

О.Г. Левченко, С.П. Денисюк, С.Ф. Каштанов

Електробезпека в енергетиці

Навчальний посібник



Київ-2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

О.Г. Левченко, С.П. Денисюк, С.Ф. Каштанов

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА В ЕНЕРГЕТИЦІ

Навчальний посібник

*Рекомендовано як навчальний посібник
для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Київ - 2022
Видавництво «Каравела»

Рецензенти:

Глива В.А., доктор технічних наук, професор, професор кафедри фізики Київського національного університету будівництва і архітектури.

Подольцев О.Д., доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Інституту електродинаміки НАН України.

Відповідальний редактор Полукаров Ю.О., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці, промислової та цивільної безпеки КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Е24 Електробезпека в енергетиці: навч. посіб. для студ. спеціальностей у галузі енергетики / О.Г. Левченко, С.П. Денисюк, С.Ф. Каштанов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: Видавець ФО-П Піча Ю.В., 2022. – 278 с.

ISBN 978-966-9607-71-3

Викладено основи і специфіку електробезпеки в галузі енергетики. Розглянуто питання безпеки праці з електричним обладнанням, електромагнітної безпеки та сучасні відомості про системи безпеки електричного обладнання. Посібник є складовим доповненням курсу лекцій “Охорона праці та цивільний захист” для студентів технічних спеціальностей закладів вищої освіти.

Призначений для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Може бути корисним інженерно-технічним працівникам у галузі енергетики, електротехніки та інших технічних спеціальностей, фахівцям з охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту.

УДК 537 / 614.8

О.Г. Левченко, С.П. Денисюк,
С.Ф. Каштанов., 2022

ISBN 978-966-9607-71-3

© Видавець ФО-П Піча Ю.В., 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	7
1.1. Дія електричного струму на людину	7
1.2. Актуальність проблеми електробезпеки	9
1.3. Чинники, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом	11
1.4. Умови ураження людини електричним струмом	17
1.5. Небезпека замикань на землю в ЕУ. Напруги непрямого дотику до корпусу ЕУ і кроку	23
1.6. Безпечна експлуатація електроустановок	27
1.7. Заходи захисту від прямого дотику в нормальному режимі роботи електроустановок	27
1.8. Заходи захисту в разі непрямого дотику в електроустановках.....	34
1.9. Захисне заземлення в електроустановках	41
1.10. Електрозахисні засоби (ЕЗЗ)	48
1.11. Організація безпечної експлуатації діючих електроустановок.....	52
1.12. Порядок надання першої допомоги потерпілим у разі ураження електричним струмом	56
Питання для самоконтролю до розділу 1	57
Розділ 2. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА БЕЗПЕКА	59
2.1. Фізична сутність та джерела електромагнітних полів та випромінювань	59
2.2. Дія на організм	62
2.3. Нормування та контроль електромагнітних полів	66
2.4. Оцінка параметрів електромагнітного поля у виробничих умовах.....	73
2.5. Вимоги до виробничих приміщень і розташування електричного обладнання.....	74
2.6. Заходи та засоби захисту від дії електромагнітних полів	76
Питання для самоконтролю до розділу 2... ..	79

Розділ 3. СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ТА ЇХ КОМПОНЕНТИ.....	80
3.1. Електротехнічні системи та засоби захисту	82
3.1.1. Багатофункціональні захисні пристрої комплексної дії для електромереж низької напруги	82
3.1.2. Спеціалізоване електрообладнання, призначене для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах.....	96
3.1.3. Релейний захист	125
3.1.4. Автоматичні вимикачі з функцією діагностик.....	135
3.1.5. Розподільні системи з підвищеним рівнем захисту для мереж середньої напруги (3кВ – 35 кВ)	151
3.1.6. Розподільні пристрої модульного типу для «інтелектуальних» мереж Smart Grid.....	189
3.1.7. Новітні інноваційні конструктивні рішення та технології у сфері безпеки експлуатації розподільних систем середньої напруги	206
3.2. Вимоги безпеки до систем управління промисловим обладнанням.....	216
3.2.1. Функції безпеки та їх реалізація в діючих системах управління	226
3.2.2. Сучасні технології і обладнання для систем управління з підвищеним рівнем безпеки, засоби автоматизації та сигналізації.....	246
Питання для самоконтролю до розділу 3	265
Список використаних джерел.....	273

Електрична енергія була і залишається найбільш розповсюдженим видом енергії, що застосовується в багатьох галузях промислового виробництва. Проте разом з притаманними їй перевагами (відносна легкість отримання, простота передачі на далекі відстані, легкість безпосереднього перетворення в інші потрібні види енергії тощо) вона має і певні недоліки. Недотримання вимог безпеки під час її використання і експлуатації електричного обладнання може становити небезпеку для здоров'я людини і обслуговуючого персоналу. У разі порушення правил електробезпеки електричний струм може створювати низку шкідливих і небезпечних фізичних факторів, які становлять загрозу отримання працівником електричної травми і, навіть, летального наслідку. Разом з тим, працюючи з джерелами електромагнітного випромінювання, характерного для електричного обладнання, а також населення, яке проживає поблизу джерел випромінювання та широко використовує в побуті електротехніку, можуть наражатись на небезпеку їх електромагнітного опромінення.

Електромагнітні поля (ЕМП), особливо, негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання. У разі дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Такі порушення виникають у результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної та сечостатевої систем людини. Тому в наш час особлива увага має приділятися питанням електричної та електромагнітної безпеки виробничого та побутового обладнання і створенню відповідних заходів та засобів захисту людини. При цьому одним з актуальних завдань сьогодення є подальше підвищення науково-освітнього та виховного рівня студентів, які навчаються за спеціальностями у галузі електроенергетики та іншими спорідненими технічними спеціальностями, уміння адекватно оцінювати можливі загрози, що виникають при користуванні електричним і електронним обладнанням.

Причинами необхідності створення цього навчального посібника є постійне зростання рівня небезпек, викликаних ускладненням електричного обладнання і процесів; відсутність у ньому спеціальних систем захисту від небезпечної дії електричного струму; помилки при

його проектуванні та експлуатації; зневажанням людиною своєю безпекою; не знанням або свідомим порушенням вимог безпеки праці.

У запропонованому навчальному посібнику викладено основи і специфіку електробезпеки у галузі енергетики. Розглянуто питання безпеки праці з електричним обладнанням, електромагнітної безпеки і, вперше, розглянуто сучасні закордонні дані про новітні системи безпеки електричного обладнання, яке починає впроваджуватись в Україні. Ці системи можуть використовуватись при проектуванні нового електричного обладнання або ними можна комплектувати наявні на виробництві електричні установки.

Даний навчальний посібник може бути суттєвим оригінальним доповненням відомого курсу лекцій з питань охорони праці для студентів технічних спеціальностей закладів вищої освіти. Він буде корисним для інженерно-технічних працівників у галузі енергетики та інших технічних спеціальностей, спеціалістів з охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту.

Цей посібник доповнює відомий курс з охорони праці сучасними даними про системи й компоненти безпеки при роботі з електричним обладнанням, яке застосовується в виробництві електричної енергії, і її споживанні в промисловому виробництві. Посібник відповідає програмі єдиного комплексного курсу «Охорона праці та цивільний захист», складеного в КПІ ім. Ігоря Сікорського у відповідності до законодавства України. Він розрахований на студентів вищих навчальних закладів технічних спеціальностей, зокрема для студентів, які навчаються за напрямком спеціальностей з електроенергетики та спеціалістів, що працюють у даній галузі, а також фахівців інших технічних галузей, де застосовуються різноманітні електричні системи.

Даний навчальний посібник написано з урахуванням усіх сучасних досягнень науки і техніки, сучасних методів та засобів захисту працюючих від електричного струму і електромагнітних випромінювань. Він доповнює існуючу інтегровану систему охорони праці, яка вивчає загальні закономірності виникнення потенційних небезпек, їх властивості, питання моніторингу й аналізу ризиків, основи санітарно-гігієнічних умов праці та методи захисту працюючих з електричним обладнанням.

Розділ 1 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

1.1. Дія електричного струму на людину

Протікання електричного струму через тіло людини супроводжується термічним, електролітичним, біологічним та механічним ефектами.

Термічна дія струму полягає в нагріванні тканин і випаровуванні вологи, викликає опіки, обвуглення тканин та їх розриви парою.

Електролітична дія струму проявляється в розкладі органічної речовини на катіони й аніони (її електролізі), у тому числі і крові, що зумовлює зміну її фізико-хімічних і біохімічних властивостей.

Біологічна дія струму проявляється в порушенні біологічних процесів, що протікають в організмі, супроводжується руйнуванням і збудженням тканин та скороченням м'язів.

Механічна дія струму полягає в розшаруванні, розриві та інших подібних пошкодженнях різних тканин організму (в тому числі м'язової тканини, стінок кровоносних судин та судин легеневої тканини) внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари від перегрітої струмом тканинної рідини та крові.

Сукупний результат термічної, електролітичної, біологічної та механічної дії електричного струму призводить до електричної травми. **Електротравма** – травма, зумовлена дією на людину електричного струму, електричної дуги або електромагнітного поля. Відповідно явище, яке характеризується сукупністю електротравм називається **електротравматизм**.

За результатами (наслідками) дії електротравми поділяють на:

- місцеві (локальні) – відбуваються місцеві ураження тканин і органів, наслідок яких не загрожує життю людини;
- загальні (електроудари) – відбуваються ураження життєво важливих систем і органів (опорно-рухового апарату, дихання, серця тощо), наслідок яких загрожує життю людини;
- змішані (водночас відбувається місцева та загальна електротравма).

Місцеві електротравми. До них відносяться: електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, електроофтальмія, механічні ушкодження.

Електричні опіки дуже болючі і важко підлягають лікуванню (важче аніж термічні або хімічні), особливо опіки внутрішніх органів.

Електричні знаки або мітки струму – це припухлість на поверхні шкіри у місці контакту тіла з електричним провідником, найчастіше округлої або овальної форми з ямочкою в центрі, розміром до 15 мм, жовтого чи жовто-сірого кольору. Вони безболісні, з часом сходять.

Електрометалізація (металізація) шкіри – це просочування поверхні шкіри частками металу, що випаровувався або розплавився під впливом електричного струму. Уражена ділянка шкіри має тверду жорстку поверхню з кольором, що відповідає кольору солей металу, який потрапив на шкіру. Ця ділянка дуже болюча. Особливо небезпечна металізація очей.

Електроофтальмія – запалення зовнішніх оболонок очей, що виникає внаслідок потужного потоку ультрафіолетового випромінювання електричної дуги. Електроофтальмія виявляється через 2-6 годин після опромінення і проявляється у формі почервоніння, запалення шкіри та слизових оболонок повік, слъозотечі, гнійних виділень з очей, спазм повік і часткового осліплення. Потерпілий відчуває сильний головний біль і різкий біль в очах. Хвороба триває, як правило, від 3 до 5 днів.

Механічні пошкодження, зумовлені різким судомним скороченням м'язів, проявляються у вигляді розривів шкіри, сухожилів, нервів, а також ампутації кінцівок.

Загальні електротравми (електричні удари) за наслідком поділяються на такі види:

- **судомні скорочення м'язів без втрати свідомості**, система дихання та серцево-судинна система працюють нормально;
- **судомні скорочення м'язів з короткочасною втратою свідомості**, але із працюючими системами дихання та серцево-судинною;

- **втрати свідомості й порушення роботи серцево-судинної системи чи системи дихання**. Порушення роботи серця в результаті прямої дії або рефлекторного впливу спричиняє його зупинку або перехід у стан фібриляції. Порушення роботи системи дихання в результаті прямої дії електричного струму на м'язи грудної клітки або рефлекторного впливу спричиняє задуху;

- **клінічна смерть** – перехідний період між життям і біологічною смертю. На цьому етапі припиняється діяльність серця і дихання,

повністю зникають всі зовнішні ознаки життєдіяльності організму. Триває не більше 3-4 хвилин, максимум 5-6 хвилин (у разі зниженої або нормальної температури тіла). Можливе виживання;

- **електричний шок** – тяжка нервово-рефлекторна реакція організму на дію електричного струму, в результаті якої виникають глибокі зміни у життєво важливих системах організму: дихання, кровообігу, нервовій тощо; такий стан може продовжуватись від декількох хвилин до доби і закінчуватись або одужанням у результаті активного лікування або смертю потерпілого;

- **запізнiла смерть**, яка настає через кілька годин або діб після дії струму, в результаті раптової зупинки серця, набряку легенів чи нирок.

