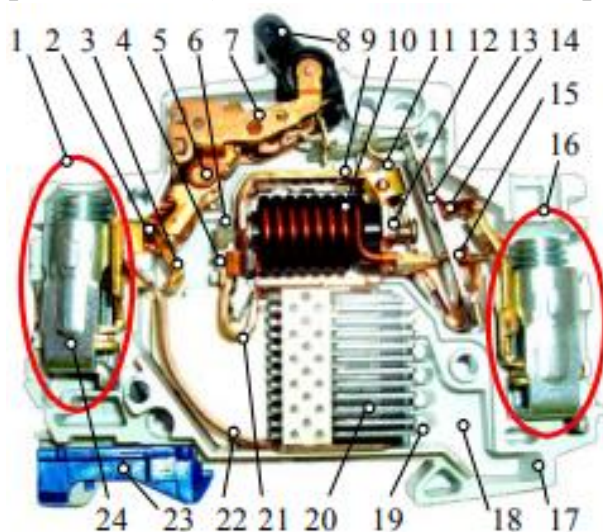
Відмикачі для побутових та аналогічних електроустановок

Розглянемо на прикладі відмикача для побутових та аналогічних електроустановок внутрішню побудову полюсу, вимоги до яких сформульовані у міжнародному стандарті ІЕС 60898-1, за призначенням, принципом дії та складовими частинами (корпус, термінали, струмopровідна система, головні контакти, актуатор, механізм вільного розчіплення, розчіплювачі) дуже близькі до відмикачів промислового призначення. Але, враховуючи, що ці апарати розташовуються на найнижчих рівнях систем розподілення електричної енергії (у розподільних щитках квартир, офісів, невеликих майстерень тощо), їх номінальний струм не перевищує 125 А. Крім того, вони повинні мати дуже високу швидкодію (їх час спрацьовування становить 3...5 мс), щоб попередити

спрацьовування інших апаратів захисту від коротких замикань (відмикачів й запобіжників), розташованих на вищих рівнях розподільних систем.

Ці апарати не призначені для захисту обладнання (електричних двигунів тощо), їх захисні характеристики пристосовані виключно для захисту електричних мереж (електропроводок) від перевантажень та коротких замикань.

Внутрішня будова полюсу відмикача побутового та аналогічного призначення (одна з можливих конструкцій) зображена на рис. 2.6.



На рисунку позначено: 1 – термінал; 2 – гнучка шина, що з’єднує рухомий контакт з терміналом; 3 – рухомий контакт; 4 – контактна накладка нерухомого контакту; 5 – вісь обертання рухомого контакту; 6 – молоточок, який здійснює ударний вплив на рухомий контакт при потужних коротких замиканнях; 7 – механізм вільного розчіплення; 8 – актуатор; 9 – ярмо електромагнітного

Рисунок 2.6 - Внутрішня побудова полюсу відмикача побутового та аналогічного призначення

розчіплювача; 10 – обмотка електромагнітного розчіплювача; 11 – важіль механізму вільного розчіплення, який сприймає вплив електромагнітного та біметалевого розчіплювачів; 12 – рухомий циліндричний сердечник електромагнітного розчіплювача; 13 – біметалевий розчіплювач; 14 – гнучка шина, що з’єднує біметалевий розчіплювач з терміналом; 15 – гвинт для калібрування біметалевого розчіплювача та вивід для випробувань; 16 – термінал; 17 – боковина пластмасового корпусу; 18 – полум’ягасна камера; 19 – полум’ягасні штирі; 20 – пластини дугогасної камери; 21 – дугогасний ріг з 23 – заціпка для монтування відмикача на спеціальну монтажну рейку або DIN рейку (DIN rail); 24 – стовпчиковий затискний пристрій терміналу подвійного приєднання.

Ручне керування контактами здійснюється актуатором, який впливає на контакти через механізм вільного розчіплення (МВР). Автоматичне відмикання здійснюється завдяки впливу розчіплювачів на МВР, а при потужних коротких

замиканнях електромагнітний розчіплювач здійснює ударний вплив на контакти, розмикаючи їх ще до моменту спрацювання МВР. Завдяки такій особливості конструкції (молоточковому ефекту – hammer effect) ці відмикачі мають високу здатність до відмикання коротких замикань, яка може перевищувати 10 кА.

Електромагнітний розчіплювач представляє собою мініатюрний електромагніт із заглибленим циліндричним якорем, до якого прикріплений шток з пластиковим молоточком на кінці, який спрямований до рухомого контакту (див. рис. 2.7). Ефективність молоточкового ефекту ілюструють фото, отримані методом швидкісної кінозйомки при відмиканні струму короткого замикання відмикачем S201 (STOTZ KONTAKT, ABB) й представлені на рис. 4.20. боку нерухомого контакту; 22 – дугогасний ріг з боку рухомого контакту;

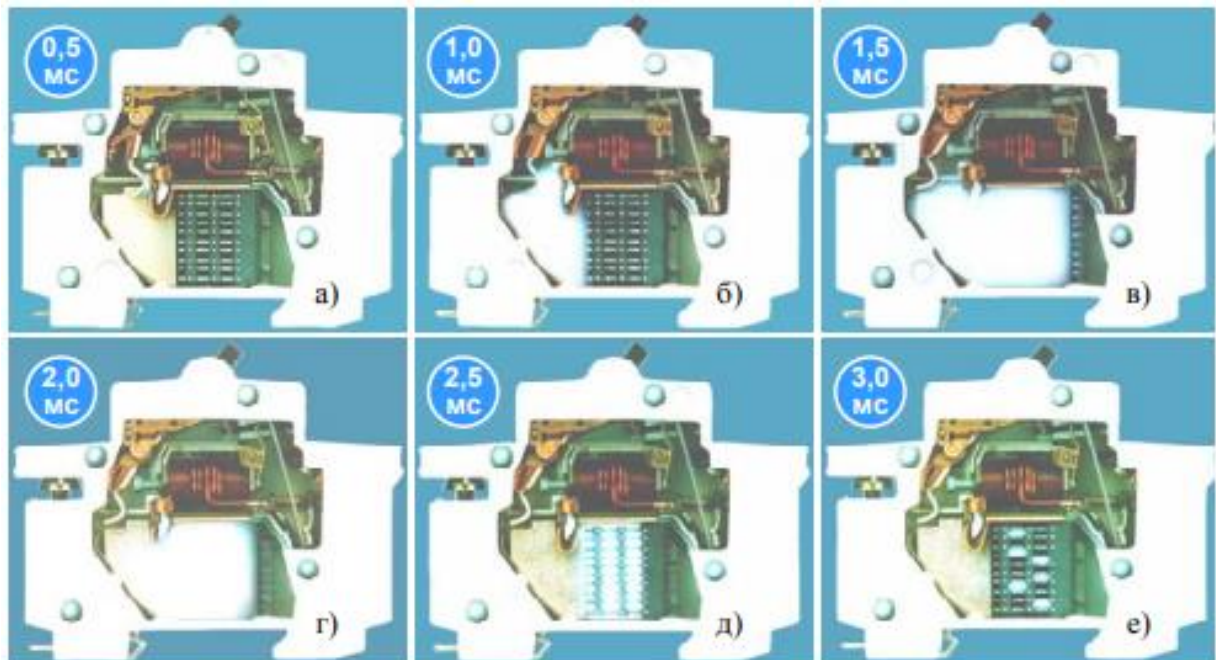
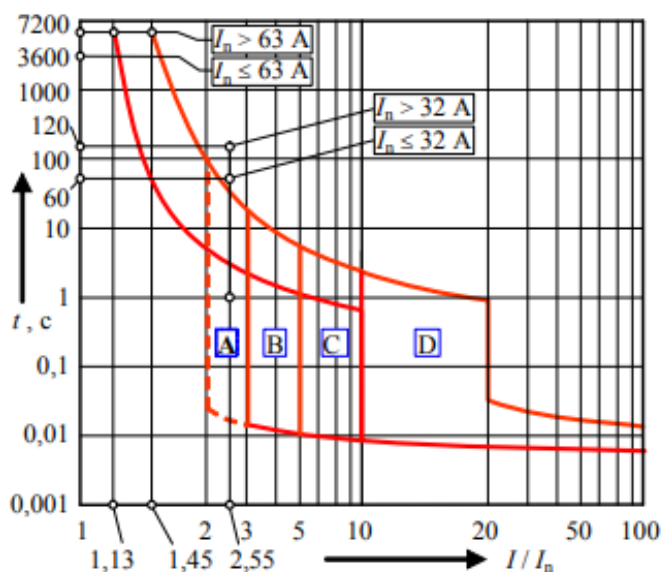


Рисунок 2.7 - Стадії відмикання струму короткого замикання відмикачем S201

Вже через 0,5 мс після початку короткого замикання (рис. 2.7-а) молоточок відштовхує рухомий контакт від нерухомого й між ними виникає коротка дуга, а ще через 0,5 мс (рис. 2.7-б) рухомий контакт відходить від нерухомого, дуга поступово розтягується, а коли контакти розходяться на повну відстань (рис. 2.7-в), дуга збігає з контактів на дугогасні роги, її опір швидко зростає, що створює умови для обмеження струму у колі. Приблизно через 1,5 мс після початку короткого замикання дуга розпочинає вхід в дугогасну камеру, простір між контактами та дугогасними рогами поступово деіонізується (рис. 2.7-г), а дуга локалізується в камері (рис. 2.7-д). Починаючи з цього моменту струм стрімко зменшується до нуля й приблизно через 3 мс

після початку короткого замикання дуга остаточно згасає (рис. 2.7-е). Показово, що, хоча вивільнення механізму вільного розчіплення відбулося приблизно через 1,5 мс після початку короткого замикання (це видно з рис. 2.7-в), від цього моменту й до моменту повного відмикання механізм не встиг повністю спрацювати, принаймні актуатор весь цей час лишався у положенні «відключено».

Часо-струмові характеристики відмикачів побутового та аналогічного призначення (рис. 2.8) за формою подібні до аналогічних характеристик



відмикачів промислового застосування, але існує декілька відмінностей, оскільки до відмикачів побутового призначення мають висуватися вимоги стандарту ІЕС 60898-1 (а не ІЕС 60947-2, як до відмикачів промислового застосування). Зокрема, для відмикачів побутового застосування, що працюють у колах змінного струму, стандарт ІЕС 60898-1 встановлює значення

Рисунок 2.8 - Часо-струмові характеристики відмикачів побутового застосування

умовного струму нерозчіплення I_{nt} та умовного струму розчіплення I_t не тільки для зони перевантажень, а й для зони коротких замикань. Для зони перевантажень (інакше кажучи, для біметалевого розчіплювача) ці значення становлять відповідно $1,13 \cdot I_n$ та $1,45 \cdot I_n$ (I_n – номінальний струм), а для зони коротких замикань (для електромагнітного розчіплювача) стандарт встановлює три види характеристик – В ($I_{nt} = 3 \cdot I_n$, $I_t = 5 \cdot I_n$), С ($I_{nt} = 5 \cdot I_n$, $I_t = 10 \cdot I_n$) та D ($I_{nt} = 10 \cdot I_n$, $I_t = 20 \cdot I_n$). Умовний час для зони перевантажень становить одну годину при $I_n \leq 63$ А та дві години при $I_n > 63$ А. Умовний час (conventional time) для зони коротких замикань становить 0,1 с.

Для відмикачів, що працюють у колах постійного струму, стандарт ІЕС 60898-2 встановлює для зони перевантажень лише два види характеристик – В ($I_{nt} = 4 \cdot I_n$, $I_t = 7 \cdot I_n$) та С ($I_{nt} = 7 \cdot I_n$, $I_t = 15 \cdot I_n$). Відмикачі з характеристикою В рекомендуються для застосування у розподільних пристроях житлових приміщень, відмикачі з характеристикою С – для офісів та невеликих майстерень з малопотужними електродвигунами, а відмикачі з

характеристикою D – для майстерень з декількома електродвигунами. Деякі виробники (хоча це і не передбачено стандартом) пропонують відмикачі з характеристикою A ($I_{nt} = 2 \cdot I_n$, $I_t = 3 \cdot I_n$) – для захисту напівпровідникових пристроїв (випростувачів, інверторів тощо).

Своє основне призначення – захист електричних мереж від надструмів – відмикачі побутового призначення виконуватимуть, якщо їх номінативні струми узгоджені з поперечним перетином мідних або алюмінієвих провідників електропроводки згідно з табл. 2.1, яка запозичена зі стандарту ІЕС 60898-1.

Таблиця 2.1. Узгодження поперечного перетину проводів з номінативним струмом відмикача

S, мм ²	I _n , А	
	мідні провідники	алюмінієві провідники
1,0	$I_n \leq 6$	–
1,5	$6 < I_n \leq 13$	$I_n \leq 6$
2,5	$13 < I_n \leq 20$	$6 < I_n \leq 13$
4	$20 < I_n \leq 25$	$13 < I_n \leq 20$
6	$25 < I_n \leq 32$	$20 < I_n \leq 25$
10	$32 < I_n \leq 50$	$25 < I_n \leq 32$
16	$50 < I_n \leq 63$	$32 < I_n \leq 50$
25	$63 < I_n \leq 80$	$50 < I_n \leq 63$
35	$80 < I_n \leq 100$	$63 < I_n \leq 80$
50	$100 < I_n \leq 125$	$80 < I_n \leq 100$
70	–	$100 < I_n \leq 125$

Ця таблиця складена з певним запасом, але треба враховувати, що виробник не гарантує здійснення захисту мережі поза межами даних цієї таблиці. Наприклад, якщо електропроводка виконана алюмінієвим проводом з перетином

2,5 мм², то відмикач з номінативним струмом 16 А не зобов'язаний забезпечувати захист такої електропроводки – для її захисту необхідно обрати відмикач з номінативним струмом не більше 13 А. Якщо ж для захисту

такої електропроводки застосувати відмикач з номінативним струмом, наприклад, 4 А, то він буде її захищати, але й буде спрацьовувати при струмах, які є цілком безпечними для цієї електропроводки. Зокрема, такий відмикач не дасть скип'ятити воду в електричному чайнику з робочим струмом 10 А.

Відмикачі побутового призначення (в англomовній технічній літературі їх позначають аббревіатурою MCB – miniature circuit-breaker) зазвичай мають модульну побудову – модульні багатополюсні відмикачі складаються з однакових однополюсних модулів (рис. 2.9-а), кожен з яких може бути однополюсним відмикачем. Отже, триполюсний модульний відмикач (рис. 2.9-б) – це три механічно з'єднаних однополюсних модулі. Аналогічну побудову мають двополюсні та чотириполюсні модульні відмикачі. Крок модуля становить 18 мм, а ширина однополюсного відмикача – приблизно 17,5 мм. Корпус однополюсного модуля, який виготовляється з термопластичного матеріалу, що не підтримує горіння, складається з двох боковин, на одній з яких монтуються основні елементи відмикача. MCB зазвичай призначені для монтування на DIN рейку типу TH35. Профільна проекція MCB на DIN рейці з характерними розмірами зображена на рис. 2.22-в.

Для відмикачів побутового призначення випускається додаткове оснащення – допоміжні контакти (рис. 2.22-г), незалежний (шунтовий) розчіплювач, розчіплювач зниження напруги (рис. 2.22-д), а також електродвигуновий привід, який дозволяє дистанційно керувати (вмикати та вимикати) відмикачем. Модуль допоміжних контактів (приблизно у два рази тонший за полюс відмикача) має один або два перемикальні контакти. Якщо модуль має один перемикальний контакт, його термінали мають позначення 95, 96 та 98, а якщо два перемикальні контакти, то термінали другого контакту мають позначення 05, 06 та 08. Модулі розчіплювачів мають товщину полюсу, а модуль приводу – три товщини полюсу. Усі допоміжні модулі механічно приєднуються до відмикача збоку – зліва або справа.