Порушення роботи серця може статись у двох видах: зупинки серця або його фібриляції. Серце може зупинитись у двох станах: стисненому або послабленому. Якщо серце зупинилося у стисненому стані, то вивести його з цього стану неможливо; а якщо у послабленому стані, то шляхом застосування масажів можна відновити його роботу. Стан фібриляції – це стан, в якому м'язи серця (фібрили) стискаються і послаблюються у різні проміжки часу (замість одночасного). У такому стані серце не може перекачувати кров по організму. Надання допомоги людині, коли серце знаходиться у стані фібриляції, марне. Спочатку серце слід зупинити, а потім робити масаж до появи ознак життя.

Біологічна смерть від дії електричного струму настає через опіки більше ніж 2/3 поверхні шкіри або внутрішніх органів, порушення роботи системи дихання, порушення роботи серця, після клінічної смерті, електричного шоку або як запізнiла смерть.

1.2. Актуальність проблеми електробезпеки

Електробезпека – відсутність загрози з боку електроустановок життю, здоров'ю та майну людей, тваринам, рослинам і довкіллю, яка перевищує допустимий ризик.

Актуальність проблем електробезпеки в наш час характеризується наступними умовами:

- широким розповсюдженням електричної енергії в усіх без винятку проявах життя і діяльності людини: на виробництві, транспорті, побуті тощо;

- умовами виникнення електротравм;

- особливостями електротравматизму;
- великою кількістю електротравм в Україні.

Як у кінці XX, так і на початку XXI століття електрична енергія була і залишається найбільш розповсюдженим видом енергії, що пов'язано з перевагами, притаманними їй: відносна легкість отримання, простота передачі на далекі відстані і дроблення на будь які частини, легкість безпосереднього перетворення в інші потрібні види енергії.

Електротравми виникають у випадку потрапляння людини під напругу, тобто у випадку дотику чи наближення до точки, потенціал якої відрізняється від потенціалу землі, або до двох точок електричної мережі з різними потенціалами. Електротравматизму в порівнянні з травматизмом від інших чинників притаманні такі особливості:

1 – несподіваність отримання електротравми – пов'язана з тим, що людина не має датчиків (рецепторів), за допомогою яких вона могла би дистанційно визначити наявність небезпеки (електричної напруги) на елементах обладнання (як, наприклад, інші небезпечні фактори – частини обладнання, що рухаються, нагріті деталі тощо). Не знаючи про небезпеку, людина сміливо торкається частини обладнання під напругою. Захисна реакція у цьому випадку виникає лише після включення людини під напругу, тобто після того, як через неї починає протікати електричний струм.

Наслідки такого включення визначаються співвідношенням двох швидкостей: швидкості гальмівної дії електричного струму і швидкості захисної реакції організму. Якщо більше швидкість захисної реакції, людина самостійно відключається з електричної мережі, а якщо більшою є швидкість гальмівної дії електричного струму, людина на певний час залишається включеною в електричне коло.

2 – можливість дистанційного отримання електротравм без безпосереднього контакту з установкою під напругою – це може бути ураження через електричну дугу, якщо людина наблизилася на критичну відстань до електричної установки напругою понад 1 кВ або ураження напругою кроку, якщо людина знаходиться в зоні локальної землі. *Локальна земля (зона розтікання)* – частина землі, яка перебуває в електричному контакті із заземлювачем і електричний потенціал якої не дорівнює нулю.

3 – можлива рефлекторність дії електричного струму – електричний струм, що протікає через тіло людини під час ураження,

діє не тільки в місцях контактів (точка входу і точка виходу), але ще спричиняє й рефлекторну дію, порушуючи роботу центрів, які координують роботу життєво важливих органів, найчастіше серцево-судинної системи та дихання.

4 – невідомість, прихованість більшості електротравм – розслідуванню, обліку та аналізу доступні лише електротравми з тяжкими та смертельними наслідками, а всі інші випадки включення людини в електричне коло залишаються невідомими, хоча причини цих електротравм, як правило, однакові; такий стан негативно впливає на профілактику електротравм.

Статистичні дані показують, що у загальному виробничому травматизмі електротравми складають до 2% (в Україні приблизно 1,2%), тобто посідають останнє місце, а в травматизмі зі смертельним наслідком – висувуються на одне з перших місць, складаючи 10- 20% (в Україні близько 20%). Особливо високий в Україні рівень побутового електротравматизму.

1.3. Чинники, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом

Тяжкість ураження людини електричним струмом залежить від ряду факторів. Усі ці фактори умовно розділені на три групи: фактори електричного характеру, фактори неелектричного характеру і фактори довкілля (виробничого середовища).

Фактори електричного характеру

Головним вражаючим фактором у випадку електротравм вважається **електричний струм**, що протікає через людину. Від величини (сили) цього струму залежать наслідки ураження.

Виділяють наступні порогові значення сили струму, тобто ті мінімальні значення, що викликають певні дії:

- пороговий відчутний струм – це мінімальна сила струму, яку людина сприймає у вигляді ледь відчутних подразнень; її значення для змінного струму дорівнює 0,7-1,5 мА, для постійного – 5-7 мА;
- пороговий невідпускаючий струм – це мінімальна сила струму, що викликає судомне скорочення м'язів, і людина не може самостійно звільнитися від струмовідних частин; її значення для змінного струму дорівнює 10 – 15 мА, для постійного – 50-80 мА;

• пороговий фібриляційний струм – це мінімальна сила струму, що викликає фібриляцію серця; її значення для змінного струму дорівнює 100 мА, для постійного – 300 мА.

Допустимі значення сили струму у випадку тривалої дії: для змінного струму промислової частоти – 0,3 мА, для постійного – 1 мА.

Напруга на тілі людини впливає на тяжкість ураження, обернено пропорційно впливаючи на електричний опір тіла людини і визначаючи силу струму, що протікає через людину. Допустима напруга на тілі людини у випадку тривалої дії складає для змінного струму 2 В, для постійного – 8 В. Необхідно розрізняти напругу електричної мережі і на тілі людини. Напруга на тілі людини часто менша ніж напруга електричної мережі. Встановлено, що у випадку потрапляння людини під напругу до 1 кВ найчастіше уражується серцево-судинна система, а понад 1 кВ – система дихання.

Опір кола людини. Розглядаючи випадки включення людини в електричне коло (наприклад, дотик людини до струмовідної частини, рис. 1.1, а), бачимо, що послідовно з опором тіла людини "включені" опори інших елементів (рис. 1.1, б): опір одягу, опір взуття та опір опорної поверхні ніг.

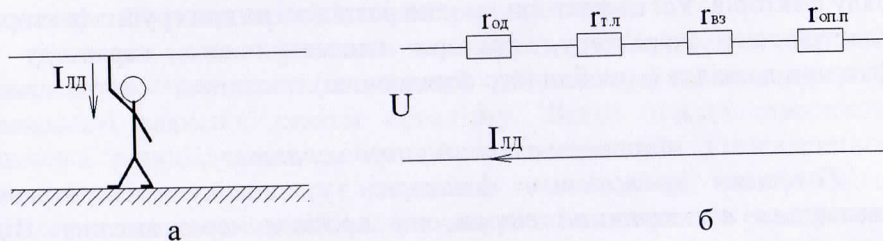


Рис. 1.1. Схема дотику людини до струмовідної частини: а – загальна схема; б – еквівалентна схема: $r_{од}$ – опір одягу, $r_{т.л}$ – опір тіла людини, $r_{вз}$ – опір взуття, $r_{оп.п}$ – опір опорної поверхні ніг

Опір одягу «включається» в коло людини, якщо людина торкається обладнання під напругою частиною тіла, покритою одягом (наприклад, плечем, рукою в рукавичці тощо), Опір одягу залежить від виду, товщини матеріалу та вологості; так, опір сухого одягу сягає 3-5 кОм, вологого – до 1 кОм, а мокрого – не враховується.

Опір взуття «включається» в коло людини, якщо струм проходить через людину і в землю. Слід враховувати, що опори кожної ділянки

підшви взуття «включаються» паралельно, якщо струм протікає так, як показано на рис. 2.10, а, і послідовно, якщо людина попадає під напругу кроку. Опір підшви взуття залежить від матеріалу, товщини і вологості підшви. Дуже високий опір має підшва з гуми, великий опір має підшва з натуральної шкіри. З реальних підшов: суха підшва має опір до 20 кОм, волога – декілька кОм, опір мокрої підшви не враховується.

Опір опорної поверхні ніг – це опір підлоги чи ґрунту, на яких стоїть людина. Опір опорної поверхні ноги на дерев'яній підлозі сягає 3-5 кОм, а підлоги з інших матеріалів, крім неспеціальних, мають менший опір.

Опір тіла людини. Тіло людини являє собою складний комплекс тканин, електричні параметри яких різняться в широкому діапазоні. Найбільшу провідність має кров, м'язи, мозок; найменшу – шкіра, кістки, жирова тканина. Характер електричного опору тіла людини є активно-ємнісним.

Опір шкіри залежить від її стану, щільності та площі контактів, прикладеної напруги, сили та тривалості протікання струму.

Найбільший опір має суха чиста непошкоджена шкіра. Збільшення площі та щільності контактів зі струмовідними частинами зменшує опір шкіри. Зі збільшенням прикладеної напруги опір шкіри зменшується в результаті пробивання верхнього шару. Збільшення величини струму, що протікає, або тривалості його протікання зумовлює збільшення нагріву верхнього шару шкіри і потовиділення в місці контакту, що також зменшує електричний опір шкіри. Ємність шкіри залежить від площі контакту і складає близько $0,02 \text{ мкФ/дм}^2$.

Опір внутрішніх органів також має активно-ємнісний характер, але ця ємність незначна і нею можна знехтувати. Опір активного складника залежить в основному від прикладеної напруги і становить 600-300 Ом.

Зі збільшенням напруги загальний опір тіла зменшується. Опір тіла людини залежить від статі і віку людей: у жінок цей опір менший, аніж у чоловіків; у дітей та молодих людей менший, аніж у літніх людей.

Для спрощення умовились вважати для наближених розрахунків, що опір тіла людини електричному струму – величина стабільна, лінійна, активна і становить 1000 Ом. Це відповідає більшості випадків включення людини в електричне коло (близько 150 В).

Вид струму – постійний чи змінний. Вважається, що постійний струм, який проходить через тіло людини, порівняно зі змінним, викликає менш неприємні відчуття. Але це справедливо лише для напруг до 300 В. Із подальшим збільшенням напруги небезпека постійного струму зростає і в інтервалі напруг 400-600 В практично дорівнює небезпеці змінного струму з частотою 50 Гц, а за напруг понад 600 В навіть перевищує її (рис. 1.2, а).

Частота змінного струму. Небезпечними для людини є струми з частотою 20-200 Гц. Із зменшенням чи підвищенням частоти небезпека зменшується і зовсім зникає за частоти 450 кГц і більше (рис. 1.2, б). Найбільш небезпечним вважається струм з частотою 50-60 Гц (промислові частоти) через те, що деякі внутрішні органи мають власні частоти коливання у цьому діапазоні, і протікання таких струмів може викликати резонансні явища.

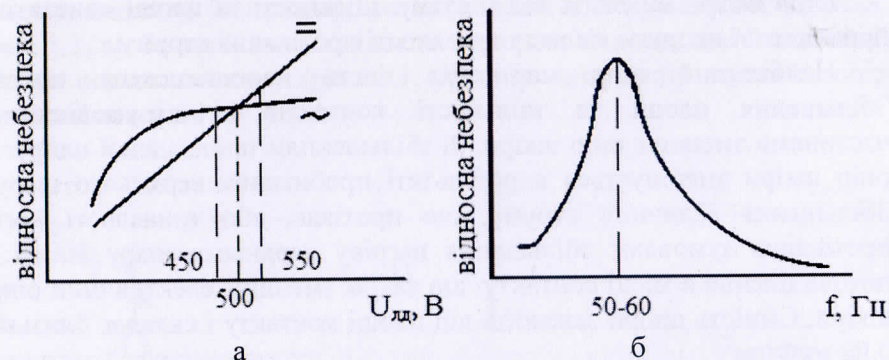


Рис. 1.2. Залежність небезпеки ураження людини електричним струмом від: а – виду струму; б – частоти змінного струму

Фактори неелектричного характеру

Основними факторами неелектричного характеру є шлях струму через людину, тривалість протікання струму, індивідуальні особливості, стан організму людини і фактор уваги.