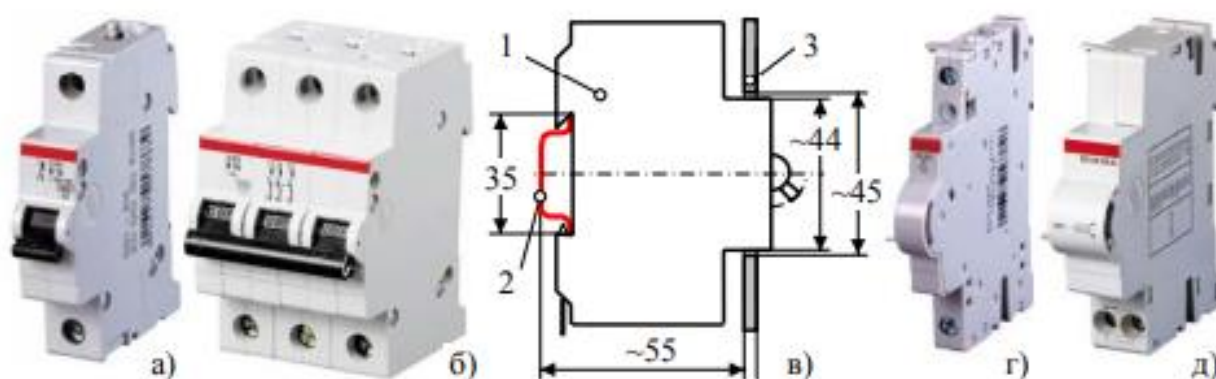


Рисунок 2.9 - Модульні відмикачі побутового призначення: а – однополюсний; б – триполюсний; в – профільна проекція (1 – відмикач; 2 – DIN рейка; 3 – фальш-панель щитка розподільного пристрою); г – модуль допоміжних контактів; д – модуль розчіплювача зниження напруги

Допоміжні контакти зазвичай застосовуються у засобах сигналізації та автоматизації й мають різні конструктивні виконання. Зокрема, у так званому Н-контакті (Homothetic – подібний, в російськомовній термінології – «свободный контакт») стан замикального допоміжного контакту є подібним до стану головного контакту – коли головний контакт є замкненим, також замкненим є й замикальний Н-контакт, а коли головний контакт є розімкненим, такий самий стан має й замикальний допоміжний контакт, незалежно від того, як відбулося розмикання головних контактів відмикача – автоматично чи вручну. Сигнальні контакти або S-контакти (Signal) є замкненими при замкнених головних контактах, не розмикаються, якщо розмикання головних контактів було здійснено вручну, й розмикаються, якщо розмикання головних контактів відбулося автоматично (внаслідок вивільнення механізму вільного розчіплення). Контакти типу SH мають механічний перемикач, який дозволяє перетворити Н-контакт на S-контакт та навпаки. На поверхні корпусу модуля допоміжних контактів поруч з актуатором може розташовуватися кнопка «Test»

або кнопка «Test-Reset». Ці кнопки застосовуються при налагодженні або при перевірці функціонування системи автоматизації або контролю. Кнопки «Test» або «Test-Reset» при переведенні їх в положення «Test» дозволяють короткочасно змінити стан сигнального контакту, коли головні контакти є замкненими, а кнопка «Test-Reset» при переведенні її в положення «Reset» дозволяє змінити стан сигнального контакту після автоматичного спрацьовування відмикача, не вмикаючи його. Діаграми комутацій деяких різновидів допоміжних контактів.

Розмаїття допоміжних контактів відмикачів побутового застосування не вичерпується різновидами. Зокрема, деякі виробники пропонують модулі допоміжних контактів, що приєднуються до відмикачів знизу, не збільшуючи, таким чином, горизонтальний розмір апарата (вздовж DIN-рейки). Щоправда, такі модулі містять лише один замикальний контакт або один розмикальний контакт та не мають засобів тестування систем автоматики та сигналізації.

Не слід ототожнювати автоматичні відмикачі побутового застосування та модульні відмикачі, адже деякі компанії виробляють у модульному виконанні не тільки відмикачі, призначені для побутового застосування, а й відмикачі для промислового застосування у відповідності до вимог стандарту IEC 60947-2. Деякі компанії виробляють універсальні мініатюрні автоматичні відмикачі, які одночасно задовольняють вимогам стандартів IEC 60898-1 та IEC 60947-2.

Питання для самоконтролю

1. Які основні функціональні вузли входять до узагальненої структури полюсу комутаційного апарата?
2. Яке головне призначення дугогасних контактів та чому вони комутують коло раніше, а розмикають пізніше за головні контакти?
3. За рахунок яких чинників дугогасна камера забезпечує швидке деіонізуюче середовище для гасіння електричної дуги?
4. Яку роль відіграють контактні пружини у механічному приводному вузлі полюсу?
5. Чим обумовлений вибір ізоляційного середовища (вакуум, елегаз, повітря) для конструкції полюсу апаратів високої напруги?
6. Які наслідки для апарата матиме порушення цілісності міжфазних перегородок або опорних ізоляторів всередині полюсу?

4. ТЕМА СТРУМООБМЕЖЕННЯ ТА ІНТЕГРАЛ ДЖОУЛЯ

Цей розділ присвячений захисним властивостям комутаційних апаратів (запобіжників та автоматичних вимикачів) в режимах короткого замикання (КЗ).

1. Явище струмообмеження

Струмообмеження — це здатність комутаційного апарата вимикати струм короткого замикання до моменту, коли він досягне свого максимального ударного (очікуваного) значення.

Основні положення:

- Очікуваний струм КЗ (I_{occ}): Струм, який протікав би у колі, якби захисний апарат був замінений провідником з нульовим опором.
- Обмежений струм КЗ (I_{max}): Максимальне миттєве значення струму, яке реально протікає в колі під час спрацьовування апарата.
- Ефект струмообмеження: Досягається за рахунок стрімкого введення в коло опору електричної дуги (в автоматі) або плавлення плавкої вставки (в запобіжнику).
- Результат: Знижуються термічні та електродинамічні навантаження на електроустановку.

2. Інтеграл Джоуля (Тепловий імпульс)

Інтеграл Джоуля (Джоулів інтеграл, $I^2 t$) — це величина, яка характеризує теплову дію струму короткого замикання на елементи електричного кола за час вимкнення.

Математичний вираз має такий вигляд:

$$A = \int_0^{t_{off}} i^2(t) dt$$

де: $i(t)$ — миттєве значення струму КЗ в процесі вимкнення, А.

t_{off} — повний час вимкнення кола (сума часу до виникнення дуги та часу горіння дуги), с.

Розмірність: $A^2 \text{ с}$ (Ампер-квадрат-секунда).

Розглянемо фізичні властивості:

Кількість теплоти Q , що виділяється в активному опорі провідника R , дорівнює:

$$Q = R \cdot \int_0^{t_{off}} i^2(t) dt = R \cdot (I^2 t)$$

Оскільки опір мережі R під час аварії вважається умовно постійним, саме інтеграл $I^2 t$ визначає аварійне нагрівання кабелів, шин та апаратів.

3. Складові повного часу вимкнення струму КЗ

Повний інтеграл Джоуля апарата складається з двох частин:

1. Переддуговий інтеграл ($I^2 t_{pre}$): Енергія, необхідна для початку розходження контактів або плавлення вставки. Залежить тільки від величини струму КЗ.

2. Дуговий інтеграл ($I^2 t_{arc}$): Енергія, яка виділяється під час горіння електричної дуги до її повного згасання. Залежить від конструкції дугогасної системи.

$$I^2 t_{total} = I^2 t_{pre} + I^2 t_{arc}$$

4. Практичне значення для інженерних розрахунків

У курсі "Електричні апарати" інтеграл Джоуля використовується для вирішення трьох головних інженерних рішень:

Перевірка кабелів на термічну стійкість:

Переріз провідника вважається стійким до КЗ, якщо виконується умова:

$$I^2 t_{apparatus} \leq (k \cdot S)^2$$

де S — переріз жили (мм^2), k — коефіцієнт термостійкості матеріалу (для міді з ПВХ ізоляцією карпрох $k \approx 115$).

Забезпечення селективності захисту:

При послідовному увімкненні двох апаратів (наприклад, двох запобіжників), нижчестоящий апарат повинен повністю вимкнути КЗ раніше, ніж пошкодиться вищестоящий:

$$I^2 t_{total.lower} < I^2 t_{pre.upper}$$

Оцінка зносу контактів:

Величина дугового інтеграла прямо пропорційна об'єму розплавленого та випаруваного металу робочих контактів апарата.

Розглянемо детально приклад розрахунку термічної стійкості кабелю за інтегралом Джоуля. Вважаємо, що за умовою завдання кабель захищено автоматичним вимикачем зі здатністю до струмообмеження.

Постановка задачі.

Необхідно перевірити на термічну стійкість мідний кабель живлення з ПВХ ізоляцією перерізом $S=2,5 \text{ мм}^2$ у мережі. Очікуваний діючий струм трифазного короткого замикання (КЗ) у точці встановлення становить $I_{occ}=4000 \text{ А}$ (4 кА). Захист лінії здійснює автоматичний вимикач, який згідно зі своєю заводською документацією за такого струму КЗ забезпечує обмеження теплового імпульсу на рівні $I^2 t_{apparatus} = 45000 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$.

Розрахункова формула:

Перевірка термічної стійкості провідників виконується за граничною нерівністю:

$$I^2 t_{apparatus} \leq (k \cdot S)^2$$

Де складові формули означають наступне:

$I^2 t_{apparatus}$ — пропущений інтеграл Джоуля (тепловий імпульс) автоматичного вимикача, $\text{А}^2 \cdot \text{с}$. Це реальна тепла енергія, яку апарат пропускає в лінію за повний час від початку аварії до гасіння дуги.

S — площа поперечного перерізу жили кабелю, мм^2 .

k — коефіцієнт термічної стійкості матеріалу жили, $\text{А} \cdot \text{с}^{0.5} / \text{мм}^2$.

Він враховує питомий опір, теплоємність, температурний коефіцієнт опору металу та гранично допустиму температуру нагрівання ізоляції під час КЗ.

Значення коефіцієнта k для поширених типів кабелів (згідно зі стандартами ІЕС 60364-5-54):

- Мідні жили з ПВХ (PVC) ізоляцією: $k = 115$
- Мідні жили з ізоляцією зі зшитого поліетилену (XLPE): $k = 143$
- Алюмінієві жили з ПВХ (PVC) ізоляцією: $k = 76$
- Алюмінієві жили з ізоляцією зі зшитого поліетилену (XLPE): $k = 94$.

Покрокове рішення

1. Обчислення допустимого інтеграла Джоуля для кабелю

Розрахуємо максимальну теплову енергію $(I^2t)_{cable}$, яку здатний витримати кабель без руйнування ізоляції. Оскільки кабель мідний із ПВХ ізоляцією, беремо : $k = 115$.

$$(I^2t)_{cable} = (k \cdot S)^2 = (115 \cdot 2.5)^2$$

$$(I^2t)_{cable} = (287.5)^2 = 82656.25 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$$

2. Перевірка умови термічної стійкості

Порівнюємо енергію, що виділяється апаратом захисту, із допустимою енергією кабелю:

$$I^2t_{apparatus} \leq (I^2t)_{cable}$$

$$45000 \text{ A}^2 \cdot \text{с} \leq 82656.25 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$$

Графік процесу струмообмеження

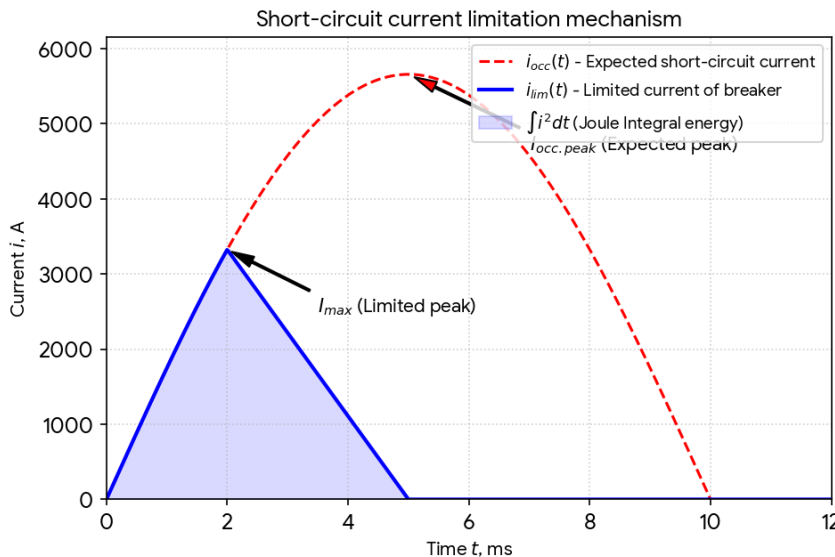


Рисунок 4.1 – Графік процесу струмообмеження

На графіку пунктирною лінією показано синусоїду очікуваного струму КЗ, якою б вона була без захисного апарата. Суцільна синя лінія показує реальний обмежений струм — автомат розмикає контакти на зльоті струму, створює дугу великого опору і гасить аварію за лічені мілісекунди. Заштрихована область під синім графіком (у квадратичній залежності від струму) і формує значення пропущеного інтеграла Джоуля.

Висновок

Умова термічної стійкості **виконується** ($45000 \leq 82656,25$). Обраний мідний кабель перерізом $2,5 \text{ мм}^2$ повністю захищений цим автоматичним вимикачем: його ізоляція не розплавиться і не пошкодиться під час аварійного вимкнення короткого замикання силою 4 кА .

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення поняттю «струмообмеження». Яким чином воно впливає на амплітуду очікуваного струму короткого замикання?
2. Що характеризує інтеграл Джоуля ($I^2 \cdot t$) з фізичної точки зору і в яких одиницях він вимірюється?
3. З яких двох часових складових складається повний інтеграл Джоуля під час вимкнення аварійного режиму комутаційним апаратом?
4. Як пов'язані між собою ефективність дугогасної системи апарата та величина дугового інтеграла Джоуля ($I^2 \cdot t_{arc}$)?
5. За якою математичною умовою перевіряють кабелі та провідники на термічну стійкість до струмів короткого замикання?
6. Сформулюйте умову забезпечення селективності захисту для двох послідовно увімкнених апаратів за допомогою характеристик інтеграла Джоуля.

5 ТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОВІДНОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЗАЗОРІВ

У магнітних колах електричних апаратів (контакторів, реле, автоматичних вимикачів) основний опір магнітному потоку чинить повітряний зазор. Розрахунок магнітної провідності цих зазорів є базовим етапом проектування будь-якої електромагнітної системи.

1. Фізична сутність проблеми та класифікація зазорів

Розрахунок зазорів ускладнюється явищем **опуклості (випучування) магнітного потоку**. Магнітні лінії не йдуть строго паралельно від одного полюса до іншого, а викривляються у просторі, створюючи потоки розсіювання.

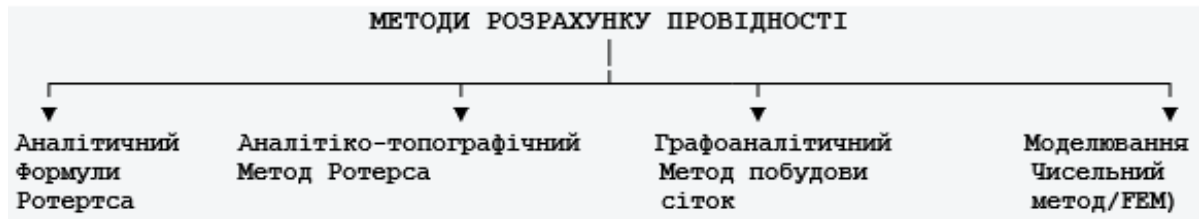
Залежно від геометрії, зазори поділяють на два типи:

- **Малі (робочі) зазори:** Товщина зазору δ значно менша за лінійні розміри полюсів (b і h). Потік викривляється мінімально.

- **Великі зазори:** Товщина зазору співрозмірна або більша за розміри полюсів (характерно для розімкненого стану апарата). Потік розсіювання охоплює великий об'єм повітря.

2. Основні методи визначення магнітної провідності

У практиці інженерних розрахунків електричних апаратів використовують чотири класичні методи:



2.1. Метод аналітичних формул (для малих зазорів)

Застосовується, коли викривленням ліній можна знехтувати, або воно враховується умовним збільшенням площі полюса.

- **Базова формула без урахування випучування:**

$$\Lambda_{\delta} = \mu_0 \cdot \frac{S}{\delta}$$

- **Формула Ротертса (з урахуванням випучування для прямокутного полюса):**

$$\Lambda_{\delta} = \mu_0 \cdot \frac{(b + \delta) \cdot (h + \delta)}{\delta}$$

де: λ_{δ} — магнітна провідність зазору, Гн (Вб/А);

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнітна стала;

S — геометрична площа торця полюса, м²;

δ — товщина повітряного зазору, м;

b, h — ширина та висота прямокутного полюса, м.

2.2. Аналітико-топографічний метод (Метод Ротерса)

Застосовується для зазорів складної форми. Складне магнітне поле у зазорі штучно розбивають на кілька простіших геометричних об'ємів (елементарних тіл): куби, призми, циліндри, порожнисті циліндри, сферичні сектори.

- Провідність кожного елементарного тіла розраховується за окремими інтегральними формулами.
- **Повна провідність зазору** визначається як сума провідностей паралельних каналів поля:

$$\Lambda_{\Sigma} = \Lambda_1 + \Lambda_2 + \dots + \Lambda_n$$

2.3. Графоаналітичний метод (Метод ортогональних сіток)

Застосовується для плоскопаралельних полів складної конфігурації.

- У зазорі від руки або за допомогою шаблонів будується сітка магнітних ліній (ліній індукції) та екіпотенціальних ліній (ліній магнітного потенціалу).
- Головна умова побудови — лінії повинні перетинатися строго під кутом 90° , утворюючи криволінійні «квадрати».
- **Формула розрахунку:**

$$\Lambda = \mu_0 \cdot \frac{m}{n} \cdot l$$

де: m — кількість паралельних каналів магнітного потоку;

n — кількість зазорів (поділів) вздовж однієї лінії магнітного потенціалу;

l — довжина полюса перпендикулярно до площини креслення, м.

2.4. Чисельні методи (сучасний підхід)

Реалізується на ПК за допомогою програмного забезпечення (наприклад, ANSYS Maxwell, COMSOL, FEMM). Базується на **методі скінченних елементів (FEM)**, де простір зазору розбивається на мільйони дрібних трикутників або тетраедрів, для кожного з яких комп'ютер вирішує рівняння Максвелла. Забезпечує точність до 99%.

3. Графічне представлення структури поля в зазорі

Нижче наведено графік розподілу магнітного поля у повітряному зазорі між двома плоскими сталевими полюсами, який демонструє ефект випучування магнітних ліній на краях.

Примітка Розрахунок провідності повітряного зазору — це основа визначення тягової характеристики електромагніту. Точність розрахунку

провідності на пряму впливає на правильність визначення сили притягання якоря до полюса за формулою Максвелла:

$$F = \frac{1}{2} \Phi^2 \frac{d\Lambda}{d\delta}$$

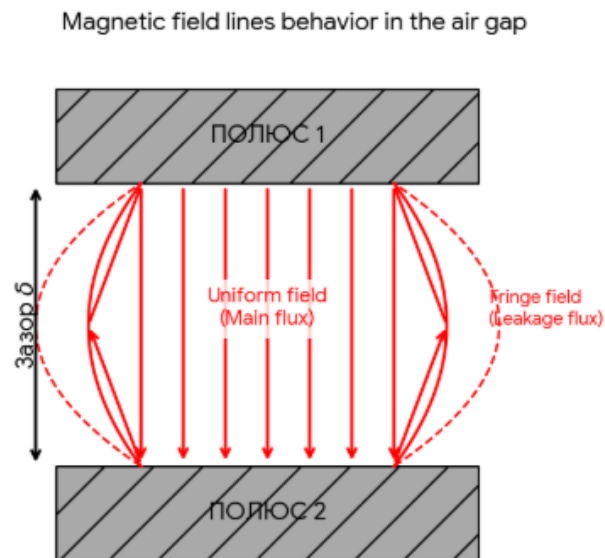


Рисунок 5.2 - графік розподілу магнітного поля у повітряному зазорі між двома плоскими сталевими полюсами

Питання для самоконтролю

1. Чому не можна нехтувати явищем випучування (опуклості) магнітного поля при розрахунку великих повітряних зазорів?
2. Яка фізична величина називається магнітною сталою, яке її чисельне значення та розмірність в системі СІ?
3. За якої геометричної умови для розрахунку провідності зазору можна використовувати спрощену аналітичну формулу Ротертса?
4. У чому полягає суть методу Ротерса (аналітико-топографічного) розбиття поля на елементарні тіла?
5. Які дві умови є обов'язковими при побудові графічної сітки ліній індукції та потенціалу в графоаналітичному методі?
6. Які переваги та недоліки використання комп'ютерного моделювання методом скінченних елементів (FEM) у порівнянні з аналітичними розрахунками?

6. ТЕМА ГАСІННЯ ДУГИ ПРИ ЗМІННОМУ СТРУМІ. УМОВА ГАСІННЯ ДУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

Якщо для гасіння дуги постійного струму необхідно створити такі умови, при яких струм знизився би до нуля, то при змінному струмі за кожний півперіод струм у дузі переходить через нуль, тобто за кожний півперіод дуга гасне і загорається знову. Тому в апаратах змінного струму необхідно утворити умови, при яких струм не відновиться знову після його переходу через нуль.

У процесі вимикання електричного ланцюга міжконтактний проміжок апарата перетворюється із провідника електричного струму в діелектрик. Коли контакти замкнено і по них проходить струм, опір їх малий, а електрична міцність проміжку дорівнює нулю. Коли апарат погасить дугу або іскру і розсіється залишковий стовп іонізованих газів, електричний опір проміжку буде майже нескінченний.

У процесі вимикання ланцюга електрична міцність міжконтактного проміжку, яка називається міцністю, що відновлюється, підвищується практично від нуля до пробивної напруги утвореного ізоляційного шару.

Для прикладу розглянемо активний ланцюг змінного струму.

Нехай контакти апарата розійшлися в точці a . Між ними загорається дуга. Наприкінці півперіоду через зменшення струму і дії дугогасного пристрою збільшується опір дугового проміжку і падіння напруги на дузі. При підході струму до нуля до дуги підводиться мала потужність, температура її зменшується, що

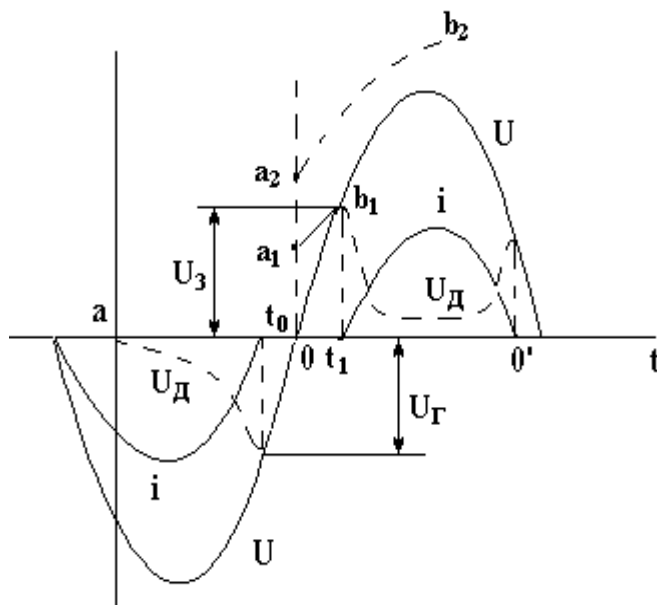


Рис. 6.1 – Графік активного ланцюга змінного струму

призводить до згасання дуги. Струм обривається до свого природного переходу через нуль. Напруга, при якій дуга гасне, називається напругою гасіння.

Після гасіння дуги опір проміжку різко збільшується і електрична міцність також збільшується, але не з нуля, а із значення початкової міцності проміжку (a_1 або a_2).

Початкова міцність проміжку пов'язана з майже миттєвим відновленням міцності білякатодного шару після гасіння дуги. Також початкова міцність і подальший ріст міцності залежать від властивостей дугогасного пристрою. Чим дугогасний пристрій ефективніший, тим більша початкова міцність і стрімкіше йде наростання міцності, що відновлюється.

Після проходження напруги через нуль напруга джерела змінює знак і починає рости — відновлюватися за синусоїдальним законом.

Процес зміни напруги на проміжку після проходження струму через нуль називається відновленням напруги. Миттєве значення напруги на контактах називається напругою, що відновлюється. Ця напруга намагається пробити міжконтактний проміжок, який у цей час відновлює свою електричну міцність.

Якщо в будь-який момент часу після згасання дуги крива росту електричної міцності йде вище від кривої напруги, що відновлюється, то дуга гасне остаточно. Якщо криві перетинаються, то дуга загориться знову.

У промисловій мережі змінного струму струм запізнюється відносно напруги при короткому замиканні на 90° . Процес відновлення напруги на дуговому проміжку може відбуватись аперіодично чи коливально.

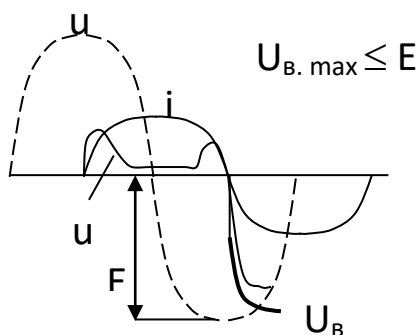


Рис.. 6.2 - Аперіодичний процес відновлення напруги на проміжку

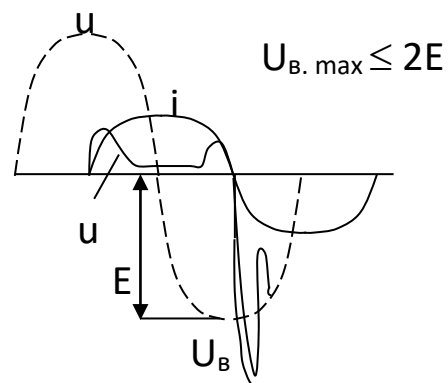
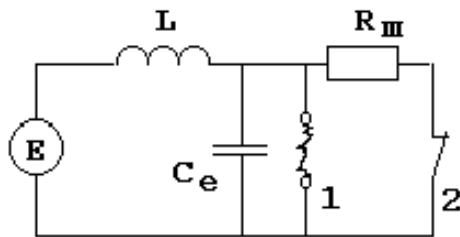


Рис. 6.3 - Коливальний процес відновлення напруги на проміжку

Під час гасіння дуги змінного струму одним із вирішальних факторів є швидкість наростання напруги, що відновлюється. Чим вища швидкість U_e , тим швидше має наростати електрична міцність проміжка. Інакше тривалість горіння дуги збільшиться чи апарат взагалі не зможе вимкнути струм.

Для зниження швидкості відновлення U_b на міжконтактному проміжку використовують шунти.



При розмиканні першого розриву, струм піде через $R_{\emptyset}$. При цьому коливальний процес відновлення напруги перейде в аперіодичний при

$$R_{\emptyset} < \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C_e}}$$

Способи гасіння електричної дуги

Для того, щоб електрична дуга погасла, необхідно створити умови, при яких

$$U_d = U_e + E_d L_d > U - iR.$$

Звідси виходить, що для гасіння необхідно :

- 1) збільшувати довжину дуги;
- 2) впливати на ствол дуги, домагаючись збільшення поздовжнього градієнта напруги E_d ,
- 3) використовувати біякатодне падіння напруги.

Механічний розтяг дуги застосовується при невеликих струмах і напругах. Критична довжина дуги

$$L_{д.кр.} > \frac{U - iR - U_e}{E_d}.$$

Час гасіння дуги

$$t_r = \frac{L_{д.кр.}}{V_0},$$

де V_0 — швидкість розходження контактів.

Для зменшення t_r можна збільшити V_0 .

Але чим вища швидкість розходження контактів, тим потужніші вимикаючі пружини повинен мати апарат і, відповідно, потужні магнітні системи (нездійснені) .

Наприклад : при $I = 600 \text{ А}$; $U = 220 \text{ В}$; критична довжина дуги $L_{\text{д.кр}} = 25 \text{ см}$.

Гасіння дуги в магнітному полі та в поздовжніх щілинах.

Головним іонізуючим фактором, який підтримує горіння дуги, є термічна іонізація. З цього випливає, що гасіння дуги необхідно здійснювати в основному за рахунок її охолодження.

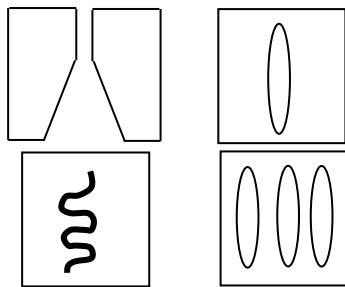


Рис. 6.4 - Дугогасні щілини

Електрична дуга є газоподібним провідником струму. Під час дії магнітного поля на дугу, вона буде розтягуватися і пересуватися відносно нерухомого повітря. З метою створення більш ефективного охолодження дуга за допомогою магнітного поля втягується у вузьку щілину між стінками з дугостійкого матеріалу з високою теплопровідністю.

Гасіння дуги в дугогасній деіонній ґратці.

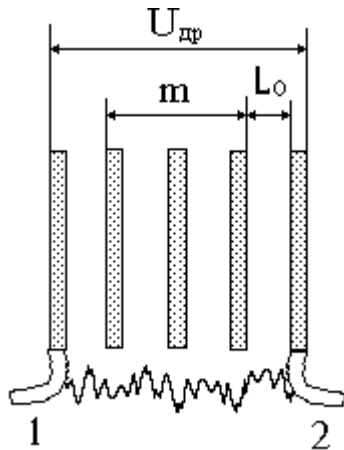


Рис. 6.5 – Дугогасна деіонна ґратка

Над контактами 1 і 2 апарата встановлюються нерухомі, ізольовані одна від одної, металеві пластини, що створюють дугогасну. Дуга затягується у ґратку, де роз'єднується на низку коротких дуг, які з'єднані послідовно з пластинами ґратки. Біля кожної пластини виникає біляелектродне падіння напруги. Гасіння дуги відбувається за рахунок суми біляелектродних падінь напруг.

Напруга дуги ґратки

$$U_{\text{д.гр}} = U_{\text{е}}(m + 1) + E_{\text{д}}L_{\text{д}},$$

де m — кількість пластин.

Напруга на відкритій дузі

$$U_{д.в} = U_e + E_d L_d;$$

тоді

$$U_{д.гр} = U_e m + U_{д.в}.$$

Дугогасна гратка має найбільш ефективна на змінному струмі. Якщо $U_{пр0}$ (напруга пробою) — мінімальна напруга, яка необхідна для пробою білякатодного шару після проходження струму через нуль, а дугогасна гратка має n катодів, то при умові, що $U_{пр0}n > U_{вmax}$ дуга не загориться.

Дугогасна гратка дозволяє гасити дугу в обмеженому об'ємі при незначному світловому та звуковому ефектах, тому вона широко використовується в дугогасних пристроях контакторів і вимикачів (особливо на змінній напрузі).

Гасіння дуги під високим тиском

Провідність дугового проміжку залежить від ступеня іонізації α газу. При постійній температурі ступінь іонізації зменшується із ростом тиску P :

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{P}}.$$

Гасіння дуги за допомогою великого тиску в невеликих герметичних камерах за рахунок енергії, що виділяється при горінні дуги, широко використовується в запобіжниках та інших апаратах. Уся енергія горіння дуги віддається газу в обмеженому об'ємі, що робить ці апарати безпечними у пожежному відношенні.

Гасіння дуги у вакуумі

Високо розріджений газ (10^{-2} - 10^{-4} н/м³) має електричну міцність у десятки разів більшу ніж при атмосферному тиску. Якщо контакти розмикаються у вакуумі, то після першого переходу струму через нуль. проміжок миттєво набуває високу електричну міцність і дуга не

загорається знову. Ці властивості використовують у вакуумних вимикачах.

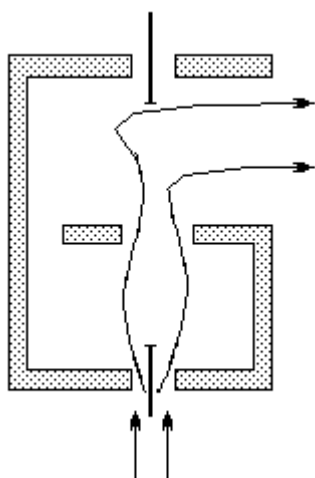
Електричні апарати з вакуумними дугогасними камерами, які використовуються для комутації великих змінних струмів, надійно працюють, мають невеликі маси та габарити, відсутня необхідність експлуатаційного догляду за контактним вузлом. Все це призводить до швидкого упровадження цього виду апаратів як у загальнопромислові енергооб'єкти, так і у електроустановки автономних об'єктів.