Шлях струму через тіло людини суттєво впливає на тяжкість ураження. Особливо небезпечно, коли струм проходить через життєво важливі органи і безпосередньо на них впливає. Якщо струм не проходить через ці органи, то він може впливати на них тільки

рефлекторно (через центральну нервову систему), і вірогідність ураження цих органів менша.

Можливі шляхи струму через тіло людини називають петлями струму: «рука-рука», «голова-ноги», «рука-ноги» тощо. Серед випадків з тяжкими і смертельними наслідками частіше спостерігають петлі «рука-рука» (40%), «права рука-ноги» (20%), «ліва рука-ноги» (17%). Особливо небезпечними є петлі «голова-руки» і «голова-ноги», але трапляються вони досить рідко.

Тривалість дії електричного струму. Вплив цього чинника на тяжкість ураження обумовлений тим, що зі збільшенням тривалості протікання електричного струму зменшується опір тіла людини через зволоження шкіри і величина струму відповідно збільшується, а також виснажуються захисні сили організму, що протистоять електричній енергії.

Індивідуальні особливості і стан організму. До індивідуальних особливостей організму, які впливають на тяжкість ураження електричним струмом, належать: чутливість організму до дії струму, психічні особливості та тип темпераменту людини (холерики, сангвініки, флегматики, меланхоліки). Аналіз електротравматизму свідчить, що більш чутливі до дії електричного струму холерики та меланхоліки.

Крім індивідуальних особливостей тяжкість ураження електричним струмом значною мірою залежить від стану організму. До більш тяжких уражень електричним струмом призводять: стан збурення нервової системи, депресії; захворювання шкіри, серцево-судинної системи, органів внутрішньої секреції, легенів, різного характеру запалення, що супроводжуються підвищенням температури тіла, пітливість тощо. Більш тяжкі наслідки дії струму чітко спостерігаються в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння через послаблення організму.

Чинник уваги. Вплив цього чинника на тяжкість ураження зумовлений тим, що у випадку несподіваного попадання людини під напругу захисні функції організму не налаштовані на небезпеку. Експериментально встановлено, якщо людина чітко усвідомлює загрозу можливості потрапити під напругу, то в результаті реалізації цієї загрози значення порогових струмів на 30-50% вищі. І навпаки, якщо така загроза не усвідомлюється і дія струму проявляється несподівано, значення сили порогових струмів будуть меншими.

Фактори довкілля (виробничого середовища)

Серед чинників довкілля головну роль у впливі на ступінь ураження людини електричним струмом відіграють такі як температура, вологість, забруднення та характер площадки, на якій знаходиться людина в момент ураження її електричним струмом.

З підвищенням температури повітря в приміщенні посилюється потовиділення, зволожується одяг, взуття. Це призводить до зниження опору на ділянці включення людини в електричну мережу.

Вологість повітря в приміщенні аналогічно впливає на опір на ділянці включення людини в електричну мережу. Крім того, підвищення вологості знижує опір ізоляції електроустановки.

Запиленість повітря в приміщенні, особливо струмопровідним пилом, також негативно впливає на опір ізоляції установки, сприяє переходу напруги на неструмовідні частини установки, коротким замиканням тощо.

Забруднення повітря хімічно-активними речовинами та біологічне середовище, що у вигляді плісняви утворюється на електрообладнанні, також негативно впливає на стан ізоляції електроустановок, руйнує її, зменшує опір на ділянці включення людини в електромережу за рахунок зниження перехідного опору між струмопровідними частинами і тілом людини.

Характер площадки, на якій стоїть (знаходиться) людина також суттєво впливає на загальний опір кола людини.

Вплив чинників виробничого середовища на тяжкість ураження людини електричним струмом знайшов відображення в нормативних документах. Згідно ПУЕ всі виробничі приміщення за безпекою ураження електричним струмом підрозділяються на три групи: приміщення без підвищеної небезпеки, приміщення з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні приміщення

Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю однієї з умов, що спричиняють підвищену небезпеку:

- підвищена вологість повітря (вологість повітря тривалий час перевищує 75%); наявність у повітрі струмопровідного пилу (вугільного, металевого);
- наявність струмопровідних підлог (земляні, бетонні, цегляні, металеві тощо);
- підвищена температура повітря (постійно або періодично, більше доби перевищує $+35^{\circ}\text{C}$);

- можливість одночасного дотику людини до будівельних або технологічних металоконструкцій, що мають гарний контакт із землею з одного боку і до корпусів електричних установок – з іншого боку.

Особливо небезпечні приміщення характеризуються одночасною наявністю двох або більше умов підвищеної небезпеки або однієї з наступних:

- особлива вологість повітря (вологість близька до 100%);
- хімічно або біологічно активне середовище, що діє руйнівню на ізоляцію і струмовідні частини устаткування (пари кислот, лугів, мікроорганізмів).

Приміщення без підвищеної небезпеки – приміщення, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку.

Зовнішні установки або установки під навісами прирівнюються до електричних установок у особливо небезпечних приміщеннях.

Аналізуючи всі наведені чинники, що впливають на тяжкість ураження електричним струмом, ми можемо виділити серед них п'ять окремих чинників (або їхніх груп), не пов'язаних між собою з точки зору впливу на людину, а саме:

- сила струму;
- вид струму (постійний чи змінний) та частота змінного струму;
- шлях струму в організмі;
- тривалість дії;
- індивідуальні особливості і стан організму, в тому числі уважність, в момент ураження.

1.4. Умови ураження людини електричним струмом

Загальна характеристика ЕУ

Вивчення понять ураження людини електричним струмом розпочинається з визначення таких понять як електрична установка, електрична мережа, електричне приміщення та їх складових.

Електрична установка (електроустановка, ЕУ) – це установка, в якій виробляється, перетворюється, передається, розподіляється та споживається (перетворюється в інші види) електрична енергія. Виходячи з наведеного визначення, під поняття «електроустановка» підпадають як велике обладнання електричних станцій та підстанцій, так і окремі електродвигуни та інша промислова ЕУ, комп'ютери, будь-який побутовий споживач електроенергії, у т.ч. кожна

електрична лампочка, вимикач, розетка. Більшість працівників підприємств (за виключенням електротехнічного персоналу) мають справу з електроустановками, що споживають і розподіляють електричну енергію.

За видами струму ЕУ поділяють на установки змінного та постійного струму. Найбільш розповсюджені ЕУ змінного струму. Найпоширеніші, в т.ч. і в Україні, ЕУ змінного струму з частотою 50 Гц. Тому в цьому підрозділі, коли мова йтиме про ЕУ змінного струму, слід сприймати інформацію стосовно ЕУ з частотою 50 Гц. ЕУ змінного струму поділяють на однофазні та трифазні.

Електрична мережа (електромережа, ЕМ) – сукупність ЕУ, призначених для постачання та розподілу електричної енергії від постачальників до кінцевих споживачів. Вона складається з генеруючих станцій, високовольтних ліній електропередач та розподільчих ліній, які доставляють енергію до розподільчих пристроїв підстанцій, ввідних пристроїв, ввідно-розподільчих пристроїв, та головних розподільчих щитів.

Однофазні ЕМ – це мережі, які живляться від окремої обмотки джерела живлення (генератора чи трансформатора, ДЖ), яка не має електричних з'єднань з іншими обмотками. Такі ЕМ застосовуються дуже рідко. В абсолютній більшості випадків застосовуються трифазні ЕМ і трифазні споживачі. Трифазні ЕМ живляться від трьох обмоток і мають певні електричні з'єднання між собою (рис. 2.10). Трифазні ЕМ напругою понад 1 кВ мають три фазні провідники (позначаються L1, L2, L3), а напругою до 1 кВ – п'ять чи чотири провідники, у т.ч. три фазні, один нейтральний (для отримання фазної напруги – N) і один захисний (для забезпечення експлуатації ЕУ – PE), якщо ЕМ п'ятипровідна або один суміщений провідник (поєднує функції нейтрального і захисного – PEN), якщо ЕМ чотирипровідна.

Споживачі електричної енергії можуть бути трифазні, які живляться від усіх трьох фаз, найчастіше – це електродвигуни. Рідше в умовах виробництва трапляються однофазні споживачі, які живляться від одного фазного і нейтрального (N) проводів. Це, переважно, освітлювальні установки та ЕУ невеликої потужності, у т.ч. і ПЕОМ. Однофазні ЕУ найчастіше застосовують у побуті. Хоча ці ЕУ й однофазні, але живляться вони не від однофазних мереж, а від трифазних. Тому у випадку вирішення питань безпеки слід вважати, що вони отримують живлення від трифазної ЕМ, будучи її

частиною, і на них розповсюджуються всі положення щодо трифазних ЕМ.

Трифазні мережі мають дві напруги: фазну (U_{ϕ}) між фазним і нейтральним провідниками (або між фазним провідником і землею) та лінійну ($U_{\text{л}}$) між двома фазними провідниками. Лінійна напруга в $\sqrt{3}$ більша фазної ($U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\phi}$). За величиною напруги ЕУ підрозділяються на установки напругою до 1 кВ (включно за діючою величиною) і понад 1 кВ. Для ЕУ напругою до 1 кВ прийнято вказувати обидві напруги – спочатку зазначається лінійна, потім фазна, а понад 1 кВ – тільки лінійну напругу. Стандартними напругами до 1 кВ є: 220/127, 380/220 та 660/380 В.

Найбільш розповсюдженими є ЕУ з напругою 380/220 В (трифазні споживачі) чи 220 В (однофазні споживачі). Стандартними напругами понад 1 кВ є: 6, 10, 35, 110, 150, 220, 330, 400, 500 і 750 кВ.

Щодо заходів електробезпеки (і режиму нейтралі ДЖ відносно землі) ЕУ поділяють на:

- ЕУ напругою до 1 кВ в ЕМ із глухозаземленою нейтраллю;
- ЕУ напругою до 1 кВ в ЕМ із ізолюваною нейтраллю;
- ЕУ напругою понад 1 кВ в ЕМ із ізолюваною, компенсованою або (і) заземленою через резистор нейтраллю;
- ЕУ напругою понад 1 кВ в ЕМ із глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю.

На рис. 1.3 показана ЕМ напругою 10 кВ з ізолюваною від землі нейтраллю і ЕМ напругою 380/220 В – з глухозаземленою нейтраллю.

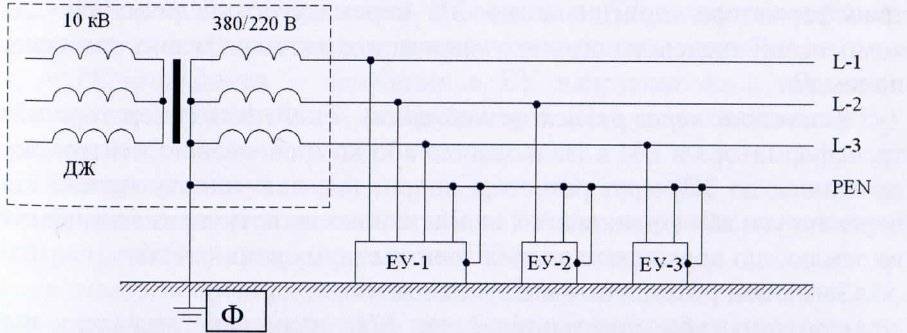


Рис. 1.3. Схема живлення ЕУ від трифазної ЕМ з глухозаземленою нейтраллю: ДЖ – джерело живлення; ФЗ – функціональне заземлення; ЕУ-1 – трифазний споживач (наприклад, двигун); ЕУ-2, ЕУ-3 – однофазні споживачі

В ЕУ напругою до 1 кВ, як правило, застосовують глухозаземлену нейтраль ДЖ (крім шахт, кар'єрів, спеціальних лабораторій та ін.), а більш як 1 кВ: ізольовану, компенсовану або (і) заземлену через резистор нейтраль в ЕУ напругою 6, 10 і 35 кВ, а вище – глухозаземлену або ефективно заземлену.

ЕМ з ефективно заземленою нейтраллю – трифазна ЕМ напругою більш як 1 кВ, у якій коефіцієнт замикання на землю не перевищує 1,4. Коефіцієнт замикання на землю у трифазній ЕМ – це відношення різниці потенціалів між неушкодженою фазою і землею після замикання до різниці потенціалів між фазою і землею в тій же точці до замикання. Точка землі – точка замикання на землю другої або двох інших фаз.

Глухозаземлена нейтраль – нейтраль генератора або трансформатора, приєднана до заземлювального пристрою (ЗП) безпосередньо або через малий опір (наприклад, трансформатор струму). Глухозаземленням може бути також вивід джерела однофазного струму або полюс джерела постійного струму в двопровідних мережах, а також середня точка джерела трипровідних ЕМ змінного і постійного струму.

Ізольована нейтраль – нейтраль генератора або трансформатора, не приєднана до ЗП або приєднана до нього через великий опір приладів сигналізації, вимірювання та інших подібних до них пристроїв, наявність яких практично не впливає на силу струму замикання на землю.

Компенсована нейтраль – нейтраль генератора або трансформатора, приєднана до ЗП через дугогасні реактори для компенсації ємнісного струму у мережі під час однофазних замикань на землю.

Заземлена через резистор нейтраль – нейтраль генератора або трансформатора в ЕМ з ізольованою або компенсованою нейтраллю, приєднана до ЗП через резистор, наприклад, для захисту мережі від перенапруги або (і) виконання селективного захисту в разі замикання на землю, що призводить до збільшення струму замикання.

За місцем розташування ЕУ поділяють на:

- закриті або внутрішні – це ЕУ, захищені будівлею від атмосферного впливу;
- відкриті або зовнішні – це ЕУ, не захищені будівлею від атмосферного впливу.

ЕУ, захищені тільки навісами, сітковими огороженнями і т.п. розглядаються як зовнішні.

Електричні приміщення (електроприміщення) – це приміщення або відгороджені, наприклад, сітками, частини приміщень, у яких розміщено ЕУ, доступні виключно для кваліфікованих обслуговуючих працівників.

ЕУ мають наступні основні конструктивні елементи:

- провідна частина – будь яка частина, яка має властивість проводити електричний струм;
- провідник – провідна частина, призначена для проведення електричного струму певного значення;
- лінійний (фазний) провідник (L) – провідник, який у нормальному режимі роботи ЕУ знаходиться під напругою і використовується для передавання і розподілу електричної енергії, але не є провідником середньої точки або нейтральним провідником;
- нейтральний провідник (N-провідник) – провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, електрично з'єднаний з нейтральною точкою ДЖ і використовується для розподілення електричної енергії;
- нейтральна точка – спільна точка з'єднаної у зірку багатофазної системи або заземлена точка однофазної системи;
- провідник середньої точки (M-провідник) – провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, який електрично з'єднаний з середньою точкою ДЖ і використовується для розподілення електричної енергії;
- захисний провідник – провідник призначений для забезпечення електробезпеки;
- РЕ-провідник – захисний провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, призначений для захисту від ураження електричним струмом;
- PEN-провідник – провідник в ЕУ напругою до 1 кВ, який поєднує в собі функції нейтрального (N-) і захисного (PE-) провідників;
- струмовідна частина – провідник або провідна частина, що перебуває в процесі нормальної роботи ЕУ під напругою, включаючи нейтральний (N-) провідник, але не (PE-) провідник;
- відкрита провідна частина – провідна частина ЕУ, доступна для дотику, яка в процесі роботи не перебуває під робочою напругою, але може опинитися під напругою в разі ушкодження ізоляції струмовідних частин (наприклад, корпусу ЕУ);
- стороння провідна частина – провідна частина, яка не є частиною ЕУ, здатна виносити електричний потенціал, як правило,

електричний потенціал локальної землі (наприклад, рейки під'їзних колій, металеві труби, будівельні металоконструкції, оболонки комунікацій тощо).

Небезпека експлуатації ЕУ полягає в можливості включення людини під напругу дотику і напругу кроку:

- **напруга дотику** – це напруга, яка виникає на тілі людини або тварини у разі одночасного дотику до двох провідних частин;

- **напруга кроку** – це напруга між двома точками на поверхні локальної землі, розташованими на відстані 1 м одна від одної, що відповідає довжині великого кроку людини.

Згідно ПУЕ розрізняють дві схеми дотику людини:

- **прямий дотик** – це електричний контакт людей зі струмовідними частинами, що перебувають під напругою, або наближення до них на небезпечну відстань;

- **непрямий дотик** – це електричний контакт людей з відкритою провідною частиною (найчастіше – корпусом ЕУ), яка опинилася під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

Небезпека прямого дотику до струмовідних частин однофазних мереж і мереж постійного струму

В однофазних мережах змінного струму і мережах постійного струму можуть бути два види прямого дотику:

- однополюсний прямий дотик – це дотик людини, що стоїть на провідній основі (землі), до одного полюса мережі;

- двополюсний прямий дотик – це дотик людини до двох полюсів мережі.

Порівнюючи випадки прямого дотику в однофазних мережах змінного і постійного струму, можна стверджувати наступне:

- найбільш небезпечний випадок двополюсного прямого дотику через те, що в цьому випадку сила струму через людину $I_{\text{л}}$ матиме найбільше значення, оскільки опір тіла людини буде мінімальним, а струм протікатиме за найбільш небезпечним шляхом;

- найменш небезпечний випадок однополюсного прямого дотику в мережі ізольованій від землі, тому що у цьому випадку сила струму через людину обмежується великим значенням опору витоку.

Небезпека прямого дотику до струмовідних частин трифазних ЕМ

У трифазних ЕМ можуть бути три види прямого дотику:

- однофазний прямий дотик – це дотик людини, що стоїть на провідній основі, до одного фазного провідника;

- двофазний прямий дотик – це одночасний дотик людини до двох різних фазних провідників;

- одночасний дотик до фазного і N-, PE- чи PEN- провідників у мережах напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю.

Аналізуючи розглянуті випадки прямих дотиків людини до струмовідних частин трифазних ЕМ, можемо зробити такі висновки:

- найбільш небезпечними є випадки прямих однофазних дотиків як за силою струму, що протікає через людину, так і за шляхом струму – за верхньою стандартною петлею;

- найменш небезпечними є випадки прямих однофазних дотиків у ЕМ з ізольованою нейтраллю;

- небезпечними є також випадки прямих однофазних дотиків у разі аварійного стану ЕМ з ізольованою нейтраллю, коли людина потрапляє під лінійну напругу.

1.5. Небезпека замикань на землю в ЕУ. Напруги непрямого дотику до корпусу ЕУ і кроку

Замикання на землю в електроустановках

Замикання на землю в ЕУ відбувається в таких випадках:

- обриву і падіння на землю проводів ПЛ під напругою;
- пробією ізоляції КЛ і замикання фази на землю;
- пошкодження ізоляції і замикання на заземлений корпус ЕУ.

Небезпека замикань на землю в ЕУ зумовлена властивістю струму повертатись до свого джерела (у даному випадку через землю) і тим, що ґрунт чинить опір струму, який протікає. Через це на поверхні ґрунту з'являються потенціали.

Закон розподілу потенціалів на поверхні землі у випадку замикань на землю. Розглянемо класичний випадок – замикання на напівсферичний заземлювач біля поверхні землі. Через заземлювач стікає струм замикання на землю $I_{\text{зз}}$ (рис. 1.4, а).

Нас цікавить закон розподілу потенціалів на поверхні землі біля заземлювача. Потенціал у точці А, що знаходиться на відстані x від заземлювача, запишеться рівнянням:

$$\varphi_a = I_{\text{зз}} \rho / (2\pi x) = k / x; \quad (1.1)$$

де ρ – питомий опір ґрунту (опір кубика ґрунту з розміром ребра 1 м (1 см), виміряний між паралельними гранями в самому ґрунті).

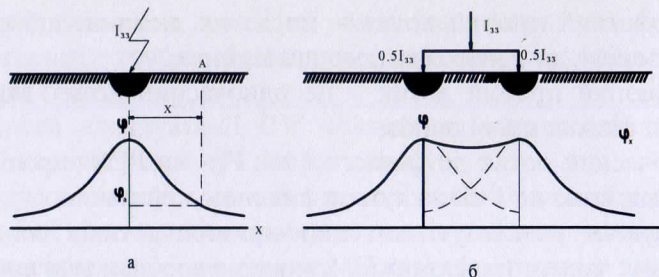


Рис. 1.4. Схеми замикання і закони розподілу потенціалів на поверхні землі: а – напівсферичний заземлювач; б – два напівсферичні заземлювачі

Для будь-якого конкретного випадку величина $I_{33}\rho/(2\pi) = \text{const}$, тобто це рівняння гіперболи. Таким чином, потенціали на поверхні землі, зумовлені замиканням на напівсферичний заземлювач, розподіляються за законом гіперболи, зменшуючись з віддаленням від місця замикання на землю. Характерно, що для заземлювачів будь-якої форми цей закон справедливий, тільки з деякою похибкою.

Розглянемо замикання на подвійний заземлювач напівсферичної форми на поверхні землі (рис. 1.4, б). Для отримання картини розподілу потенціалів у зоні між заземлювачами застосуємо принцип накладання. Для цього в кожній точці поверхні знайдемо суму потенціалів, обумовлену кожним окремим заземлювачем.

Для характеристики замикань на землю в ЕУ введено два поняття:

- *зона розтікання (локальна земля)* – це частина землі, яка перебуває в електричному контакті із заземлювачем і електричний потенціал якої не обов'язково дорівнює нулю (радіус цієї зони залежить від I_{33} і від ρ ; для будь-яких можливих зараз I_{33} він не перевищує 20 м, а для ЕУ напругою 10 кВ на середніх ґрунтах $R \approx 6...8$ м);

- *зона нульового потенціалу (відносна земля)* – це провідна частина землі, яка перебуває за межею зони впливу будь-якого заземлювального пристрою, електричний потенціал якої умовно можна прийняти за нульовий.

У зв'язку з таким розподілом потенціалів з'являються дві небезпечні для людини напруги: непрямого дотику до корпусу ЕУ і кроку.

Напруга непрямого дотику до корпусу ЕУ

Під напругу непрямого дотику через корпус потрапляє людина, яка стоїть на ґрунті (струмопровідній основі) і торкається корпусу пошкодженої ЕУ (рис. 1.5, а).

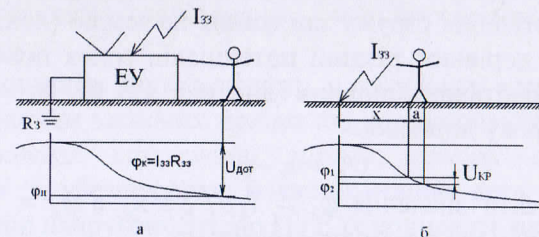


Рис. 1.5. Напруги непрямого дотику до корпусу ЕУ(а) і кроку (б)

Напруга дотику дорівнює різниці потенціалів корпусу ЕУ і точки, де перебувають ноги людини

$$U_{\text{дот}} = \varphi_k - \varphi_n. \quad (1.2)$$

Потенціал корпусу дорівнює добутку суми струму замикання на землю I_{33} та опору захисного заземлення R_3

$$\varphi_k = I_{33} R_3. \quad (1.3)$$

Потенціал точки, де перебувають ноги людини, яка торкається корпусу (на відстані x від захисного заземлювача), дорівнює

$$\varphi_n = I_{33}\rho / (2\pi x). \quad (1.4)$$

Тоді $U_{\text{дот}}$ можемо записати у вигляді:

$$U_{\text{дот}} = I_{33}(R_3 - \rho / (2\pi x)). \quad (1.5)$$

Напруга дотику прямо пропорційно залежить від I_{33} і x та обернено пропорційно від ρ .

За межами локальної землі (зони розтікання) напруга непрямого дотику дорівнює напрузі на корпусі ЕУ або заземлювачі – $I_{33} R_3$.

Напругу непрямого дотику прийнято записувати у вигляді функції напруги на корпусі ЕУ:

$$U_{\text{дот}} = U_k \alpha_1 \alpha_2 = I_{33} R_3 \alpha_1 \alpha_2; \quad (1.6)$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти напруги дотику; α_1 – враховує форму потенційної кривої ($\alpha_1 < 1$), α_2 – враховує падіння напруги на опорній поверхні ніг ($\alpha_2 < 1$).

Для розрахунку сили струму, що протікає через людину, обумовленого напругою непрямого дотику, пропонується така залежність:

$$I_{ЛД} = I_{33} R_3 \alpha_1 / R_{ЛД} \quad (1.7)$$

Напруга кроку

Під напругу кроку потрапляє людина, переміщуючись поверхнею землі в зоні розтікання струму замикання на землю (локальна земля). Напруга кроку дорівнює різниці потенціалів точок поверхні ґрунту, на яких перебувають ноги людини (див. рис. 1.5, б).