Так, за даними фірми “Siemens” від загальної кількості виготовлених у світі вимикачів на напругу від 3,6 до 36 кВ вже у 1990 році на вакуумні вимикачі приходилося 70%, на масляні — 10% та на електромагнітні — 5%.

Незначна енергія дуги (внаслідок невеликої напруги на дузі, короткої її довжини та малої тривалості горіння), невелика ерозія контактів, дуже швидке відновлення електричної міцності після відключення струму і невелике споживання енергії приводним пристроєм є головними визначаючими особливостями вакуумних вимикачів. І якщо раніше вони використовувались на напруги більші 3 кВ, зараз вакуумні контактні апарати низької напруги стали знаходити своє місце у світовій практиці (контактори КТ17Р на напруги 660 та 1440 В при номінальних струмах 160, 250, 400 А).

Гасіння дуги в маслі

Використовується в апаратах високої напруги змінного струму. Контакти апарата занурюють в масло. Виникаюча під час розриву дуга, призводить до інтенсивного випаровування і розкладання масла.



Навколо дуги утворюється газова оболонка, вміст якої на 70-80% складається з водню. Гази, які виділяються з великою швидкістю, інтенсивно перемішують холодні і гарячі шари газового об'єму, що призводить до охолодження стовпа дуги. Вибуховий розклад масла різко підвищує тиск

усередині оболонки, також процес розкладу масла забирає 30-35% енергії дуги. Процес гасіння в маслі більш інтенсивний в дугогасній камері.

Дугогасні прилади сучасних масляних вимикачів за принципом дії поділяються:

1) з автодугтям — дугтя газопарової суміші і масла здійснюється за рахунок енергії, що виділяється в самій дузі;

2) з примусовим дугтям — масло заганяється в зону гасіння дуги спеціальними приладами;

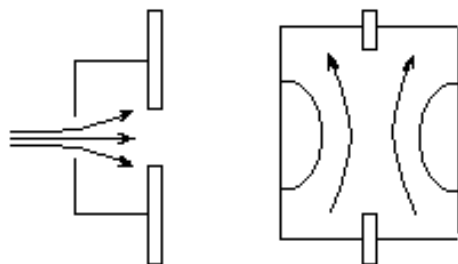
3) з магнітним гасінням дуги в маслі — в яких ствол дуги під впливом магнітного поля переміщується у вузькі щілини та канали, які заповнені маслом. Стіни цих каналів і щілин виконані з дугостійкого ізоляційного матеріалу.

Багатократний розрив ланцюга струму



Використовується у вимикачах високої напруги тому, що при великих значеннях підвимої енергії деіонізація дугового проміжку ускладнюється. Наприклад, при $U=500-750$ кВ кількість розривів дорівнює 12 і більше.

Гасіння електричної дуги повітряним дугтям



Дуга обдувається вздовж або поперек потоком повітря під визначеним тиском. Зі зростанням швидкості руху охолоджуючого середовища різко зростає поздовжній градієнт напруги E_d .

Так, для $I = 600$ А; $U = 220$ В;

$V_{\text{пов}} = 100$ м/с; $L_{\text{д.кр}} = 5$ см.

Гасіння дуги обдуванням застосовується у вимикачах змінного струму високої напруги (вище 1 кВ).

Останнім часом для гасіння дуги застосовується газ SF_6 (елегаз). Це інертний газ, властивістю якого є можливість захоплювати електрони. Застосовується елегаз у вимикачах змінного струму високої напруги та надвисокої напруги (3-220 кВ, 300 кВ, 500 кВ, 750 кВ).

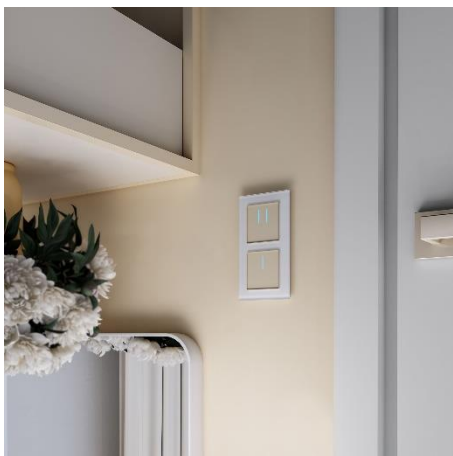
Питання для самоконтролю

1. **Чому гасити дугу змінного струму легше, ніж постійного?** Відповідь має враховувати природну поведінку синусоїди струму.
2. **Яка головна математична умова гасіння дуги?** Згадайте співвідношення між двома видами напруг на контактах.
3. **Що відбувається з температурою дугового каналу при проходженні струму через нуль?** Поясніть вплив цього фактора на іонізацію.
4. **Які два протилежні процеси змагаються в міжконтактному проміжку?** Один процес створює заряджені частинки, інший — нейтралізує їх.
5. **Що таке напруга відновлення (U_e)?** Звідки вона береться і від чого залежить швидкість її наростання?
6. **Як впливає характер навантаження (індуктивне чи активне) на відновлення напруги?** При якому навантаженні згасити дугу важче?
7. **Які середовища використовують для інтенсивного деіонізації та охолодження дуги?** Назвіть щонайменше три поширені речовини.
8. **Навіщо в дугогасильних камерах застосовують магнітне дуття або поздовжні щілини?** Поясніть фізичний зміст розтягування дуги.
9. **Що станеться, якщо швидкість відновлення електричної міцності буде замалою?** Опишіть наслідки для вимикача.

7. ТЕМА ВИМИКАЧІ ТА З'ЄДНУВАЧІ ПОБУТОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Будь-який сучасний пристрій залишиться просто елементом інтер'єру і не даруватиме нам світло, якщо він не буде активованим. І ось тут такий важливий елемент в системі забезпечення освітлення як **вимикач**. Є набором конструктивних особливостей й рішень, що забезпечують ергономічність та ефективність застосування системи освітлення в цілому. Детальніше познайомимося з наявними сьогодні видами сучасних вимикачів, особливостями монтажу та використання, а також варіантами їх підключення до електричної мережі.

7.1 Вимикачі світла та їх призначення



З суто технічної точки зору **вимикач** являється електричним приладом, який може з'єднувати або роз'єднувати будь-який ланцюг контактної мережі. Побутові вимикачі переважно використовуються для вмикання та вимикання освітлювальних приладів, але також застосовуються для активації кондиціонерів, витяжної вентиляції та інших пристроїв.

Вимикачі світла повинні забезпечувати зручну та ефективну роботу, бути надійними та безпечними, а також мати відповідне привабливе виконання. За способом встановлення розрізняють вбудовані та вимикачі, що встановлюються зовні.

Для вмикання освітлювальних пристроїв зазвичай використовують **одноклавішний вимикач**, а для світильників та люстр, обладнаних декількома джерелами світла, застосовують **двохклавішні вимикачі** або **трьохклавішні вимикачі**. Останні також використовують для вмикання світла у сусідніх приміщеннях, таких як туалет і ванна, або ж коридор.



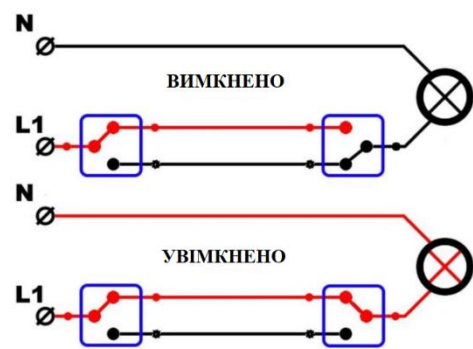
Крім звичайних вимикачів з функцією вмикання/вимикання існують складніші моделі, обладнані додатковим функціоналом, таким як: підсвічування, таймер, регулювання яскравості (**димер**) тощо.

7.2 Види вимикачів світла

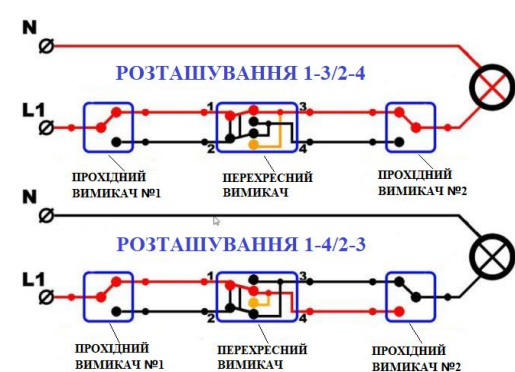
Розглянемо основні види вимикачів світла, які можуть використовуватись у нашому повсякденному житті. До них відносяться такі вимикачі: прості, прохідні, перехресні, з підсвічуванням, з дистанційним управлінням, з

функцією димера, контрольні, розумні, сенсорні, акустичні, з таймером, з датчиками руху або присутності.

Стандартні клавішні вимикачі є найбільш поширеним видом, що відрізняються простотою конструкції та використовуються для внутрішньої або зовнішньої проводки. Вони зручні в користуванні та містять всередині максимально спрощений механізм, який замикає/розмикає електричний ланцюг. Більшість стандартних вимикачів світла конструктивно мають від однієї до трьох клавіш, але існують окремі моделі з більшою їх кількістю.



Прохідні вимикачі являються двопозиційними перемикачами, електричне з'єднання яких дозволяє вмикати чи вимикати певний освітлювальний пристрій або джерело світла з двох віддалених між собою місць. Зовні такі вимикачі не відрізняються від стандартних, але через особливості їх підключення, вони не мають фіксованого положення вмикання/вимикання. Наприклад, натиснена донизу клавіша може як розмикати, так і замикати електричний ланцюг і навпаки. Такі вимикачі світла часто використовують у довгих прохідних приміщеннях, таких як коридори. Ви можете на вході до нього увімкнути світло, а на виході – вимкнути. Схема підключення прохідного вимикача наведена нижче.



У разі необхідності вмикання світла з місць, кількість яких перевищує два, застосовуються **перехресні вимикачі**. Такі пристрої, які ще називають реверсивними, мають по два контакти на вході та виході. Під час роботи ці контакти перехресно замикаються між собою, відповідно перший на третій, а другий на четвертий. Перемикання здійснює зміну з'єднання контактів – першого на четвертий, а другого на третій. Схема підключення перехресного вимикача наведена нижче.

Зручність застосування вимикачів світла з підсвічуванням полягає в можливості бачити його у темряві завдяки встановленій на пристрої світлодіодній



індикації, яка слугує орієнтиром. Такі вимикачі практично не споживають додаткової електроенергії, а точність натискання на клавішу убезпечить вас від ймовірного забруднення шпалер або пофарбування стіни навколо при спробах знайти місце натискання в темний час доби.



Вимикачі світла з можливістю дистанційного управління дозволяють керувати світлом як напряму з корпусу пристрою, так і за допомогою спеціального операційного пульта. Функціонал може бути доволі широким і залежить від конкретної моделі, втім до основних можливостей відносяться вмикання, вимикання та регулювання освітленості.

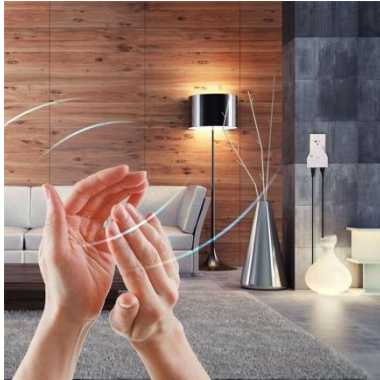
Вимикачі з можливістю регулювання яскравості світла (з димером) являються своєрідними пристроями-світлорегуляторами. Вони дозволяють повільно змінювати рівень освітленості приміщення від ледь тьмяного до максимально яскравого. Така можливість дозволяє обирати оптимальні параметри інтенсивності світла в залежності від роду діяльності – перегляду телевізора, читання тощо.

Контрольні вимикачі світла застосовуються коли потрібна активація освітлювального пристрою, який знаходиться в іншому приміщенні. Індикатор, що розташований на корпусі вимикача сигналізує про поточний стан освітлення, включено воно або ж вимкнене.

Найсучаснішим видом є **розумні вимикачі світла**. Як і звичайні пристрої вони призначені для комутації електричної мережі з джерелом світла. Втім, такі вимикачі обладнані спеціальним приймачем, який забезпечує отримання операційних команд та можливість інформування централізованого контролера автоматизації або смартфона свого господаря. Тобто, таким розумним вимикачем легко керувати за допомогою звичайного смартфона, дистанційно управляючи вмиканням/вимиканням освітлення та регулюючи його параметри. Бездротовий зв'язок здійснюється за допомогою інтернет-роутера.

Сенсорні вимикачі світла не мають механічних клавіш й спрацьовують завдяки панелі з датчиками, активація яких відбувається при ледь чутливому торканні до них кінчика пальця. Такий тактильний контакт впливає на сенсорні елементи, розташовані на поверхні вимикача, передаючи потрібний сигнал електронній схемі пристрою з подальшим його перетворенням на конкретні дієві команди. Такі сенсорні вимикачі є універсальними пристроями та можуть

також комплектуватися іншими датчиками, а також працювати в дистанційному режимі.



Цікавим інноваційним типом вимикачів світла є **акустичні пристрої**, які спрацьовують завдяки реагуванню на сплеск долонями або будь-який інший звуковий прояв. Усередину пристрою вмонтована конструкція, що складається з мікропроцесорного елемента, здатного розпізнавати звуки, мікрофона та підсилювача.

Вимикачі світла обладнані таймером

застосовуються з метою економії електроенергії в невеликих за розмірами приміщеннях, таких як: туалет, ванна, комора, які використовують обмежений нетривалий час і де часто густо забувають вимикати світло. Завдяки регульованому таймеру забезпечується автоматичне відключення освітлення через визначений проміжок часу.



Ще одним дієвим засобом економії електрики є **вимикач світла, обладнаний датчиком руху або датчиком присутності**. Завдяки інфрачервоному датчику, пристрій може фіксувати присутність людини в приміщенні й відразу давати сигнал на увімкнення освітлювального пристрою. Можливе подальше вимкнення світла при повторних рухах або завдяки наявності таймера. Такий пристрій не передбачає жодних маніпуляцій з боку людини – лише її присутність забезпечує спрацювання вимикача.



7.3 Підключення вимикачів світла

При монтажі вимикачів світла використовується один з двох наявних механізмів комутації – за допомогою гвинтового затискання або пружинного контакту. Обидва методи підключення мають свої особливості, тож розглянемо кожен з них окремо.

При підключенні за допомогою гвинтового затискання електричні проводи фіксуються гвинтами до спеціальних конструкцій. Таке з'єднання являється доволі складним, але, разом з тим, забезпечує надійний

контакт. З'єднання з часом має властивість послаблюватись, що потребує періодичного підтягування гвинтового сполучення.

Монтаж вимикачів світла в такий конструктивний спосіб передбачає пріоритетне застосування електричних проводів, виконаних з алюмінію.

Підключення вимикачів світла за допомогою пружинного контакту – більш досконале за гвинтове затискання. При такому способі присутні спеціальні підпружинені пластини, конструкція яких дозволяє надійно затискати в них електричні проводи.

Такий вид з'єднання доволі простий у монтажі. Втім, дуже важливо правильно зафіксувати провід в затискуючому пристрої задля забезпечення оптимального спрацювання вимикача.

Монтаж вимикачів світла в такий конструктивний спосіб передбачає пріоритетне застосування електричних проводів, виконаних з міді.

7.4 Способи встановлення вимикачів світла

Варіанти встановлення вимикачів світла залежать від їх конструктивних особливостей. Серед широкого асортименту пристроїв для комутації виділяють два основні типи – накладні та вбудовані вимикачі.

Накладні пристрої фіксуються зовні до стіни за допомогою спеціальних кріплень. Такі вимикачі світла виступають над поверхнею, що інколи вступає в протиріччя з естетичною складовою. Накладні вимикачі переважно застосовуються при використанні зовнішньої електричної проводки, але також можуть підключатися і до внутрішньої. Разом з тим, такі типи вимикачів світла відрізняються простотою та надійністю, як при монтажі, так і під час функціонування. Останнім часом з'являється все більше цікавих моделей накладних вимикачів, виконаних у вінтажному стилі, що продиктовано модними течіями в оформленні інтер'єрів.