Напруга кроку дорівнює

$$U_{кр} = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (1.8)$$

Якщо записати значення $\varphi_1 = I_3 \rho / 2 \pi x$, а $\varphi_2 = I_3 \rho / 2 \pi (x + a)$ і підставити їх у цю формулу, отримаємо

$$U_{кр} = I_{33} \rho a / (2 \pi x (x + a)) \quad (1.9)$$

Напруга кроку $U_{кр}$ прямо пропорційно залежить від I_{33} , ρ та a і обернено пропорційно – від x ; за межами зони розтікання $U_{кр} \approx 0$.

Аналогічно напрузі дотику ($U_{дот}$) $U_{кр}$ записують у функції напруги на корпусі ЕУ:

$$U_{кр} = U_k \beta_1 \beta_2 = I_{33} R_3 \beta_1 \beta_2 \quad (1.10)$$

де β_1, β_2 – відповідні коефіцієнти напруги кроку.

Для розрахунку сили струму, що протікає через людину, обумовленого напругою кроку, пропонується така залежність:

$$I_{ЛД} = I_{33} R_3 \beta_1 \beta_2 / R_{ЛД} \quad (1.11)$$

Схеми для вимірювання напруг непрямого дотику до корпусу ЕУ (а) і кроку (б) приведені на рис. 1.6.

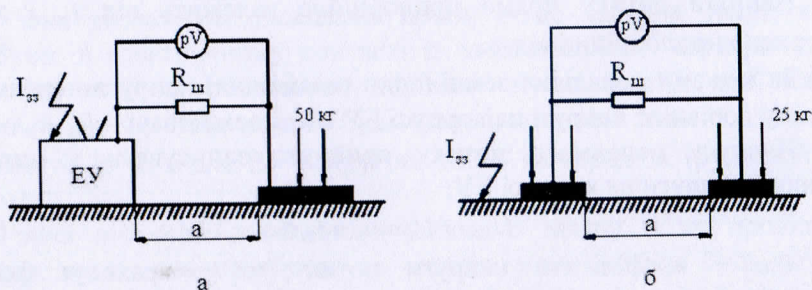


Рис. 1.6. Вимірювання напруг непрямого дотику до корпусу ЕУ (а) і кроку (б): pV – вольтметр статичний або електронний; $R_{ш}$ – шунт, що імітує опір кола людини (для вимірювання напруги дотику – 6 кОм для неаварійного режиму, 1 кОм для аварійного режиму; для напруги кроку – 1 кОм)

1.6. Безпечна експлуатація електроустановок

Безпечна експлуатація ЕУ забезпечується наступними трьома методами:

- застосуванням стаціонарних конструктивних та схемних заходів захисту;
- використанням засобів захисту, у тому числі електрозахисних;
- дотриманням захисних заходів під час виконання робіт в ЕУ.

Конструктивні та схемні заходи захисту є невід'ємною частиною ЕУ і забезпечують її експлуатацію весь час, поки ЕУ знаходиться під напругою. Згідно ПУЕ їх поділяють на дві групи:

- заходи захисту від прямого дотику в нормальному режимі роботи ЕУ;
- заходи захисту в разі непрямого дотику та одиничного пошкодження.

Засіб захисту (ЗЗ) – засіб, призначений для запобігання або зменшення вливу на працівника небезпечних та/або шкідливих виробничих факторів.

Засіб електрозахисний – засіб, призначений для забезпечення електробезпеки (інструменти і пристосування для безпечного виконання робіт в ЕУ: ізолювальні штанги, кліщі, покажчики напруги та ін.), а також діелектричний одяг та взуття (рукавички, ботики, калоші та ін.).

Захисні заходи під час виконання робіт в ЕУ – це комплекс вимог до працівників і до порядку виконання робіт задля забезпечення експлуатації ЕУ.

1.7. Заходи захисту від прямого дотику в нормальному режимі роботи електроустановок

Струмівідні частини ЕУ не повинні бути доступні для випадкового прямого дотику до них, а доступні для дотику відкриті і сторонні провідні частини не повинні перебувати під напругою, що становить небезпеку ураження електричним струмом і в нормальному режимі роботи, і в разі пошкодження ізоляції.

Для запобігання ураженню електричним струмом у нормальному режимі роботи слід застосувати окремо або в поєднанні такі заходи захисту від прямого дотику:

- основну ізоляцію струмовідних частин;

- огорожі та оболонки в ЕУ;
- бар'єри в ЕУ;
- розміщення струмовідних частин поза зоною досяжності;
- розміщення струмовідних частин на недосяжній висоті або у недоступному місці;
- блоківки безпеки в ЕУ;
- орієнтацію в ЕУ.

Захист від прямого дотику не вимагається, якщо номінальна напруга ЕУ не перевищує:

- 25 В змінного або 60 В постійного струму в разі застосування системи БНН (безпечної наднизької напруги), якщо електричне обладнання експлуатується в сухих приміщеннях;
- 25 В змінного і 60 В постійного струму в разі застосування системи ЗНН (захисної наднизької напруги), якщо обладнання перебуває в зоні дії зрівнювання потенціалів і експлуатується тільки в сухих приміщеннях;
- 6 В змінного або 15 В постійного струму в усіх інших випадках.

Електрична ізоляція в електроустановках

Ізоляція – це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, за допомогою яких струмовідні частини відокремлюються одна від одної або від інших конструктивних елементів обладнання. ЕУ в першу чергу мають *робочу ізоляцію* – ізоляцію, яка забезпечує протікання струму по потрібному шляху і безпечну експлуатацію обладнання, тобто ізолює струмовідні частини від корпусів. Робоча ізоляція в установках напругою до 1 кВ є *основною ізоляцією*, яка забезпечує захист від прямого дотику.

Вимоги до основної ізоляції:

- має повністю покривати струмовідні частини;
- повинна витримувати механічні, електричні, хімічні, теплові та інші впливи у процесі експлуатації;
- усунення ізоляції повинно бути можливим тільки шляхом її руйнування;
- у разі забезпечення її повітряним проміжком (тобто ізоляцією є атмосферне повітря, так звана «зовнішня ізоляція») захист від прямого дотику або наближення до струмовідних частин на небезпечну відстань, у тому числі в ЕУ напругою понад 1 кВ, повинен здійснюватися за допомогою інших заходів (оболонки, огорожі, бар'єри або розміщення поза зоною досяжності).

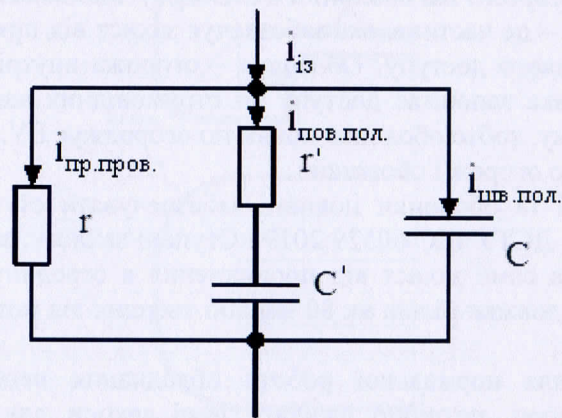
Захисна дія ізоляції полягає в обмеженні величини струму, що протікає через ізоляцію і, відповідно, через людину, яка доторкується до ізоляції. Це відбувається через великий електричний опір ізоляції.

Еквівалентна схема ізоляції складається з трьох паралельних гілок, які включають активний опір, ємність і RC' -гілку (рис. 1.7). Через активний опір протікає струм прямої провідності ($i_{\text{пр.пров.}}$), через ємність – струм швидкої поляризації ($i_{\text{шв.пол.}}$), а через RC' -гілку – струм повільної поляризації ($i_{\text{пов.пол.}}$).

Загальна сила струму через ізоляцію становить суму сил цих струмів

$$i_{\text{із}} = i_{\text{пр.пров.}} + i_{\text{шв.пол.}} + i_{\text{пов.пол.}} \quad (1.12)$$

Параметри ізоляції нестабільні і з часом погіршуються: відбувається старіння ізоляції (зміна її структури), зволоження та руйнування. Крім того, опір ізоляції зменшується зі збільшенням прикладеної напруги. У зв'язку з таким положенням виникає необхідність проводити контроль ізоляції з метою визначення її параметрів R_{60} , R_{60} / R_{15} , $\tan \delta$ для встановлення придатності обладнання до подальшої експлуатації.



1.7. Електрична схема ізоляції

Контроль ізоляції підрозділяють на періодичний (виконують у певні проміжки часу); постійний (виконують упродовж всього періоду роботи ЕУ) і передпусковий (виконують перед пуском ЕУ).

Періодичні випробування ізоляції проводяться на вимкнених ЕУ, тобто вимірюється опір ізоляції певних частин ЕУ під робочою напругою. Для ЕУ напругою до 1 кВ вимірювальна напруга дорівнює 1 кВ і опір ізоляції не повинен бути меншим ніж 500 кОм. ЕУ випробовуються підвищеною напругою, щоб гарантувати, що ізоляція до наступного випробування не зруйнується від робочої напруги.

Постійний контроль ізоляції виконують у мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ.

Крім основної в ЕУ застосовують такі види електричної ізоляції:

- **додаткова ізоляція** – самостійна ізоляція, передбачена як додаткова до основної ізоляції в ЕУ напругою до 1 кВ і призначена для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі uszkodження основної ізоляції;

- **подвійна ізоляція** – ізоляція в ЕУ напругою до 1кВ, яка складається з основної і додаткової ізоляції;

- **посилена ізоляція** – єдина система ізоляції струмовідних частин в ЕУ напругою до 1кВ, яка забезпечує такий же ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

Огорожі та оболонки в електроустановках

Огорожа – це частина, яка забезпечує захист від прямого дотику з боку можливого доступу. Оболонка – огорожа внутрішніх частин обладнання, яка запобігає доступу до струмовідних частин з будь-якого напрямку, тобто оболонка повністю огорожує ЕУ.

Вимоги до огорож і оболонок:

- огорожі та оболонки повинні забезпечувати ступінь захисту IP2X згідно з ДСТУ ІЕС 60529:2019 «Ступені захисту, забезпечувані корпусами» (а саме захист від проникнення в середину пальців чи предметів завдовжки більш як 80 мм або твердих тіл розміром більш як 12 мм);

- якщо для нормальної роботи обладнання необхідно мати збільшені зазори, потрібно вживати інші заходи для запобігання ненавмисному дотику до струмовідних частин;

- вхід за огорожу або розкриття оболонки повинні бути можливими тільки за допомогою спеціального ключа чи інструменту.

Огорожі виконують суцільними (в ЕУ напругою до 1 кВ) або сітчастими (в ЕУ напругою до і більш як 1 кВ).

Огорожі і оболонки розміщують на певних відстанях від струмовідних частин залежно від напруги (згідно з ПУЕ).

Бар'єри в ЕУ

Бар'єр – це частина, яка запобігає ненавмисному прямому дотику, але не перешкоджає навмисному прямому дотику. Це конструктивна частина, яка перегороджує вільний підхід до ЕУ. Бар'єри повинні захищати від випадкового дотику до струмовідних частин в ЕУ напругою до 1 кВ або наближення на небезпечну відстань в ЕУ напругою понад 1 кВ. Для зняття бар'єрів не потрібно застосовувати ключ або інструмент, але їх потрібно закріплювати так, щоб неможливо було усунути ненавмисне. Бар'єри потрібно виготовляти із ізоляційного матеріалу.

Розміщення струмовідних частин поза зоною досяжності

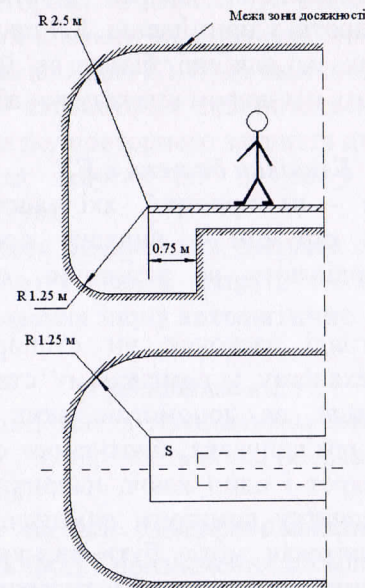


Рис. 1.8. Габарити зони досяжності в ЕУ напругою до 1кВ: S – поверхня, на якій перебуває людина

Зона досяжності – це зона, яка доступна дотику з будь-якої точки поверхні, де зазвичай перебувають люди, до межі, яку людина

не може досягти, простягаючи голу руку без інструменту чи якихось пристроїв у будь-якому напрямку.

Приведені на рис. 1.8 габарити зони досяжності в ЕУ напругою до 1 кВ визначені за умови безпосереднього дотику голими руками без допоміжного пристрою (інструмента чи драбини). У разі застосування допоміжних пристроїв відстані, позначені на рис. 1.8, слід відповідно збільшувати.

Розміщення струмовідних частин на недосяжній висоті чи в недоступному місці

Цей захід відноситься до дротів ПЛ чи шин та обладнання на підстанціях. Висота розміщення дротів залежить від напруги лінії та місцевості, якою вона пролягає. Наприклад, висота розміщення дротів ПЛ напругою до 110 кВ включно в населеній місцевості повинна бути не менше 7 м над місцевістю (землею).

Розміщення струмовідних частин у недосяжному місці відносяться до КЛ чи дротів у приміщенні. КЛ прокладають у землі в траншеях чи спорудах на глибині більш як 0,6 м. Проводку в приміщенні прокладають під шаром штукатурки або під підлогою.

Блоківки безпеки в ЕУ

Блоківки безпеки – це пристрої, які запобігають ураженню людини електричним струмом у випадку помилкових дій. За принципом дії їх поділяють на механічні, електромагнітні та електричні.

Механічні у вигляді заскочок чи стопорів, які фіксують поворотну частину механізму у вимкненому стані; на підстанціях застосовують блок-замки, за допомогою яких блокують рухомі частини вимикача чи роз'єднувача; блок-замки одного приєднання повинні мати один секрет і один ключ; наприклад, щоб вимкнути роз'єднувач, треба спочатку вимкнути вимикач, вийняти ключ із замка на вимикачі (вимикач може бути ввімкнений, якщо ключ знаходиться в його замку) і лише потім, вставивши ключ у замок роз'єднувача, вимкнути роз'єднувач.

Електромагнітні у вигляді електромагнітних замків – мають котушку з осердям, приводяться в дію після подачі оперативної напруги на відповідну розетку.

Електричні – блокування дверей – застосовують у випробних ЕУ, поєднують з магнітним пускачем обладнання (рис. 1.9). ЕУ можна ввімкнути лише, коли двері огорожі ЕУ замкнені.

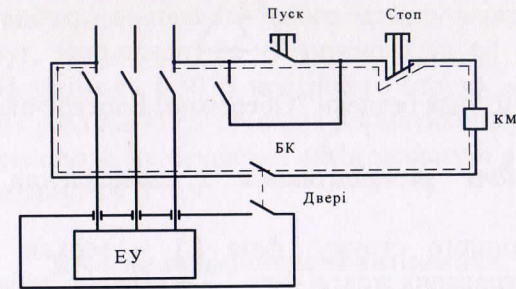


Рис. 1.9. Схема блокування дверей

Якщо двері огорожі відкриті, то ввімкнути ЕУ неможливо, оскільки блоківочний контакт БК розмикає коло живлення котушки КМ магнітного пускача. Якщо ЕУ буде ввімкнена і в цей час відкрити двері огорожі, то ЕУ автоматично відключиться через знеструмлення котушки КМ. У випадку повторного закриття дверей ЕУ автоматично не ввімкнеться. Для запуску ЕУ в цьому випадку слід знову натиснути кнопку "Пуск".

Не рекомендується блокувати з дверима силові контакти, тому що у випадку відкриття дверей напруга з ЕУ вимкнеться, а після випадкового їх закривання знову **автоматично** з'явиться на ЕУ.

Орієнтація в ЕУ

Методи орієнтації дають працівникам змогу орієнтуватися під час виконання робіт і застерігають їх від неправильних дій.

Методи орієнтації:

- **Маркування частин електрообладнання** – призначено для розпізнавання належності і призначення обладнання. Виконується за допомогою умовних позначок: літеро-змістовних та цифрових (наприклад, вимикач – В і номер). Ці позначення наносять на корпуси ЕУ і вони повинні відповідати позначенням на схемах сполучень. Усі елементи одного приєднання повинні мати одне цифрове позначення, а апарати двох поєднань – подвійний номер.

- **Знак безпеки** "Обережно! Електрична напруга" (рис. 1.10) – фон – жовтий або кольору інтер'єру, сторони і стріла – червоні

(чорні). Наносять або прикріплюють на корпусах ЕУ, на дверях входу в електричні приміщення та опорах ПЛ.



Рис. 1.10. Знак безпеки "Обережно! Електрична напруга"

• **Відповідне розташування і забарвлення струмовідних частин:**

– для змінного струму: фаза L1 – верхня, ліва, найбільш віддалена, забарвлення жовте; фаза L2 – середня, забарвлення зелене; фаза L3 – нижня, права, забарвлення червоне; нейтраль N – ізольована – забарвлення блакитне; заземлена – поздовжні смуги жовтого і зеленого кольору;

– для постійного струму: позитивний полюс L+, нижній, ближній, правий, забарвлення червоне; негативний полюс L–, середній, забарвлення синє; нейтраль M – верхня, ліва, дальня, забарвлення блакитне.

• **Світлова сигналізація** – вказує на ввімкнений чи вимкнений стан ЕУ за допомогою сигнальних ламп.

1.8. Заходи захисту в разі непрямого дотику в електроустановках

Захист у разі непрямого дотику – захист, який запобігає ураженню людини електричним струмом у разі одиничного пошкодження.

Для запобігання ураження струмом у разі ушкодження ізоляції потрібно застосовувати окремо або в поєднанні такі засоби захисту в разі непрямого дотику:

- захисне заземлення;
- автоматичне вимикання живлення;
- захисні зрівнювання (вирівнювання) потенціалів;
- захисне (електричне) відділення (електричний поділ кіл);
- ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, майданчики;
- системи наднизької (малої) напруги;
- обладнання класу II або з рівноцінною ізоляцією.

Захист у разі непрямого дотику слід виконувати в усіх випадках, якщо номінальна напруга ЕУ перевищує 50 В змінного і 120 В постійного струму.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та зовнішніх установках виконання такого захисту може знадобитись за нижчих напруг, наприклад: 25 В змінного та 60 В постійного струмів або 12 В змінного і 30 В постійного струму – за наявності вимог відповідних розділів ПУЕ та інших нормативних документів.

Захисне заземлення, як основний захід захисту в разі непрямого дотику в ЕУ, розглянуто у п. 1.9.

Захисне автоматичне вимикання

Захисне автоматичне вимикання живлення (ЗАВЖ) – це автоматичне розмикання одного або кількох лінійних провідників і, у разі потреби, нейтрального провідника, яке виконується задля електробезпеки.

Для убезпечення експлуатації ЕУ ЗАВЖ має виконувати захист у наступних випадках:

- глухих чи неповних замикань на землю або корпус ЕУ;
- з'явлення небезпечних струмів витoku;
- переходу напруги з вищого боку на нижчий.

Розглянемо схему пристрою ЗАВЖ на напрузі корпусу ЕУ відносно землі чи на струмі замикання на землю (рис. 1.11).

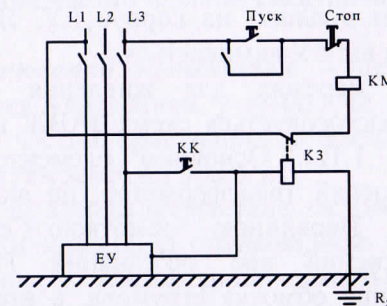


Рис. 1.11. Схема ЗАВЖ на напрузі корпусу ЕУ відносно землі чи на струмі замикання на землю

Схема ЗАВЖ поєднується зі схемою магнітного пускача ЕУ. Корпус захищеної ЕУ заземлюється через котушку реле захисту КЗ пристрою ЗАВЖ. Якщо це реле напруги (котушка має великий опір),

то схема буде реагувати на напругу на корпусі, а якщо реле струму (котушка має малий опір), то на струм замикання на землю.

У схемі ЗАВЖ нормально замкнутий контакт реле КЗ включено послідовно в коло живлення котушки магнітного пускача КМ. За нормального стану захищуваної ЕУ на корпусі немає напруги (струм не протікає через котушку КЗ) і контакт реле КЗ у колі живлення котушки КМ замкнений. У цьому випадку можна кнопками «Пуск» і «Стоп» нормально вмикати і вимикати ЕУ. Якщо на корпусі ЕУ у випадку пошкодження ізоляції з'являється напруга (через котушку КЗ тече струм), реле спрацьовує і розриває контакт у колі живлення котушки КМ. Котушка КМ знеструмлюється і живлення від ЕУ вимикається.

Перевагою схеми є її простота. Цю схему ЗАВЖ можна застосовувати для пересувних ЕУ та ЕУ на ґрунтах з великим питомим опором, де неможливо чи недоцільно виконувати захисний заземлювач з невеликим опором згідно норм. Для цієї схеми достатньо мати заземлювач з опором струму замикання близько 100 Ом. Тобто ця схема ЗАВЖ виконується на доповнення до ЗЗ. Недоліком схеми є те, що вона не діє у випадку обриву кола від корпусу ЕУ до заземлення. У цьому стані контакт реле захисного вимикання не буде розмикатись і за аварійного стану ЕУ. Для виявлення обриву в колі від корпусу ЕУ до заземлення передбачена кнопка контролю КК (ручний контроль справності схеми). Натиснення цієї кнопки зумовлює подачу фазної напруги (повністю або частково – через дільник) на корпус ЕУ. Якщо схема ЗАВЖ справна, то живлення від ЕУ вимикається.

В електричних мережах для живлення промислових або житлових будинків застосовується схема ЗАВЖ на струмі нульової послідовності (рис. 1.12). Основним елементом цієї схеми є трансреактор – кільцевий трансформатор, на який намотана одна вторинна обмотка. Первинною обмоткою слугують фазний, нейтральний і захисний або об'єднаний PEN-провідник. У трансреактора первинна обмотка струмова, а вторинна – напруги. Трансреактор реагує на різницю струмів, що протікають проводами первинної обмотки

$$\Delta I = I_{\phi} + I_N + I_{PE} . \quad (1.13)$$

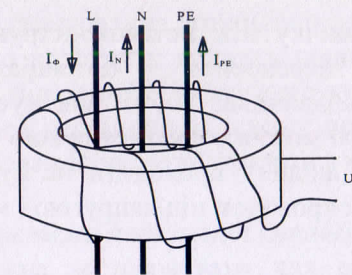


Рис. 1.12. Принципова схема ЗАВЖ на струмі нульової послідовності

Якщо мережа не має замикань на землю (будівельні конструкції), векторна сума цих струмів дорівнює нулю. І на вторинній обмотці трансреактора напруга $U_2 = 0$. Якщо існує замикання фазного проводу на землю, то частина струму, що по ньому протікає, буде повертатись до ДЖ по землі, а не по мережі. У цьому випадку ΔI не буде дорівнювати нулю і на вторинній обмотці трансреактора з'явиться напруга U_2 , від якої спрацює комутуючий пристрій і вимикне пошкоджену ЕУ чи ділянку мережі. Існують такі конструкції ЗАВЖ (іноземного виробництва), які спрацьовують на різницю струмів (струм витоку) 30, 50 і 100 мА.

Захисне зрівнювання (вирівнювання) потенціалів

Захисне зрівнювання потенціалів – це досягнення рівності потенціалів провідних частин шляхом електричного з'єднання їх між собою.

Захисне вирівнювання потенціалів – це зниження напруги дотику і (або) кроку укладенням у землю чи в підлогу або на їх поверхні провідних частин, приєднаних до заземленого пристрою або спеціальним покриттям землі чи підлоги.

Щодо безпеки ці заходи найчастіше застосовують сполученням опорної поверхні ніг людини із струмовідною чи струмопровідною частиною обладнання, до яких людина торкається під час виконання робіт в ЕУ (рис. 1.13), а також у конструкціях контурних захисних заземлень.

У разі виконання робіт із захисним зрівнюванням потенціалів на струмовідних частинах (рис. 1.13, а) на місці робіт влаштовується ізольована від землі підставка. На верхній частині цієї підставки є робочий майданчик з металевими підлогою і огорожею. Працівник піднімається на цей майданчик, а потім за допомогою ізолювальної

штанги накладає перемичку між металоконструкцією майданчика і проводом. Цим "переносить" потенціал проводу на металоконструкцію майданчика, тобто виконує "зрівнювання" їх потенціалів. Після цього можна торкатися рукою чи інструментом до проводу. Струм через людину проходити не буде, оскільки немає різниці потенціалів між проводом під напругою і майданчиком.