Вбудовані пристрої встановлюються у попередньо підготовлену в стіні нішу, що ускладнює їх монтаж, але разом з тим покращує візуальне сприйняття. Такі вимикачі практично не виступають над поверхнею або взагалі повністю заглиблені в стіну. **Вбудовані пристрої використовуються виключно з внутрішньою електричною проводкою.** В асортименті представлений широкий вибір вимикачів світла з різноманітними зовнішніми декоративними панелями, що дає можливість підібрати для кожного інтер'єру ідеальну модель.

7.5 Рівень захисту корпусу вимикачів світла

Вимикачі світла можуть експлуатуватися в приміщеннях різного призначення, де умови середовища можуть суттєво відрізнятися – від підвищеної вологості, наприклад, у ванній кімнаті, до суттєвої запиленості, наприклад, на відкритій веранді. Відповідно для кожного з таких приміщень слід використовувати вимикачі, які мають відповідний ступінь захисту від несприятливих факторів.

Для електричних пристроїв існує загальна класифікація, що регламентує ступінь захисту їх корпусу від потрапляння пилу та вологи. Маркується вона літерним позначенням IP та двозначним цифровим, яке показує рівень захисту, наприклад IP54. Перша цифра показує захист від потрапляння всередину пристрою пилу та інших твердих предметів (від 0 до 6); а друга – від потрапляння вологи (від 0 до 8). Чим більше значення цифри – тим надійніше захист. Така позначка зазначається в документації на пристрій та присутня на корпусі вимикача.

Заміна або підключення електричних вимикачів, як і все, що пов'язане з електрикою, – справа відповідальна. Звичайно ж, такі електромонтажні роботи повинні виконуватися кваліфікованим спеціалістом-електриком.

7.6 Заміна вимикачів

Людям, які зіткнулися з необхідністю заміни або установки вимикача світла, розглянемо весь процес установки нового вимикача поетапно.

1. Необхідні інструменти

Для заміни електричних механізмів знадобиться: – викрутка або набір викруток, – тестер для перевірки наявності напруги або викрутка-пробник для визначення наявності фази.

2. Техніка безпеки

Дуже важливо в процесі заміни механізму вимикача дотримуватися правил монтажу й не нехтувати елементарними нормами безпеки. На початку проведення робіт слід знеструмити електролінію, на якій буде проводитися заміна вимикача (розетки). Якщо це житловий будинок або квартира, досить відключити автоматичний вимикач, що захищає відповідну лінію. Автомати захисту, як правило, розміщуються всі в одному електричному щиті та підписані відповідно до схеми електророзподілу приміщення. Якщо ж прилади в щиті не підписано, і виникають труднощі з визначенням необхідного апарату захисту, необхідно відключити ввідний автоматичний вимикач. Такий спосіб

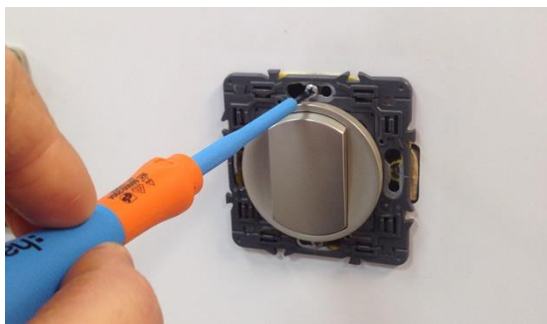
буде максимально ефективним, але у нього є певний недолік – вимикається усе електроживлення в квартирі.

3. Перевірка вимикача

Щоб приступити до заміни вимикача, необхідно переконатися в його несправності. Це можна зробити без демонтажу, методом виключення. Спочатку необхідно переконатися у справності світильника, яким керує наш вимикач. Для цього необхідно перевірити всі лампи в люстрі. Якщо лампи в люстрі справні, а вона ніяк не реагує на включення й відключення вимикача, то велика ймовірність несправності саме вимикача й без заміни його на робочий не обійтися.

4. Демонтаж вимикача

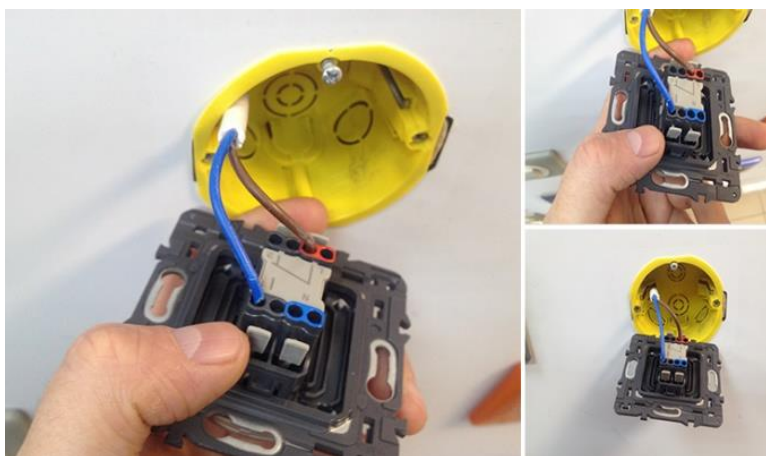
Для того щоб отримати доступ до механізму вимикача, необхідно зняти клавішу та рамку. Тут не потрібно багато зусиль або додаткових інструментів, досить руками зняти всі обрамлення.



Після того як зніметься клавіша та рамка з вимикача, далі потрібно розтиснути кріпильні гвинти, для чого необхідна викрутка. Демонтувавши супорт вимикача від установчої коробки, отримаємо доступ до клем і проводів.

5. Кріплення проводів до механізму

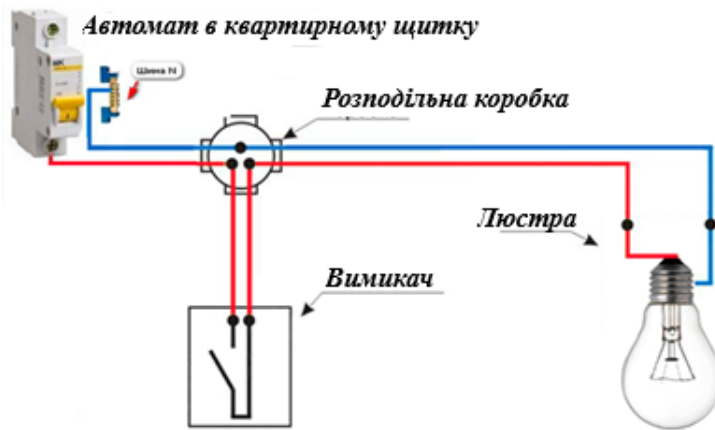
Перед тим як замінити електричний вимикач, необхідно перевірити надійність контактів, можливо, саме це стало причиною несправної роботи пристрою. Більшість європейських виробників електрофурнітури в своїх вимикачах використовують самозатискні контакти (автоматичні клеми). Суть такого затиску полягає в тому, що підключення токопровідного дрота відбувається без застосування інструментів, досить із зусиллям натиснути на спеціальні ламелі та зафіксувати кабель в гнізді механізму.



Бувають випадки, коли попередній монтаж був проведений неякісно – один із проводів вимикача просто відпав. Щоб перевірити чи виключити такий варіант несправності, досить заново підключити дроти до клем і

перевірити на працездатність вимикач. Але для перевірки вимикача необхідно ввімкнути ввідний автомат. Нижче наведена картинка, на якій схематично показано шлях проводів від вимикача до світильника. Так буде наочно та зрозуміліше, що це за два дроти, які підключені до вимикача.

6. Схема однополюсного вимикача світла



Іноді буває, що при демонтажі є не два кінці дроту, а три або більше. У таких випадках, швидше за все, будемо мати справу з прохідним перемикачем, тоді вам допоможе схема прохідних перемикачів.

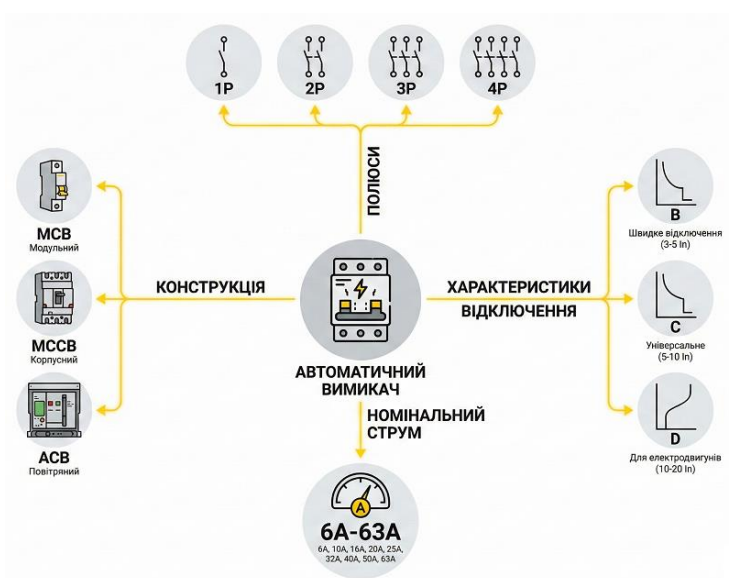
Якщо після всіх маніпуляцій проблема з вимикачем не вирішена, то міняємо його на новий і проводимо всі вищеперелічені маніпуляції у зворотному порядку.

7.7. Види автоматичних вимикачів та їх класифікація

Автоматичний вимикач захищає кабель від перегріву при перевантаженні та короткому замиканні. Вибір залежить від трьох параметрів: кількості полюсів (1P-4P), часо-струмової характеристики (В, С або D) та номінального струму (який має відповідати перерізу кабелю).

Головне правило: автомат захищає кабель, а не техніку. Номінал обирається за перерізом проводки: $1.5 \text{ мм}^2 \rightarrow 10\text{A}$, $2.5 \text{ мм}^2 \rightarrow 16\text{A}$, $4 \text{ мм}^2 \rightarrow 25\text{A}$.

Розглянемо всі види автоматичних вимикачів



Класифікація та види автоматичних вимикачів: повний огляд

Автоматичний вимикач — це комутаційний апарат, призначений для захисту електричних мереж від струмів короткого замикання та перевантаження.

Головне призначення цього пристрою — захист саме кабельної лінії, а не побутової техніки, яка підключена до розетки. **Види електричних автоматів** поділяються за декількома ключовими параметрами: кількістю полюсів (фазністю), часо-струмовою характеристикою (швидкістю реакції) та конструктивним виконанням.

Правильна **класифікація автоматичних вимикачів** дозволяє уникнути пожеж електропроводки та забезпечити стабільність енергосистеми.

Увага! Робота з електрообладнанням небезпечна для життя!

Всі роботи в електрощитку повинні виконуватися тільки кваліфікованими електриками зі знятою напругою. Перед початком робіт обов'язково необхідно знеструмити лінію та перевірити відсутність напруги вимірювальним приладом.

7.8. Види автоматів за кількістю полюсів (фазність мережі)

Вибір комутаційного апарата починається з архітектури вашої електромережі. **Кількість полюсів** визначає, скільки провідників одночасно контролює та розриває пристрій. Для однофазної мережі (220 В) застосовують **однополюсний (1P)** або **двополюсний (2P)** автомати. Для трифазної мережі (380 В) стандартом є **триполюсний (3P)** та **чотириполюсний (4P)** варіанти.

Правильне **підключення** та вибір полюсності — це питання не лише зручності, а й безпеки обслуговування щитка.

Однофазні мережі (220В): 1P проти 2P

У 90% квартирних щитів встановлюють автомати серії **1P**. Вони розривають лише фазний провідник. Це економне рішення (займає 1 модуль — 18 мм), яке ефективно захищає лінію від надструмів. Однак при аварії нульовий провідник залишається підключеним до загальної мережі.

Використання **2P** (двополюсних) автоматів виправдане у «мокрих» зонах та на вводі в квартиру. Такий пристрій займає 36 мм (або 18 мм у компактних серіях 1P+N) та розриває і фазу, і нуль одночасно. Це критично важливо, якщо переплутана полярність на поверховому щиті або стався обрив «нуля» в під'їзді. Мій досвід у УЕС показує: пошук витоку струму в лінії з 2P автоматом займає втричі менше часу, оскільки є можливість повністю відсікти проблемну групу від контуру заземлення.

Трифазні мережі (380В): 3P та 4P

Триполюсний автомат (3P) — стандарт для захисту трифазних споживачів, таких як електродвигуни або котли, де нульовий провідник не бере участі в комутації або підключений напряму.

Чотириполісний (4P) вимикач обов'язково встановлюється як ввідний пристрій у приватних будинках з системою заземлення TN-C-S або TN-S. Він дозволяє повністю знеструмити об'єкт, розриваючи три фази та робочий нуль, що виключає ризик ураження струмом через потенціал на нульовому проводі.

Таблиця 7.1 – Види автоматів, застосування

Тип	Ширина (модулі)	Мережа	Типове застосування
1P	1 (18 мм)	220В	Захист ліній освітлення, розеток у кімнатах
2P	2 (36 мм)	220В	Ввід у квартиру, бойлери, "мокрі групи"
3P	3 (54 мм)	380В	Трифазні двигуни, насоси, верстати
4P	4 (72 мм)	380В	Головний ввід у приватний будинок, генератори

Класифікація за часо-струмовою характеристикою спрацювання (Криві відключення)

Це параметр, який найчастіше ігнорують новачки. **Крива відключення** (B, C або D) показує, наскільки короткочасне перевантаження може витримати автомат, не вимикаючись. Це необхідно для компенсації пускових струмів (наприклад, коли стартує холодильник або пиросос). Неправильний вибір характеристики призводить до того, що автомат «вибиває» без реальної аварії.

Характеристика типу «В»

Діапазон спрацювання: 3–5 In (номінальних струмів)

Найменша затримка. Електромагнітний розчеплювач спрацює при струмі в 3–5 разів вищому за номінальний.

Застосування: Довгі кабельні лінії (де струм КЗ малий через опір), мережі зі старим алюмінієвим проводом, активні навантаження без пускових струмів (лампа розжарювання, ТЕНи).

Рекомендація: Ідеально для захисту ліній освітлення та сучасної електроніки.

Характеристика типу «С» (Універсальний стандарт)

Діапазон спрацювання: 5–10 In

Золотий стандарт житлового будівництва. Вимикач типу С тримає перевантаження в 5–10 разів вище номіналу протягом доли секунди. Це дозволяє безпечно запускати кондиціонери, пилососи та іншу побутову техніку.

Застосування: Розетки в квартирах, офіси, загальні групи.

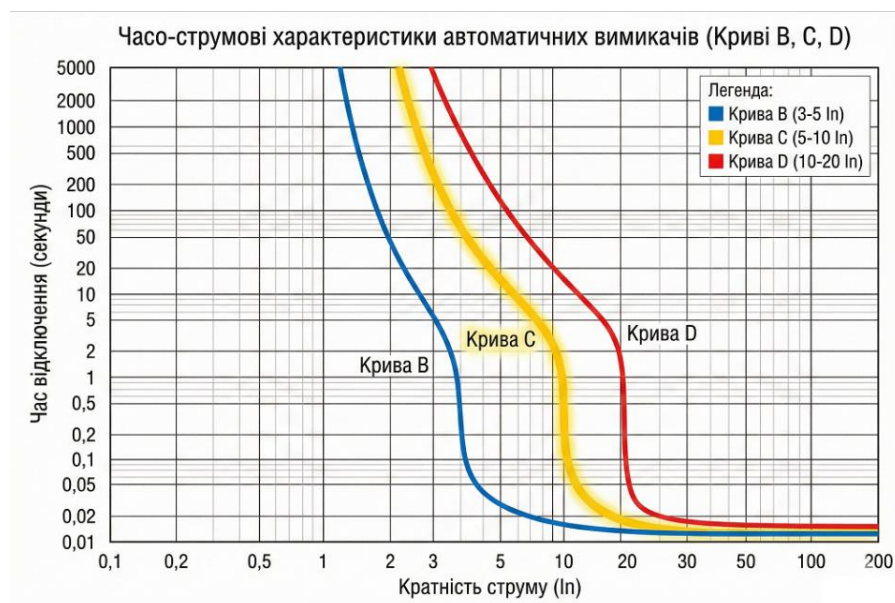
Характеристика типу «D» (Потужні пускові струми)

Діапазон спрацювання: 10–20 In

Промислова характеристика. Автомат типу D не вимикається при стрибках струму в 10–20 разів.

Застосування: Потужні електродвигуни, насосні станції, трансформатори, верстати. Вдома такий автомат ставити небезпечно.