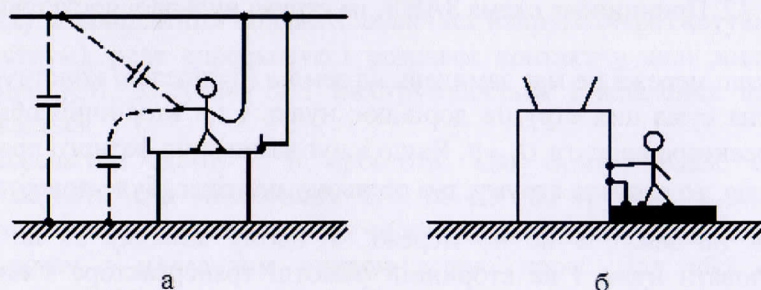


Рис. 1.13. Схеми захисного зрівнювання(а) і вирівнювання (б) потенціалів: а – у разі виконання робіт на струмовідних частинах (проводах); б – у разі виконання робіт на струмопровідних частинах (корпусах ЕУ)

Так можна працювати за напруги на проводі до 110 кВ. Як показано на рис. 1.13, а, існують ємності між проводом і землею, проводом і людиною, людиною і землею. Через ці ємності будуть протікати на землю струми, особливо під час накладання і зняття перемички. За напруги на проводі понад 110 кВ ці струми стають відчутними. Для того щоб виконувати роботи на ПЛ напругою понад 110 кВ можна застосувати таку технологію: людину розміщують у екрануючій конструкції (тоді обкладинкою ємності буде не людина, а екран); людина накладає перемичку, знаходячись всередині екрануючої конструкції; потім відкриває відповідне вікно і виконує потрібну роботу; після закінчення роботи вікно закривається і знімається перемичка.

У випадку виконання робіт із захисним вирівнюванням потенціалів на струмопровідних частинах (корпусах) ЕУ (рис. 1.13, б) біля корпусу ЕУ на землю кладеться металевий лист або сітка. Працівник заходить на цю металоконструкцію і (за допомогою ізолювальної штанги) накладає перемичку між металоконструкцією і

корпусом ЕУ. Таке вирівнювання потенціалів захищає працівника від непрямого дотику до корпусу у випадку пошкодження ізоляції (до речі, у будь-якій ЕУ підстанції) і появи напруги на корпусах усіх ЕУ підстанцій. Знімається перемичка в такому порядку – спочатку від корпусу ЕУ, а потім працівник може сходити з металоконструкції.

Системи наднизької (малої) напруги

Ці системи можна застосовувати для захисту від ураження електричним струмом у разі непрямого дотику і у разі прямого дотику в ЕУ напругою до 1 кВ у приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних.

Наднизька (мала) напруга – це напруга між будь-якими провідниками або будь-яким провідником і землею, яка не перевищує 50 В змінного струму і 120 В постійного струму.

Наднизька напруга убезпечує працівників від ураження електричним струмом завдяки таким двом положенням:

- у разі наднизької напруги через будь-який опір (у т.ч. і тіло людини) протікатиме відповідно і струм наднизької сили $I_n = U_n / R$;
- опір тіла людини обернено пропорційно залежить від напруги на тілі людини $R_{\text{л}} \rightarrow f(U_{\text{л}})$; тобто, якщо напруга наднизька, то опір тіла людини буде набагато більше 1 кОм.

Застосовують три системи наднизької напруги:

1 – система БННН – це система безпечної наднизької напруги, в якій струмовідні частини електрично відділені від інших кіл вищої напруги за допомогою захисного електричного поділу кіл;

2 – система ЗННН – це система захисної наднизької напруги, яка представляє собою систему БННН у разі заземлення її кола;

3 – система ФННН – це система функціональної наднизької напруги, в якій за умовами експлуатації для живлення електроприймачів використовується наднизька напруга, але в цьому випадку не можуть бути виконані умови щодо БННН і ЗННН або в їх застосуванні немає потреби, а для захисту від ураження електричним струмом у колі наднизької напруги використовують додаткові захисні заходи (огорожі або ізоляцію, яка відповідає ізоляції первинного кола, та автоматичне вимикання живлення).

Для отримання наднизької напруги застосовують різні джерела: гальванічні елементи, акумулятори, перетворювачі, але найчастіше застосовують безпечні розділові трансформатори.

Безпечний розділовий трансформатор – це розділовий трансформатор, призначений для живлення кіл наднизької напруги.

У разі застосування систем БННН і ЗННН захист від ураження електричним струмом вважається достатнім, якщо вони відповідають наступним вимогам:

- джерелом живлення кіл повинен бути безпечний розділовий трансформатор або інше джерело, яке забезпечує рівноцінний ступінь безпеки;
- улаштування кіл систем повинно гарантувати електричне відділення від кіл вищої напруги;
- провідники кіл слід укладати окремо від провідників вищих напруг і захисних провідників;
- струмовідні частини систем БННН не слід приєднувати до заземлювача, струмовідних частин і захисних провідників інших кіл;
- захист від прямого дотику у колах БННН і ЗННН слід здійснювати за допомогою огорож чи оболонок або за допомогою ізоляції, яка відповідає випробній напрузі 500 В змінного струму впродовж 1 хвилини.

У разі застосування ФННН захист від ураження електричним струмом повинен відповідати наступним вимогам:

- джерелом живлення кіл може бути трансформатор, вторинну обмотку якого відділено від первинної тільки ізоляцією, або ДЖ, що застосовується у системах БННН і ЗННН;
- захист від прямого дотику потрібно забезпечувати за допомогою огорож чи оболонок або за допомогою ізоляції, яка відповідає мінімальній випробній напрузі для ізоляції первинного кола;
- захист у разі непрямого дотику потрібно забезпечувати з'єднанням відкритих провідних частин обладнання в колі системи ФННН із захисним провідником первинного кола, якщо це коло захищене за допомогою автоматичного вимикання живлення.

Загальні вимоги до систем наднизької напруги:

- вилки для кіл систем БННН, ЗННН і ФННН не повинні входити у штепсельні розетки вищої напруги, а штепсельні розетки систем не повинні допускати вмикання вилок іншої напруги;
- штепсельні розетки кіл системи БННН не повинні мати захисного контакту, а системи ФННН повинні мати контакт для приєднання захисного провідника.

Обладнання класу II

До класу II відносять електричні вироби, що мають подвійну або посилену ізоляцію і не мають елементів для заземлення. Умовне позначення, яке наносять на корпус електротехнічного виробу, представлене на рис. 1.14.

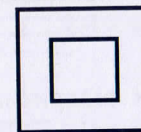


Рис. 1.14. Умовне позначення електричного виробу класу II

Захист забезпечується неможливістю дотику людини до елементів обладнання, яке має небезпечну напругу.

1.9. Захисне заземлення в електроустановках

Заземлення – це виконання електричного з'єднання між визначеною точкою системи, установки чи обладнання і локальною землею.

Заземлення в ЕУ може бути: захисним (ЗЗ) і функціональним (робочим, ФЗ).

Захисне заземлення – це заземлення точки або точок системи, установки або обладнання з метою забезпечення електробезпеки. Найчастіше – це заземлення корпусів ЕУ.

Тип системи заземлення – це показник, який характеризує влаштування нейтрального провідника (N) або провідника середньої точки (M) і з'єднання з землею струмовідних частин ДЖ та відкритих провідних частин в ЕУ напругою до 1 кВ.

Відповідно до ПУЕ-2017 (Глава 1.7 «Заземлення і захисні заходи електробезпеки») прийнято дволітерне позначення типів системи заземлення.

Перша літера (Т або І) – характер заземлення джерела живлення:

Т (від лат. «terra» – земля) – безпосереднє приєднання однієї точки струмовідних частин ДЖ до заземлювального пристрою (ЗП); у трифазних мережах – це найчастіше нейтраль або фазний провідник, середня точка або один з полюсів двопровідних мереж змінного чи постійного струму;

I (від англ. «isolated» – ізольований) – всі струмовідні частини ДЖ ізольовано від землі або одну точку заземлено через великий опір (наприклад, прилади контролю ізоляції).

Друга літера (**N** або **T**) – характер заземлення відкритих провідних частин ЕУ:

N (від англ. «neutral» – нейтраль) – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин ЕУ з точкою заземлення ДЖ (нейтральною точкою ДЖ);

T – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин ЕУ із землею незалежно від характеру зв'язку ДЖ із землею.

У системах заземлення використовують наступні провідники:

N-провідник – це нейтральний провідник в ЕУ до 1 кВ, електрично з'єднаний з нейтральною точкою ДЖ і використовується для розподілення електричної енергії;

M-провідник (від англ. «mid» – середній) – провідник середньої точки – це провідник в ЕУ до 1 кВ, який електрично з'єднаний з середньою точкою ДЖ і використовується для розподілення електричної енергії;

PE-провідник (від англ. «protective earthing» – захисне заземлення) – це захисний провідник в ЕУ до 1 кВ, призначений для захисту від ураження електричним струмом.

PEN-провідник – провідник в ЕУ до 1 кВ, який поєднує в собі функції захисного (PE-) і нейтрального (N-) провідників.

Згідно з ПУЕ прийнято системи заземлення **TT**, **IT**, **TN**.

Система TT – це система, одну точку струмовідних частин ДЖ якої заземлено, а відкриті провідні частини ЕУ з'єднано із заземлювачем, електрично незалежним від заземлювача ДЖ (рис. 1.15, а);

система IT – це система, в якій мережу живлення ізольовано від землі чи заземлено через прилади і/або пристрої, що мають великий опір, а відкриті провідні частини ЕУ заземлено захисним PE-провідником (рис. 1.15, б);

система TN – це система, в якій мережа живлення має глухе заземлення однієї точки струмовідних частин ДЖ, а електроприймачі і відкриті провідні частини ЕУ приєднуються до цієї точки за допомогою відповідно N- або M- і PE- або PEN-провідників (рис. 1.15, в).

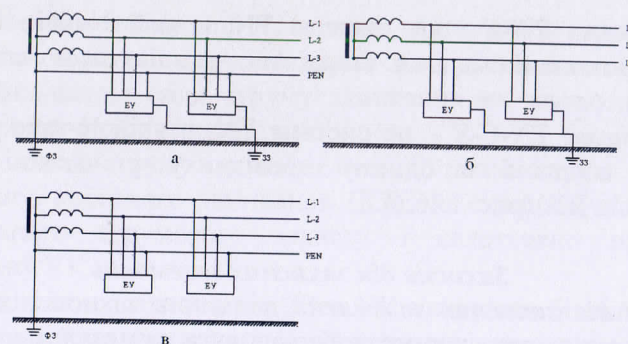


Рис. 1.15. Схеми систем заземлення в ЕУ напругою до 1 кВ: а – типу TT; б – типу IT; в – типу TN; ФЗ – функціональне заземлення; ЗЗ – захисне заземлення

Системи заземлення **TN** поділяють на наступні підсистеми (рис. 1.16):

- TN-C;
- TN-S;
- TN-C-S.

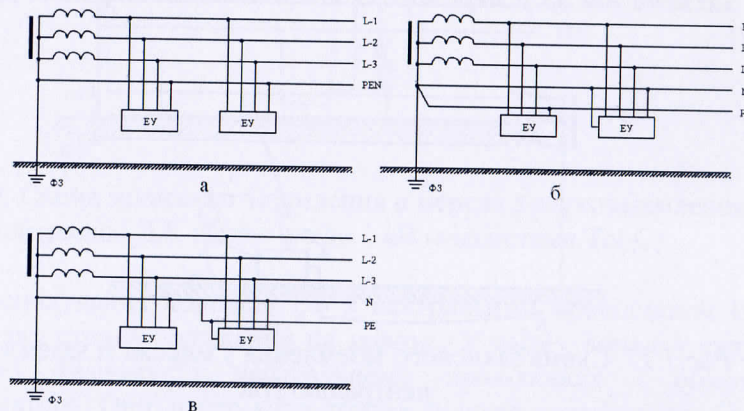


Рис. 1.16. Схеми підсистем захисного заземлення системи TN в ЕУ напругою до 1 кВ: а – підсистема TN-C; б – підсистема TN-S; в – підсистема TN-C-S

Підсистема TN-C – це система TN, в якій N- або M- і PE-провідники поєднано (від англ. «combine» – поєднувати) в одному PEN-провіднику по всій мережі (рис. 1.16, а);

підсистема TN-S – це система TN, в якій N- або M- і PE-провідники розділені (від англ. «separate» – розділяти) по всій мережі (рис. 1.16, б);

підсистема TN-C-S – це система TN, в якій N- або M- і PE-провідники поєднані в одному провіднику у частині мережі, починаючи від ДЖ (рис. 1.16, в).

Захисна дія захисних заземлень

Захисна дія захисних заземлень полягає в захисті від напруги дотику до струмовідних частин, тобто напруги на металевих корпусах ЕУ відносно землі у випадку пошкодження ізоляції.