«Вимикач типу С є найбільш поширеним, оскільки він підходить для більшості побутових та комерційних застосувань з помірними пусковими струмами»



Увага! Встановлення автомата характеристики D у звичайну квартиру заборонено нормами безпеки. При короткому замиканні зі слабким струмом

(наприклад, в подовжувачі) він може не встигнути спрацювати до спалаху ізоляції.

7.9. Розподіл електричних автоматів за номінальним струмом

Номінальний струм (I_n) — це максимальне значення струму, яке автомат пропускає нескінченно довго. Як тільки навантаження перевищує цей поріг (наприклад, 1,13 від номіналу), запускається тепловий розчеплювач. На корпусі це цифра після літери типу (C16, B10).

Головне правило електрика:

Автомат захищає кабель, а не техніку. Номінал обирається суворо виходячи з перетину кабелю. Якщо поставити автомат 25А на провід 1.5 мм², провід згорить раніше, ніж спрацює захист.

Стандартний ряд номіналів для побуту: **6А, 10А, 16А, 20А, 25А, 32А, 40А, 50А, 63А.**

Таблиця 7.2. – Характеристики автомата, застосування

Перетин мідного кабелю (мм ²)	Максимальний струм автомата (А)	Типове застосування в квартирі
1.5 мм ²	10А (рідше 13А)	Освітлення
2.5 мм ²	16А (макс. 20А, якщо монтаж відкритий)	Розеткові групи
4.0 мм ²	25А	Варильна поверхня, проточний нагрівач
6.0 мм ²	32А	Ввід у квартиру (газ), електроплита

Важливий параметр: Вимикаюча здатність (ІКС)

Гранична комутаційна здатність (I_{cu}) — це максимальний струм КЗ, який автомат зможе розірвати один раз і не розлетітися на шматки. Це цифра в прямокутнику на корпусі: 4500, 6000 або 10000:

- **4.5 кА (4500 А):** Допускається для старого житлового фонду з високим опором мережі. В сучасних ремонтах майже не використовується.

- **6 кА (6000 А):** Сучасний Європейський стандарт для житлового сектору (квартири, котеджі). Саме такі автомати в УЕС можна рекомендувати для 95% побутових об'єктів.
- **10 кА і вище:** Промисловий стандарт. Необхідний, якщо ваш ввідний щит знаходиться безпосередньо біля трансформаторної підстанції (ТП), де струми КЗ можуть досягати колосальних значень.

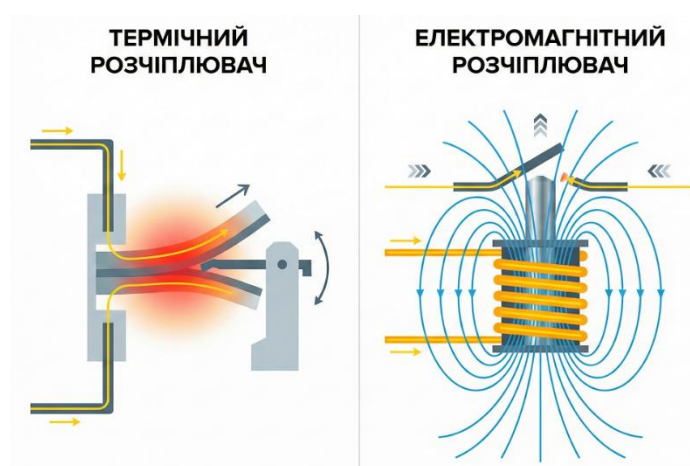
«Автоматичні вимикачі мають дуже високу відключаючу здатність – наприклад, корпус може бути розрахований на переривання 50 кА, 65 кА або навіть 100 кА струму замикання при номінальній напрузі»

Класифікація за типом розчеплювача (Конструкція захисту)

Щоб зрозуміти принцип дії, варто зазирнути всередину автомата. Він містить два незалежних механізми захисту:

- **Тепловий розчеплювач** (біметалева пластина). Працює повільно. При незначному перевищенні струму пластина нагрівається, вигинається і тисне на механізм спуску. Це захист від перевантаження, яке виникає, коли ви вмикаєте пралку, чайник і бойлер в одну розетку.
- **Електромагнітний розчеплювач** (соленоїд з осердям). Працює миттєво. При різкому стрибку струму (КЗ) магнітне поле виштовхує осердя, яке розриває ланцюг за долі секунди. Це захист від короткого замикання.

7.10. Види автоматичних вимикачів за конструкцією



Форм-фактор пристрою визначає сферу його використання — від маленького щитка в передпокої до велетенських розподільчих шаф на заводах.

Модульні (МСВ) — на DIN-рейку

Струми: до 125А.

Найпоширеніший тип для побуту та офісів. Мають стандартизовану ширину (кратну 18 мм) і зручне кріплення на рейку. Легко замінюються, компактні.

Застосування: Квартирні та офісні щитки, захист окремих ліній.

Силові (МССВ) — в литому корпусі

Струми: від 100А до 1600А

Це "старші брати" модульних автоматів. Мають регульовані розчеплювачі, що дозволяє точно налаштувати захист під конкретне обладнання.

Застосування: Ввідні автомати в багатоповерхівках, цехах, промислових об'єктах. Повітряні (АСВ). Струми: від 1000А до 6300А.

Важка артилерія енергетики. Гасіння дуги відбувається у повітряному середовищі за допомогою спеціальних камер.

Застосування: Головні розподільчі щити (ГРЩ) заводів та ТРЦ.

Чим відрізняється Автомат від ПЗВ та Диф-автомата?

Часто початківці називають «автоматом» все, що стоїть у щитку. Це помилка, яка може коштувати життя.

Таблиця 7.3 – Порівняльна таблиця

Пристрій	Від чого захищає?	Кого захищає?	Чи є захист від КЗ?
Автоматичний вимикач	Перевантаження, Коротке замикання	Кабель	✓ Так
ПЗВ (УЗО)	Витік струму (пошкодження ізоляції)	Людину (від удару струмом)	✗ Ні (згорить без автомата)
Диф-автомат	Перевантаження + КЗ + Витік	Кабель + Людину	✓ Так

Маркування: Як читати автоматичний вимикач

Виробники наносять на передню панель усю необхідну технічну інформацію. Розберемо на прикладі умовного "С16":

- **Логотип виробника** (наприклад, GEWISS або UEC). Гарантія походження.
- **Модель/Серія** (наприклад, МТС 45). Визначає серію (бюджетна або професійна).
- **С16:** Головний параметр. С — часо-струмова характеристика, 16 — номінальний струм в Амперах.
- **230/400V:** Номінальна напруга роботи.

- **6000** (в прямокутній рамці): Вимикаюча здатність (граничний струм КЗ) — 6 кА.
- **3 class**: Клас струмообмеження. Чим вища цифра (максимум 3), тим швидше автомат гасить дугу, зберігаючи кабель.



Підсумкова таблиця швидкого вибору для квартири та будинку

Вся наведена нижче інформація базується на вимогах ДСТУ EN 60898-1 "Автоматичні вимикачі для захисту від надструмів побутового та аналогічного призначення" та багаторічному досвіді інженерів UEC.

Якщо не заглиблюватися в розрахунки, можна використати цей перевірений алгоритм для типового ремонту:

- **Освітлення:** Кабель 1.5 мм² → Автомат **B10** (або C10), 1 полюс.
- **Розетки (кімнати):** Кабель 2.5 мм² → Автомат **C16**, 1 полюс.
- **Бойлер / Пральна машина:** Кабель 2.5 мм² → Диф-автомат **C16 30mA** або зв'язка «Автомат 2P + ПЗВ».
- **Ввід у квартиру (однофазний):** Кабель 6-10 мм² → Автомат **C32 - C40**, 2 полюси.

Питання для самоконтролю

1. Що таке побутовий вимикач та яка його головна функція в електричній мережі?
2. Поясніть фізичний принцип комутації електричного кола побутовими вимикачами та з'єднувачами.

3. Які основні вимоги висуває ДСТУ / ІЕС стандарти до комутаційних апаратів побутового призначення?
4. Порівняйте дугогасні властивості побутових вимикачів та автоматичних вимикачів захисту.
5. За якими електричними параметрами (номінальний струм, напруга, частота) класифікують побутові з'єднувачі?
6. Зобразіть принципову електричну схему керування одним джерелом світла з трьох різних місць за допомогою прохідних та перехресних вимикачів.
7. Поясніть внутрішню конструктивну різницю між прохідним (однополюсним перемикачем на два напрямки) та звичайним вимикачем.
8. Який тип навантаження (активне, індуктивне, ємнісне) обмежує використання стандартних діммерів для світлодіодних ламп?
9. Опишіть конструктивні елементи розетки, що забезпечують надійний електричний контакт та захист від перегріву при тривалому номінальному струмі 16А.
10. Які типи розчеплювачів (тепловий, електромагнітний) входять до структури автоматичного вимикача і які режими аварії вони ліквідовують?
11. Опишіть різницю між часо-струмовими характеристиками типів В, С та D автоматичних вимикачів. Який тип застосовується у побуті?
12. Обґрунтуйте необхідність координації (селективності) між головним автоматичним вимикачем та груповими автоматами у квартирному щитку.
13. Що таке струм витоку і за яких умов у побутову мережу разом із вимикачами та з'єднувачами обов'язково встановлюється ПЗВ (пристрій захисного відключення)?
14. Розрахуйте падіння напруги та втрати потужності у контактному з'єднанні розетки, якщо перехідний опір контактів через окиснення зріс до 0,5 Ом при струмі навантаження 10А.
15. Які технічні заходи безпеки згідно з ПБЕЕС (Правилами безпечної експлуатації електроустановок) є обов'язковими перед заміною елементів побутової електрофурнітури?
16. Чому згідно з нормами заборонено використовувати нульовий робочий провідник (N) як захисний (PE) у розетках із заземлюючим контактом (система TN-C-S проти TN-C)?

8. ТЕМА КОНТАКТОРИ

8.1. Принцип роботи, види та основні сфери застосування

Контактори відіграють важливу роль у сучасних електричних системах, забезпечуючи автоматичне включення та виключення живлення різноманітних пристроїв. Вони є ключовими елементами в системах автоматизації, захисту та контролю електричних ланцюгів, дозволяючи безпечно і ефективно керувати великими струмами. У цій статті ми детально розглянемо, що таке контактори, як вони працюють, їхні види та основні сфери застосування, а також надамо рекомендації щодо вибору та придбання відповідного обладнання для ваших потреб.

Як працює контактор

Контактор — це електромагнітний пристрій, що використовується для дистанційного вмикання або вимикання електричних кіл. Основна функція контактора полягає в тому, щоб забезпечити керування великими струмами за допомогою невеликого керуючого сигналу. Працює контактор за допомогою електромагнітного поля, яке утворюється при подачі напруги на котушку, що замикає або розмикає контакти, контролюючи електричний ланцюг. У процесі роботи контактора може здійснюватися як електричний, так і механічний рух контактів.



Принцип роботи контактора

Принцип роботи контактора полягає у взаємодії електромагніту і рухомих контактів. Коли на котушку контактора подається електричний струм, створюється магнітне поле, яке притягує рухомі частини і замикає основні контакти. У цьому стані ланцюг залишається замкненим, і струм вільно протікає через силові контакти. Як тільки струм на котушку вимикається, магнітне поле зникає, і пружина повертає рухомі контакти у вихідне положення, розмикаючи ланцюг. Контактори можуть бути обладнані допоміжними контактами для контролю

стану ланцюга або сигналізації. Окрім того, вони часто мають дугогасні камери, які забезпечують безпечне вимкнення струму, особливо у високовольтних системах.

8.2. Види контакторів

Контактори поділяються на кілька типів залежно від їх конструкції, кількості полюсів, типу струму та інших характеристик. Розглянемо детальніше основні види:

1. За конструкцією:

- **Електромагнітні контактори** — найпоширеніший тип, що використовує електромагніт для керування контактами.
- **Вакуумні контактори** — контакти знаходяться у вакуумі, що дозволяє ефективно гасити дугу при розмиканні, зменшуючи зношення контактів та продовжуючи їх термін служби.
- **Газонаповнені контактори** — контакти розміщуються в середовищі інертного газу (наприклад, гексафториду сірки), що забезпечує краще гасіння дуги і запобігає окисленню.
- **Напівпровідникові контактори (тиристорні)** — використовують напівпровідникові елементи для керування електричними колами. Цей тип не має рухомих частин, що забезпечує високу швидкість спрацьовування та довговічність.

2. За кількістю полюсів:

- **Однополюсні контактори** — контролюють лише один електричний ланцюг, використовуються переважно в простих системах.
- **Двополюсні контактори** — мають два керовані полюси, що дозволяє керувати одночасно двома електричними ланцюгами.
- **Триполюсні контактори** — найчастіше використовуються в трифазних системах для керування трьома фазами електричної мережі.
- **Чотириполюсні контактори** — застосовуються для одночасного керування трьома фазами і нейтральним проводом, що робить їх ідеальними для систем з повним контролем за трифазним електроживленням.

3. За типом струму:

- **Контактори постійного струму** — використовуються для керування колами постійного струму. Вони оснащені спеціальними дугогасними пристроями, оскільки дуга в колах постійного струму важче гаситься через відсутність природного проходження струму через нуль.
- **Контактори змінного струму** — найпоширеніші, застосовуються для керування колами змінного струму, особливо в промисловості та будівництві.

4. За напругою керування:

- **Низьковольтні контактори** — призначені для роботи в системах з напругою до 1000 В, широко використовуються в побутових та промислових системах.
- **Високовольтні контактори** — застосовуються в системах електропостачання з високою напругою (понад 1000 В), зокрема в енергетичних мережах та великих промислових установках.

Кожен тип контактора має свої особливості та призначення, тому вибір конкретної моделі залежить від умов експлуатації, типу керованого обладнання та вимог до безпеки системи.



8.3. Застосування контакторів

Контактори широко застосовуються в різних галузях промисловості та побуті. Основні сфери застосування:

1. **Системи автоматизації** — для дистанційного керування електричними двигунами, насосами, вентиляторами.
2. **Електричні щити** — для керування освітленням, нагрівальними елементами та іншими приладами.
3. **Промислове обладнання** — у виробничих процесах для контролю за електроживленням різних пристроїв і машин.

4. **Захист електричних мереж** — контактори використовуються для забезпечення швидкого вимкнення ланцюгів у випадку аварійних ситуацій або перевантажень.
5. **Енергетика** — для перемикання ліній електроживлення, особливо в системах з резервним живленням.

Питання для самоконтролю

1. Сформулюйте визначення електромагнітного контактора та вкажіть його головне призначення.
2. Перерахуйте основні конструктивні вузли контактора та поясніть функцію кожного з них.
3. Опишіть фізичний принцип дії контактора під час подачі напруги на котушку керування.
4. Яку роль у конструкції контактора відіграє дугогасна система і які методи гасіння дуги в ній використовуються?
5. Поясніть функціональну різницю між головними (силовими) та допоміжними (блок-контактами).
6. Проаналізуйте та поясніть принципові відмінності між контактором, магнітним пускачем та електромагнітним реле.
7. Чому контактор не забезпечує захист від коротких замикань і перевантажень, і які апарати встановлюють з ним у комплекті?
8. Обґрунтуйте різницю між нормально відкритими (NO) та нормально закритими (NC) контактами.
9. Що таке короткозамкнений виток (кільце) на магнітопроводі котушки змінного струму та яку аварійну проблему він вирішує?
10. Як класифікуються контактори за родом струму головного ланцюга та ланцюга керування?
11. Які технічні параметри є визначальними при виборі контактора для керування потужним асинхронним двигуном?
12. Поясніть значення категорій застосування контакторів (наприклад, АС-1, АС-3, АС-4) відповідно до характеру навантаження.
13. Чому напруга живлення котушки керування часто відрізняється від напруги силової мережі, і які переваги це дає?
14. Назвіть основні причини та наслідки "дереview контакту" (вібрації) під час замикання силових ліній.
15. Які експлуатаційні фактори призводять до зварювання (залипання) контактів або згоряння котушки контактора?

9. ТЕМА ДОПОМІЖНЕ ОБЛАДНАННЯ КОМПЛЕКТНИХ ПРИСТРОЇВ

9.1. Визначення та призначення допоміжного обладнання

Допоміжне обладнання комплектних пристроїв (низьковольтних комплектних пристроїв — НКП, або високовольтних комірок — КРУ/КСО) — це сукупність апаратів, пристроїв та елементів конструкції, які не є основними комутаційними елементами (як-от вимикачі чи роз'єднувачі), але забезпечують функціонування, керування, захист, вимірювання та безпеку роботи пристрою.

У системах електропостачання великі комплектні пристрої (ГРЩ на базі ЩО-90 або розпредпристрої на базі КРУ/КСО) можуть працювати спільно з **допоміжними комплектними пристроями** (такими як окремі шафи АВР або ящики керування двигунами). Проте, ці шафи є самостійними одиницями НКУ, а не "допоміжним обладнанням" головного щита. Вони підключаються до нього як зовнішні споживачі або елементи зовнішньої автоматики.

Головне призначення:

1. Керування та автоматизація роботи силових апаратів.
2. Релейний захист та аварійна сигналізація.
3. Вимірювання параметрів мережі та комерційний/технічний облік електроенергії.
4. Забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.
5. Підтримка заданого мікроклімату всередині пристрою.

Таблиця 9.1 – Порівняльна таблиця

Параметр порівняння	Головний комплектний пристрій (наприклад, КРУ, КСО, ЩО-90)	Допоміжний комплектний пристрій (наприклад, Я5000, шафа АВР)	Допоміжне обладнання (компоненти всередині шаф)
Що це таке?	Основний вузол розподілу енергії об'єкта чи підстанції.	Локальний вузол керування конкретним агрегатом чи процесом.	Окремі апарати та деталі вторинних кіл (кіл керування).
Приклади	Панелі ЩО-90, комірки КСО-393, КРУ-10 кВ.	Ящик керування засувкою, шафа автоматичного ввімкнення резерву.	Реле часу, блоки живлення, клемники, сигнальні лампи, термостати.
Місце монтажу	Встановлюється безпосередньо в приміщенні РУ або ТП.	Встановлюється біля електродвигуна або в зоні обслуговування.	Монтується всередині КРУ, КСО або Я5000 на DIN-рейку.

9.2 Комплектні розподільні пристрої закритого типу КРПЗ-6, КРПЗ-10, КРПЗ-35

Призначення

Комплектні розподільні пристрої закритого типу КРПЗ-6, -10, -35 кВ блочно-модульного виконання призначені для розподілу електроенергії змінного трифазного струму напругою 6...35 кВ з ізольованою нейтраллю для розгалуження кабельних мереж або повітряних ліній в системах електроживлення 6-35 кВ. Кліматичне виконання - У1, УХЛ1.



Пристрої КРПЗ розраховані на високі струмові навантаження. Секціонування електромереж є одним із основних завдань, що покладаються на КРПЗ. Це обладнання забезпечує розподілення електроенергії по всіх споживачах і не допускає зайвих навантажень у мережі.

Комплектні розподільні пристрої високої напруги діляться в залежності від завдань, що виконуються по секціонуванню:

КРПЗ без секційного поділу мають лише одну секцію шин, що обмежує їхні комутаційні можливості. Використання такого обладнання підходить лише для вузькоспеціалізованих завдань, і сьогодні використовується доволі рідко.

КРПЗ, що мають дві або більше секцій – дані розподільні пристрої мають комплектацію у вигляді групи збірних секцій. До кожної комірки підводиться окреме живлення та навантаження, що розширює комунікаційні можливості. Для їхнього з'єднання використовуються вимикачі секційного типу.

КРПЗ із звичайним пристроєм – такі моделі також мають секційне виконання із виділеним живленням. Як додаткове обладнання в ці комірки встановлюється використовуваний пристрій. Така комплектація зазвичай використовується в електромережах з напругою 110–220 кВ.

КРПЗ з елегазовою ізоляцією – спеціальне високовольне електроустаткування для роботи у трифазних мережах. Комплектний розподільний елегазовий пристрій експлуатується в мережах з розрахунковою напругою 110 кВ. Залежно від завдань, що виконуються, таке обладнання може оснащуватися додатковими і допоміжними приладами. Ціна комплектного розподільного пристрою формується залежно від кількості секцій шин та встановлених комутаційних приладів.

Таблиця 9.2 - Основні технічні параметри КРПЗ

Номінальна напруга, кВ	6; 10; 35
Найбільша робоча напруга, кВ	7,2; 12; 40
Номінальний струм силових кіл, А	400; 630; 1000; 1600; 2500; 4000
Номінальний струм збірних шин, А	400; 630; 1000; 1600; 2500; 4000

Варіанти комплектації по високій стороні:

1. Комплектуються вакуумними або елегазовими вимикачами у складі осередків КРП-35кВ або комірок КСО-393М; КССО-299; КСО-285; КСО-272:

- серії ВВ\TEL (Таврида-Електрик)
- серій ВР та ВРС (РЗВА)
- [серії Susol VL \(LS Industrial\)](#)
- [серій SION \(Siemens\)](#)
- серій EASYPACT EXE та Evolis (Schneider Electric)
- серій VD4, HD4, VM1 (ABB)
- вимикачами CNC (Китай)
- вимикачами Chint (Китай).

2. Застосовуються захисні реле наступних типів:

- реле вир-ва РЗА Системз
- реле вир-ва РЕЛСІС
- REF та REU фірми ABB;
- SEPAM фірми Schneider Electric
- МРЗС-05 ПЗ "Київприлад"
- MICOM фірми Areva
- SIPROTEC фірми SIEMENS
- [HighProtec вир-ва Woodward](#)
- SPAC фірми АББ Автоматизація
- УЗА фірми Енергомашвін
- реле компанії ПРЕМКО та ін.

Варіант комплектації РПНН власних потреб:

- трансформатор власних потреб
- шафа власних потреб
- шафа автоматики (обігрів, вентиляція).

Відмінні характеристики та переваги:

- зменшення термінів будівництва та монтажу
- відсутня залежність від кліматичних умов
- заводська гарантія на РП загалом
- відповідність ПУЕ, СНіП, ДСТУ 3335-96 та вимогам пожежної безпеки
- можливість перенесення до іншого місця
- можливі варіанти індивідуального виконання
- безпека персоналу у процесі експлуатації
- теплоізоляція забезпечує працездатність обладнання у районах з важкими кліматичними умовами
- сучасний дизайн (різна кольорова гама).

Узагальнюючий висновок комплектації КРПЗ-6, -10, -35 кВ.

КРПЗ (КРУЗ) — це капітальна або модульна будівля (блок-модуль), у якій змонтовано комплекс електричного обладнання для приймання та розподілу енергії.

Цей комплекс поділяється на три частини комплектуючих:

- **Загальний комплекс.**
- **Самостійні комплектні пристрої всередині.**
- **Допоміжне обладнання (компоненти).**

1. Склад самостійних комплектних пристроїв у складі КРПЗ:

Це окремі конструктивні одиниці (вироби), з яких збирається підстанція:

- **Високовольтні комірки КРУ / КСО (6, 10, 35 кВ):** Шафи з лінійними вимикачами, вводами та секційними перемикачами.
- **Трансформатор власних потреб (ТВП):** Силовий масляний або сухий трансформатор (наприклад, ТМГ або ТСЗ).
- **Шафа власних потреб (ШВП):** Низьковольтний розподільний щит (НКУ) напрямку 0,4 кВ.
- **Шафа автоматики та керування (ША):** Окремий щит клімат-контролю, вентиляції та загальностанційної сигналізації.
- **Шафа оперативних затискачів (ШОЗ) / Шафа центральної сигналізації (ШЦС):** Окремі загальновузлові шафи автоматики.

2. Допоміжне обладнання (компоненти вторинних кіл) всередині цих пристроїв:

Це дрібні апарати, які інтегровані в релейні відсіки комірок КРУ/КСО або в шафи автоматики:

- **Всередині релейних відсіків комірок КРУ 6/10/35 кВ:**
 - *РЗА:* Мікропроцесорні термінали захисту (наприклад, серій MRAC, MP3C, REF або RED).
 - *Вимірювання:* Трансформатори струму (ТЛШ, ТОЛ) та трансформатори напруги (НТМІ, ЗНОЛ), цифрові лічильники електроенергії, амперметри.
 - *Керування:* Ключі керування вакуумним вимикачем, електромагнітні блокування, кнопки, світлодіодні індикатори положення заземлювальних ножів та викатного візка.
 - *Клімат:* Антиконденсаційні резистори (нагрівачі) з локальними термостатами.
- **Всередині Шафи власних потреб (ШВП) та Шафи автоматики:**
 - *Комутація вторинних кіл:* Проміжні реле, реле часу, реле контролю напруги (РНПП).
 - *Автоматика клімату:* Контролери або крокові терморегулятори, які зчитують дані з датчиків температури повітря всередині блоку модуля КРПЗ та видають команди на запуск дахових вентиляторів або промислових обігрівачів (конвекторів) будівлі.
 - *Монтаж:* Клемні ряди, автоматичні вимикачі захисту кіл керування (малого габариту), шинки живлення вторинних кіл (ШУ, ШС, ШЗ).

У КРПЗ-10 кВ Шафа автоматики обігріву є самостійним низьковольтним комплектним пристроєм (НКУ), оскільки має власний корпус, ввід живлення та індивідуальний паспорт. Проте термостат, реле та клемник, які встановлені всередині цієї шафи, є допоміжним обладнанням цього комплектного пристрою.

9.3. Класифікація допоміжного обладнання за функціональними групами

1. Апаратура керування, сигналізації та вимірювання Призначена для інтерфейсу «людина-машина» та моніторингу стану пристрою:

- **Комутаційні елементи:** Кнопкові пости, ключі керування, пакетні перемикачі (для перемикання режимів «Ручний/Автомат», пуску чи викату вимикачів).

- **Прилади візуального контролю:** Світлосигнальні індикатори (лампи LED), аналогові та цифрові амперметри, вольтметри, ватметри, багатофункціональні аналізатори мережі.
- **Пристрої звукової сигналізації:** Дзвінки, сирени, п'єзовипромінювачі для сповіщення про аварійне відключення або порушення режиму роботи.

2. Системи релейного захисту, автоматики та керування (РЗА)

«Інтелект» комплектного пристрою, що керує силовими процесами:

- **Мікропроцесорні термінали РЗА:** Багатофункціональні блоки захисту ліній, трансформаторів, двигунів від КЗ та перевантажень (встановлюються у високовольних комірках КРУ/КСО).
- **Логічні та допоміжні реле:** Проміжні реле (для розмноження контактів), реле часу (для затримок в алгоритмах), реле контролю фаз та напруги.
- **Програмовані логічні контролери (ПЛК):** Малогабаритні контролери для реалізації складних алгоритмів автоматики (наприклад, логіки АВР всередині низьковольного щита).

3. Вимірювальні трансформатори вторинних кіл

Служать для гальванічного розв'язку та зниження параметрів струму й напруги до безпечних рівнів:

- **Трансформатори струму (ТС):** Знижують струм головного кола до стандартних 1 А або 5 А для живлення котушок захисту та лічильників.
- **Трансформатори напруги (ТН):** Понижують напругу мережі до безпечних 100 В (у високовольних КРУ) або використовуються як ізолюючі трансформатори керування.

4. Обладнання підтримки мікроклімату

Захищає апаратуру від впливу навколишнього середовища:

- **Резистивні нагрівачі (антиконденсатні):** Запобігають утворенню роси та корозії металу в холодну або вологу пору року.
- **Вентиляційні модулі:** Вентилятори та фільтрувальні решітки для примусового охолодження пристрою влітку.
- **Регулюючі органи:** Термостати та гігостати для автоматичного ввімкнення підігріву чи вентиляції.

5. Елементи внутрішнього монтажу та сервісу

Забезпечують фізичну цілісність, з'єднання та обслуговування вторинних кіл:

- **Комутаційні клемники:** Клемні колодки для впорядкованого підключення внутрішніх дротів та зовнішніх контрольних кабелів.
- **Конструктивні тримачі:** DIN-рейки, перфоровані кабель-канали, пластикові хомути, маркувальні елементи для дротів.
- **Блокувальні та сервісні пристрої:** Кінцеві вимикачі (для блокування увімкнення або для ввімкнення внутрішнього освітлення шафи при відкритті дверей), розетки для підключення інструменту тестування.

Питання для самоконтролю

1. Яка принципова різниця між головним (силовим) та допоміжним обладнанням комплектного пристрою?
2. До якої категорії (комплектний пристрій чи допоміжне обладнання) належить ящик керування асинхронним двигуном серії Я5000? Обґрунтуйте відповідь.
3. Які функції виконують трансформатори струму та напруги у вторинних колах КРУ?
4. Навіщо всередині шаф КСО або НКУ встановлюють антиконденсатні нагрівачі та термостати?
5. Назвіть конструктивні елементи, які використовуються для організації та фіксації вторинного монтажу в сучасних комплектних пристроях.
6. Що таке допоміжне обладнання комплектних пристроїв та чим воно принципово відрізняється від основного?
7. Які елементи НКП (низьковольтних комплектних пристроїв) відносяться до апаратури керування та сигналізації?
8. Назвіть щонайменше три прилади, які належать до вимірювального обладнання в електричних шафах.
9. Яку функцію виконують світлосигнальні індикатори на лицьовій панелі пристрою?
10. Для чого всередині комплектних пристроїв встановлюють розетки та внутрішнє освітлення?
11. Які пристрої забезпечують підтримку мікроклімату всередині шафи і чому це важливо для електроніки?

12. Чим відрізняється механічне блокування від електромагнітного в пристроях захисту та безпеки?
13. Яку роль відіграють кінцеві вимикачі (путівники) у забезпеченні безпеки персоналу?
14. Для чого використовуються клемні блоки (клемники) та чому важливо застосовувати маркування проводів?
15. Які апарати захищають самі кола керування та сигналізації від короткого замикання?
16. Що станеться з обладнанням комплектного пристрою взимку, якщо вийдуть з ладу внутрішні нагрівачі (обігрівачі)?
17. Чому для підключення вимірювальних приладів (амперметрів/лічильників) у комплектних пристроях обов'язково використовуються трансформатори струму, а не пряме підключення до шин?
18. Які наслідки для безпеки може мати відмова елементів блокування під час обслуговування комірки КРУ?

10. ПРОМІЖНИЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТОМ РОБОТИ ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОГО ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ

Контрольні заходи включають поточний контроль знань здобувачів. Поточний контроль є органічною частиною навчального процесу і проводиться під час практичних занять.

Форма поточного контролю має вид: на початку практичного заняття (за варіантом списку академічної групи електронного журналу) проводиться демонстрація презентації та доповіді за підсумками самостійного аналізу та дослідження представленої теми індивідуального завдання. Після чого, усна співбесіда за матеріалами розглянутої теми з оцінкою відповідей здобувачів (5-10 хв.).

При кредитно-модульній системі доповідь та вивчення теми самостійної роботи входять у модуль, який контролюється після закінчення логічно завершеної частини лекцій та інших видів занять з дисципліни та їх результати враховуються при виставленні підсумкової оцінки.

11. ПЕРЕЛІК ТЕМ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

ВИМИКАЧІ НАПРУГОЮ ПОНАД 1000 В

- 1 Масляні вимикачі
- 2 Повітряні вимикачі
- 3 Елегазові вимикачі
- 4 Вакуумні вимикачі
- 5 Електромагнітні та автогазові вимикачі
- 6 Умови вибору вимикачів
- 7 Приводи вимикачів

РОЗ'ЄДНУВАЧІ, ВІДДІЛЮВАЧІ ТА КОРОТКОЗАМИКАЧІ

- 1 Загальні відомості
- 2 Класифікація роз'єднувачів і вимоги до них
- 3 Роз'єднувачі для внутрішнього установалення
- 4 Роз'єднувачі для зовнішнього установалення
- 5 Короткозамикачі та відділювачі
- 6 Вибір роз'єднувачів та відділювачів

КОМУТАЦІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ ДО 1000 В

- 1 Неавтоматичні комутаційні апарати
- 2 Перемикачі та рубильники
- 3 Вибір рубильників
- 4 Запобіжники
- 5 Низьковольтні автоматичні комутаційні апарати
- 6 Автоматичні вимикачі
- 7 Вибір автоматичних вимикачів
- 8 Контактори та магнітні пускачі
- 9 Вибір контакторів та магнітних пускачів

РОЗРЯДНИКИ

- 1 Призначення розрядників і вимоги до них
- 2 Трубчасті розрядники
- 3 Вентильні розрядники
- 4 Обмежувачі перенапруг

ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ

- 1 Класифікація трансформаторів струму
- 2 Умовні позначення трансформаторів струму
- 3 Підключення та режим роботи трансформаторів струму
- 4 Основні параметри трансформаторів струму
- 5 Похибки трансформаторів струму
- 6 Метод підмагнічування магнітопроводу
- 7 Режим роботи трансформаторів струму
- 8 Робота трансформаторів при короткому замиканні
- 9 Режим роботи при розімкненій вторинній обмотці
- 10 Види та конструкції вимірювальних трансформаторів струму
- 11 Сучасні методи та засоби зменшення похибок вимірювальних трансформаторів
- 12 Пояс Роговського
- 13 Зображення трансформаторів струму в електричних схемах
- 14 Вибір трансформаторів струму

ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ НАПРУГИ

- 1 Призначення та основні характеристики
- 2 Похибки та їх залежності від різних факторів
- 3 Способи компенсації похибок
- 4 Конструкція вимірювальних трансформаторів напруги
- 5 Ємнісні подільники напруги (конденсаторні трансформатори напруги)
- 6 Вибір трансформаторів напруги

- 7 Антирезонансні трансформатори напруги
- 8 Трансформатори напруги антирезонансні з ізольованою нейтраллю
- 9 Антирезонансні трансформатори напруги 110 кВ
- 10 Антирезонансні трансформатори напруги 220 кВ

ВИПРОБОВУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

- 1 Класифікація видів випробувань. Призначення випробувань
- 2 Випробовування високовольтних вимикачів
- 3 Випробовування масляних вимикачів
- 4 Випробовування вакуумних вимикачів
- 5 Випробовування повітряних вимикачів
- 6 Випробовування елегазових вимикачів
- 7 Умови випробувань та вимірювань
- 8 Перевірка часових характеристик вимикачів

12. ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

Варіант 1

1. Яке призначення дугогасної камери в електричних апаратах високої напруги?

- А) Для захисту контактів від окислення.
- Б) Для швидкого охолодження та деіонізації електричної дуги. *(Правильна відповідь)*
- В) Для механічної фіксації контактів у закритому положенні.
- Г) Для ізоляції струмовідних частин від корпусу.

2. Яка деформація контактної поверхні виникає під дією великих струмів короткого замикання?

- А) Пружна деформація.
- Б) Електродинамічний відкид контактів. *(Правильна відповідь)*
- В) Повне зникнення контактної опори.
- Г) Кристалізація металу контактів.

3. Що таке «уставка» автоматичного вимикача?

- А) Максимальна напруга, яку витримує ізоляція.
- Б) Значення струму або часу, при якому спрацьовує розчіплювач. *(Правильна відповідь)*
- В) Час повного відключення апарата.
- Г) Кількість циклів увімкнення-вимкнення.

4. Яка основна перевага вакуумних вимикачів перед масляними?

- А) Нижча вартість виробництва.
- Б) Висока електрична міцність міжконтактного проміжку та екологічність. *(Правильна відповідь)*
- В) Можливість візуального контролю стану контактів.
- Г) Відсутність потреби у приводному механізмі.

5. Для чого в магнітних пусках використовується теплове реле?

- А) Для захисту двигуна від коротких замикань.
- Б) Для захисту двигуна від тривалих перевантажень. *(Правильна відповідь)*
- В) Для автоматичного пуску двигуна за графіком.
- Г) Для вирівнювання напруги в мережі.

6. Що називається перехідним опором контакту?

- А) Опір металу, з якого виготовлені контакти.
- Б) Опір у місці стику двох контактних поверхонь. *(Правильна відповідь)*
- В) Опір ізоляції між розімкнутими контактами.
- Г) Опір котушки електромагнітного привода.

7. Який процес є основним джерелом іонів в електричній дузі?

- А) Термоелектронна емісія та ударна іонізація. *(Правильна відповідь)*
- Б) Дифузія молекул повітря.
- В) Окислення поверхні контактів.
- Г) Конвекція нагрітих газів.

8. Яка головна відмінність роз'єднувача від вимикача?

- А) Роз'єднувач має потужну дугогасну систему.
- Б) Роз'єднувач призначений для створення видимого розриву кола без навантаження. *(Правильна відповідь)*
- В) Роз'єднувач працює лише в колах постійного струму.
- Г) Роз'єднувач керується виключно дистанційно.

9. Що станеться, якщо вибрати запобіжник з номінальним струмом плавкої вставки, який значно менший за робочий струм кола?

- А) Запобіжник вибухне при вмиканні.
- Б) Плавку вставку проїб'є високою напругою.
- В) Запобіжник буде постійно перегоряти при нормальній роботі обладнання. *(Правильна відповідь)*
- Г) Обладнання вийде з ладу через перегрів.

10. Як впливає збільшення натискання контактів на перехідний опір?

- А) Перехідний опір збільшується.
- Б) Перехідний опір зменшується. *(Правильна відповідь)*
- В) Перехідний опір не змінюється.
- Г) Перехідний опір стає рівним нулю.

Варіант 2

1. Який режим роботи електричного апарата характеризується тим, що температура його частин не встигає досягти установленого значення за час ввімкнення?

А. Переривчасто-тривалий режим

Б. Короткочасний режим

Правильна відповідь. Температура частин апарата зростає, але за час роботи не досягає сталого значення, а під час паузи охолоджується до температури середовища.

В. Тривалий режим

Г. Аварійний режим

2. Яку функцію виконує реактор в електричних мережах?

А. Вимірювання потужності

Б. Збільшення напруги в мережі

В. Корекція частоти струму

Г. Обмеження струмів короткого замикання

Правильна відповідь. Завдяки високому індуктивному опору реактор перешкоджає різкому зростанню струму при аварійних режимах.

3. Що таке 'електродинамічна стійкість' електричного апарата?

А. Здатність витримувати механічні зусилля від струмів КЗ

Правильна відповідь. Електродинамічні сили виникають внаслідок взаємодії провідників зі струмом і можуть деформувати конструкцію.

Б. Здатність ізоляції працювати при підвищеній напрузі

В. Максимальна кількість спрацювань механізму

Г. Здатність витримувати нагрівання струмами КЗ

4. Яка речовина має найкращі дугогасні властивості в сучасних вимикачах високої напруги?

А. Азот

Б. Елегаз (гексафторид сірки)

Правильна відповідь. Елегаз має високу здатність до захоплення електронів, що забезпечує швидке згасання дуги.

В. Повітря при атмосферному тиску

Г. Трансформаторне масло

5. Для чого контакти електричних апаратів покривають сріблом?

А. Для красивого вигляду

Б. Для зменшення перехідного опору та запобігання окисленню

Правильна відповідь. Оксиди срібла мають гарну провідність, що забезпечує стабільний контакт навіть при тривалій експлуатації.

В. Для збільшення температури плавлення

Г. Для підвищення механічної міцності

6. Який апарат використовується для автоматичного вимкнення кола при виникненні струму витоку на землю?

А. Пристрій захисного вимкнення (ПЗВ)

Правильна відповідь. ПЗВ порівнює струми у фазному та нульовому провідниках і спрацьовує при їхній нерівності (витоку).

Б. Роз'єднувач

В. Контакттор

Г. Запобіжник

7. Як називається процес розпаду нейтральних атомів газу на іони та електрони в дуговому проміжку?

А. Дифузія

Б. Рекомбінація

В. Деіонізація

Г. Іонізація

Правильна відповідь. Саме поява вільних носіїв заряду (іонів та електронів) робить газ провідним.

8. Яка частина електромагнітного реле створює магнітний потік?

А. Котушка зі струмом

Правильна відповідь. Протікання струму через витки котушки збуджує магнітне поле в сердечнику.

Б. Якір

В. Поворотна пружина

Г. Контактна система

9. Який параметр є визначальним при виборі запобіжника?

А. Колір корпусу

Б. Температура навколишнього повітря

В. Номінальний струм плавкої вставки

Правильна відповідь. Струм вставки повинен бути узгоджений з робочим струмом кола та пусковими струмами.

Г. Довжина дротів підключення

10. Для чого використовується короткозамикач у схемах підстанцій?

А. Для плавного пуску трансформаторів

Б. Для створення штучного короткого замикання

Правильна відповідь. Це робиться для того, щоб викликати спрацювання захисту на живильній лінії, якщо вимикач на підстанції відсутній.

В. Для вирівнювання навантаження фаз

Г. Для захисту персоналу від напруги

Варіант 3

1. Який метал має найвищу дугостійкість і використовується для наконечників силових контактів?

А. Вольфрам

Правильна відповідь. Завдяки надвисокій температурі плавлення вольфрам мінімально руйнується при виникненні потужної електричної дуги.

Б. Мідь

В. Алюміній

Г. Латунь

2. Що називається часом спрацювання автоматичного вимикача?

А. Час нагріву теплового розчіплювача до 100°C

Б. Час від моменту виникнення КЗ до повного згасання дуги

В. Час натискання на кнопку ввімкнення

Г. Час гарантійного терміну служби апарата

3. Яка головна функція вільного розчіплювача в автоматичному вимикачі?

А. Регулювання швидкості розходження контактів

Б. Нemoжливість утримувати контакти замкненими при наявності аварійного фактора

В. Можливість дистанційного ввімкнення

Г. Фіксація контактів у закритому стані

4. Як змінюється тягова сила електромагніту змінного струму при збільшенні повітряного проміжку?

А. Збільшується

Б. Стає рівною нулю миттєво

В. Залишається незмінною

Г. Зменшується

5. Яке призначення деіонної решітки в дугогасних камерах?

А. Захист від потрапляння пилу

Б. Покращення вентиляції всередині апарата

- В. Розбиття дуги на низку коротких дуг для швидкого охолодження
- Г. Збільшення терміну служби пружин

6. Який розчіплювач автоматичного вимикача забезпечує захист від миттєвих струмів КЗ?

- А. Тепловий
- Б. Гідравлічний
- В. Напівпровідниковий з великою витримкою
- Г. Електромагнітний

7. Для чого в контакторах змінного струму на частину осердя встановлюють короткозамкнений виток?

- А. Для швидкого розімкнення контактів
- Б. Для підсилення основного магнітного поля
- В. Для захисту від корозії
- Г. Для усунення вібрації та гудіння якоря

8. Яка головна перевага герконів (герметизованих контактів)?

- А. Висока комутаційна здатність (сотні ампер)
- Б. Можливість візуального контролю зносу
- В. Низька швидкість спрацювання
- Г. Повна ізоляція контактів від навколишнього середовища

9. Що таке 'установка' за часом у реле захисту?

- А. Час повернення реле у вихідний стан
- Б. Час виготовлення реле
- В. Задана витримка часу перед спрацюванням апарата
- Г. Час горіння дуги в камері

10. За якою ознакою класифікують електричні апарати на 'низьковольтні'?

- А. Робоча напруга до 1000 В включно
- Б. Робоча напруга до 100 В
- В. Призначення лише для побутової мережі
- Г. Мала потужність навантаження

11. Як впливає частота ввімкнень на нагрів контактів контактора?

- А. Не впливає взагалі
- Б. Чим вища частота, тим сильніше нагріваються контакти
- В. Впливає лише в колах постійного струму
- Г. Зі збільшенням частоти нагрів зменшується

12. Яке призначення ізоляторів в електричних апаратах?

- А. Механічне кріплення та електричне розділення частин під напругою
- Б. Транспортування енергії до споживача
- В. Покращення охолодження контактів
- Г. Збільшення ваги апарата для стійкості

13. Який принцип лежить в основі роботи біметалевої пластини в теплових реле?

- А. Використання магнітного притягання
- Б. Зміна електричного опору при тиску
- В. П'єзоелектричний ефект
- Г. Різниця в коефіцієнтах лінійного розширення двох металів

14. Що називається комутаційною зносостійкістю апарата?

- А. Термін зберігання апарата на складі
- Б. Кількість циклів ввімкнення-вимкнення без струму
- В. Кількість операцій комутації під навантаженням до заміни контактів
- Г. Максимальний струм, який витримує ізоляція

15. У чому полягає ефект «магнітного дуття»?

- А. Охолодження контактів потоком повітря
- Б. Створення звукового сигналу при аварії
- В. Виштовхування електричної дуги в дугогасну камеру за допомогою магнітного поля
- Г. Притягання металевого пилу до контактів

16. Який апарат призначений для захисту мереж від перенапруг (наприклад, від ударів блискавки)?

- А. Плавкий запобіжник
- Б. Розрядник або обмежувач перенапруг (ОПН)
- В. Вимірювальний трансформатор
- Г. Магнітний пускач

17. Що характеризує коефіцієнт повернення реле?

- А. Час, через який реле можна ввімкнути знову
- Б. Кількість запасних частин у комплекті
- В. Вартість утилізації апарата
- Г. Відношення параметра відпускання до параметра спрацювання

18. Чому контакти високовольтних вимикачів часто виконують у вигляді порожнистих циліндрів?

- А. Для полегшення монтажу дротів
- Б. Для кращого охолодження газом або маслом всередині та зовні
- В. Для створення музичного резонансу
- Г. Для зменшення ваги та економії металу

19. Яка частина контактора називається «головними контактами»?

- А. Контакти в колі керування
- Б. Контакти, що замикаються першими
- В. Контакти, призначені для комутації силового кола
- Г. Кнопки «Пуск» та «Стоп»

20. Який тип дугогасної камери використовується в повітряних вимикачах високої напруги?

- А. Камера з потужним дуттям стисненого повітря
- Б. Камера з піском
- В. Герметична вакуумна колба
- Г. Закрита камера з маслом

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

16.1. Основні джерела

1. Климко Б. В. (2021). Електричні апарати: комутація, керування та захист : навчальний посібник. – Київ : Каравела. 320 с.
2. Сегеда М. С., Козак О. М. (2022). Електричні апарати низької напруги : навчальний посібник. – Львів : Львівська політехніка. 256 с.
3. Гайденок Ю. А. (2023). Електричні апарати та засоби захисту : навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 280 с.
4. Трофименко П. Є. (2024). Електричні апарати : курс лекцій. – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка». 210 с.

16.2. Методичне забезпечення

5. Чепіжний А.В., Рясна О.В. (2022). Електричні апарати /Конспект лекцій для студентів 3 (2 с.т.) курсу бакалавр, спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», денна та заочна форма навчання, Суми. СНАУ. 64 с.
6. Чепіжний А.В., Рясна О.В. (2023). Електричні апарати/ Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни Електричні апарати для студентів 3 (2 с.т.) курсу бакалавр, спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», денна та заочна форма навчання – Суми. СНАУ. 59 с.

16.3. Інформаційні ресурси

7. Електронний репозиторій СНАУ. Електронний ресурс. URL: <https://repo.snau.edu.ua/>.
- Бібліотека ДНУЗТ, репозиторій. Електронний ресурс. URL: <https://library.diit.edu.ua/uk/catalog>, <https://library.diit.edu.ua/bluecatalog?category=books-and-other>.
8. Електронна наукова бібліотека НУБіП України. Електронний ресурс. URL: <http://elibrary.nubip.edu.ua>.
9. Навчально-інформаційний портал ННІ енергетики і автоматики. Електронний ресурс. URL: <http://energ.nauu.kiev.ua/>.
10. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського. Електронний ресурс. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/>.

16.4. Додаткові джерела

11. Лисенко О. В., Бондаренко В. М. (2020). Електричні апарати керування та захисту : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХПІ». 240 с.
12. Руденко В. С., Бурлака В. В. (2021). Електричні апарати електроенергетичних систем : навчальний посібник. Київ : НУБіП України. 300 с.
13. Slade P. G. (2021). Electrical Contacts: Principles and Applications. – 3rd ed. – Boca Raton : CRC Press. 1400 p.
14. Wilkins R. (2022). Electrical Power Equipment Maintenance and Testing. – 2nd ed. – Boca Raton : CRC Press. 520 p.
15. Ю.М.Куценко, В.Ф.Яковлев та ін. (2013). Електричні машини і апарати: навчальний посібник. К.: Аграрна освіта. 449 с.
16. Гурин В. В. (2016). Аппараты управления и защиты электрооборудования / В. В. Гурин, Н. А. Равинский. Минск: ИВЦ Минфина. 384 с.

Рясна Ольга Василівна

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: травень, 2026 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: 100 примірників Замовлення ____ Ум. друк. арк. 3.5