Захисне заземлення є ефективним засобом захисту з напругою до і понад 1 кВ. Його захисна функція в мережах з ізольованою нейтраллю полягає в зменшенні напруги дотику (корпус ЕУ – «земля») за рахунок зменшення опору захисного заземлення. Захисна дія ЗЗ в ЕМ із заземленою нейтраллю полягає в захисті часом – скороченні тривалості існування напруги на корпусі за рахунок відключення напруги живлення пристроєм максимального струмового захисту.

Захисна дія ЗЗ у мережах із заземленою нейтраллю ДЖ. (рис. 1.17).

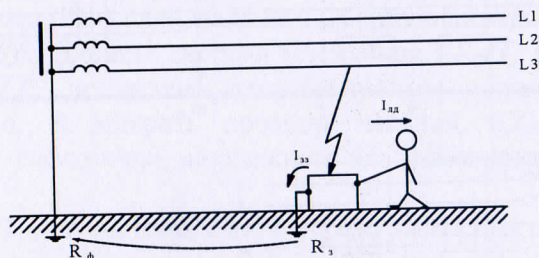


Рис. 1.17. Схема захисного заземлення у мережі із заземленою нейтраллю ДЖ

У цьому випадку сила струму, що протікає через людину, також залежить від напруги на корпусі пошкодженої ЕУ відносно землі

$$I_{\text{зд}} = U_{\text{к}} / R_{\text{зд}} = I_{\text{зз}} R_{\text{з}} / R_{\text{зд}}. \quad (1.13)$$

Сила струму замикання на землю залежить від опорів захисного ($R_{\text{з}}$) і функціонального ($R_{\text{ф}}$) заземлень

$$I_{\text{зз}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{з}} + R_{\text{ф}}). \quad (1.14)$$

Зменшенням величини $R_{\text{з}}$ можна в незначній мірі зменшити напругу на корпусі відносно землі, але зменшення $R_{\text{з}}$ зумовить суттєве збільшення сили струму замикання на землю. Напруга на корпусі практично не зменшиться.

Якщо сила струму дуже велика і такий струм є струмом однофазного короткого замикання (КЗ), то спрацьовують пристрої максимального струмового захисту і селективно відключають пошкоджену ЕУ.

Таким чином, захисна дія ЗЗ в ЕУ напругою більш як 1 кВ із заземленою нейтраллю полягає в перетворенні замикання на корпус в однофазне КЗ і відключенні живлення від пошкодженої установки, в результаті чого зникає напруга на корпусі ЕУ відносно землі.

Сполучення ЕУ з окремим заземлювачем в ЕМ напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю ДЖ не є ефективним заходом захисту. Тому в ЕМ напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю ДЖ застосовують ЗЗ у вигляді сполучення корпусів ЕУ з нейтральним провідником мережі – типу TN (рис. 1.18).

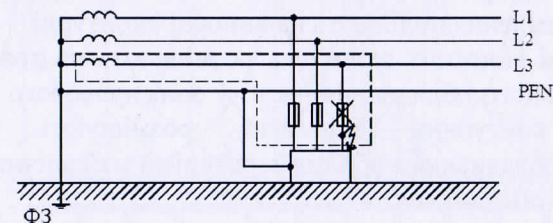


Рис. 1.18. Схема захисного заземлення в мережі з глухозаземленою нейтраллю ДЖ напругою до 1 кВ (підсистема TN-C)

Таке сполучення корпусів ЕУ з нейтральним провідником ЕМ змінює шлях струму замикання на корпус. У цьому випадку струм потече по фазному і нейтральному провідниках і обмотці трансформатора. Опір цього кола струму складає десятки частки Ома. Сила струму буде велика, і цей струм буде струмом короткого замикання, від якого спрацьовує пристрій максимального струмового захисту і селективно відключає пошкоджену ЕУ чи ділянку ЕМ.

Таким чином, як і в ЕМ напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю, так і у мережах напругою більш як 1 кВ із заземленою нейтраллю, принцип захисту ЗЗ підсистеми TN полягає у відключенні пошкодженої ЕУ.

Висновки:

- ЗЗ у розглянутих конструктивних варіантах є ефективним заходом захисту в ЕМ із заземленою нейтраллю ДЖ напругою до і більш як 1 кВ;

- захисна дія ЗЗ в ЕМ із заземленою нейтраллю полягає в захисті часом – скороченні тривалості існування напруги корпус ЕУ – земля за рахунок відключення напруги живлення пристроєм максимального струмового захисту.

Для зменшення напруги на заземлювальному провіднику, і відповідно, на корпусах ЕУ за час протікання струму КЗ, виконують повторне заземлення захисного провідника.

Повторне заземлення – це заземлення, як виконується на деякій відстані від ФЗ ДЖ з метою підвищення безпеки експлуатації ЕУ. Воно дає змогу трохи зменшити небезпеку і в аварійному стані мережі із заземленням системи TN.

Заземлення виносні і контурні

За взаємним розташуванням заземлювача і заземлюваного обладнання заземлення поділяють на виносні і контурні.

Заземлювачі виносних заземлень розміщують на деякій відстані від заземлювального обладнання часто у зоні нульового потенціалу. Заземлювачі контурних заземлень розміщують поряд із заземлюваним обладнанням або під територією майданчика, на якому розташовано це обладнання.

Розглянемо схему і захисну дію виносного заземлення (рис. 1.19). Як видно з рисунка, напруга дотику приблизно дорівнює напрузі на корпусі ЕУ

$$U_{\text{дот}} \approx U_{\text{корп}} = I_{\text{ЗЗ}} \cdot R_{\text{З}}. \quad (1.15)$$

Умова безпеки для виносних заземлень запишеться у вигляді:

$$U_{\text{дот}} = U_{\text{корп}} = I_{\text{ЗЗ}} R_{\text{З}} \leq U_{\text{дот.доп}}. \quad (1.16)$$

Таким чином, виносні заземлення є ефективним заходом захисту для ЕУ з невеликими струмами замикання на землю, і можуть виконуватись для ЕУ напругою до 1 кВ і більш як 1 кВ у мережах з ізолюваною чи компенсованою нейтраллю ДЖ. У разі застосування заземлення для ЕУ з великими струмами замикання на землю виносне заземлення не може бути рекомендовано, оскільки воно не забезпечить допустимої напруги на корпусах заземлюваних установок.

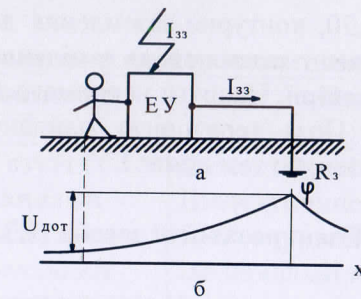
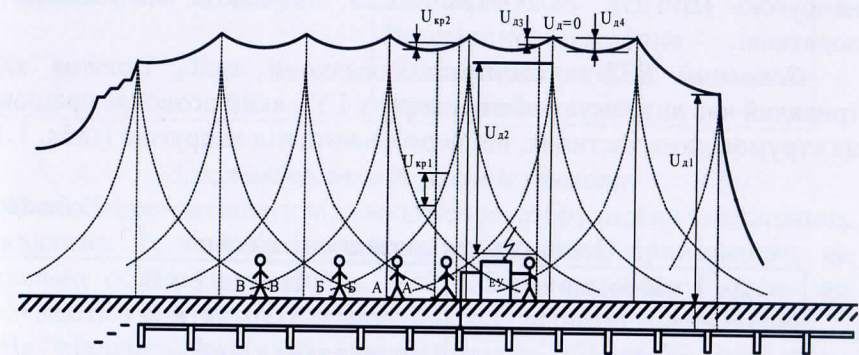


Рис. 1.19. Схема виносного заземлення (а) і розподіл потенціалів у випадку замикань на корпус ЕУ (б)

Розглянемо схему і захисну дію контурного заземлення (рис. 1.20).



Як видно з рис. 1.20, контурне заземлення дає змогу отримати майданчик у межах площі заземлювача з підвищеним потенціалом відносно прилеглої території. Напруги непрямого дотику на території майданчика невеликі. Поза територією майданчика про напругу дотику не може бути мови, бо там немає ЕУ.

1.10. Електрозахисні засоби (ЕЗЗ)

Класифікація та умови застосування засобів захисту

Під час обслуговування ЕУ застосовують електрозахисні засоби (ЕЗЗ), засоби захисту від електричного поля промислової частоти (ЕППЧ) та засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

ЕЗЗ – це засіб, призначений для забезпечення електробезпеки. ЕЗЗ поділяють на ізолювальні та спеціальні для виконання робіт під напругою (ВРПН). Ізолювальні ЕЗЗ поділяють на основні та додаткові.

Основний ЕЗЗ – електроізолювальний засіб, ізоляція якого тривалий час витримує робочу напругу ЕУ і який дозволяє працювати на струмовідних частинах, що перебувають під напругою (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Основні електрозахисні засоби

До 1 кВ включно	Понад 1 кВ
Ізолювальні штанги	Ізолювальні штанги
Ізолювальні кліщі	Ізолювальні кліщі
Електровимірювальні кліщі	Електровимірювальні кліщі
Показчики напруги	Показчики напруги
Діелектричні рукавички	Пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в ЕУ (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.)
Інструмент з ізолювальним покриттям	

Додатковий ЕЗЗ – електроізолюваний засіб, який сам по собі не може за даної напруги забезпечити захист від ураження електричним струмом; він доповнює основний ЕЗЗ, а також може захищати від напруг непрямого дотику і кроку (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Додаткові електрозахисні засоби

До 1 кВ включно	Понад 1 кВ
Діелектричне взуття	Діелектричні рукавички
Діелектричні килими	Діелектричне взуття
Ізолювальні підставки	Діелектричні килими
Ізолювальні накладки	Ізолювальні підставки
Ізолювальні ковпаки	Ізолювальні накладки
Сигналізатори напруги	Ізолювальні ковпаки
Захисні огороження (щити, ширми)	Штанги для перенесення і вимірювання потенціалу
Переносні заземлення	Сигналізатори напруги
Плакати безпеки	Захисні огороження (щити, ширми)
Інші засоби захисту	Переносні заземлення
	Плакати безпеки
	Інші засоби захисту

Загальні вимоги до засобів захисту

ЗЗ необхідно захищати від зволоження, забруднення і механічних пошкоджень. Їх потрібно зберігати у закритих приміщеннях на спеціально обладнаних місцях. Усі ЕЗЗ та запобіжні пояси, що перебувають в експлуатації, повинні мати інвентарні номери.

На підприємствах, що використовують ЗЗ, необхідно вести «Журнал обліку та зберігання ЗЗ». Наявність і стан усіх ЗЗ потрібно перевіряти періодичним оглядом не рідше 1 разу на 6 місяців працівником, який відповідає за їх стан, із записом результатів огляду у журнал.

ЗЗ, крім ізолювальних підставок, діелектричних килимів, переносних заземлень, захисних огорожень та плакатів безпеки, необхідно випробувати згідно з нормами експлуатаційних випробувань (електричних і механічних).

На ЗЗ, що пройшли випробування, проставляють штамп. Штамп наносять фарбою, що не змивається, або наклеюють на ізолювальній частині. ЗЗ, що не витримали випробування, потрібно вилучити з експлуатації, а штамп перекреслити червоною фарбою.

Діелектричні та огорожувальні захисні засоби

Діелектричні рукавички – це основний ЕЗЗ для ЕУ напругою до 1 кВ і додатковий – більш як 1 кВ. Конструктивно бувають безшовні і зі швом. Перед одягненням на руки перевіряють на герметичність шляхом надування і закриття отвору.

Діелектричне взуття – це додатковий ЕЗЗ в закритих ЕУ, а за відсутності опадів – і у відкритих ЕУ. За захисними властивостями діелектричне взуття повинно мати таке маркування:

Ен – гумові клеєні калоші, чоботи гумові та з полівінілхлориду – до 1 кВ;

Ев – гумові клеєні формові ботики та гумові формові калоші – більш як 1 кВ.

Діелектричні килими – застосовують у приміщеннях (крім сирих) і у суху погоду – просто неба; всі класи напруг.

Ізолювальні підставки виконують дерев'яними на опорних ізоляторах.

Інструмент з ізолювальним покриттям – це основний ЕЗЗ в ЕУ напругою до 1 кВ. Виконують комплектами, до яких входять: гайкові ріжкові і розвідні ключі, плоскогубці, пасатижі, бокові і торцеві кусачки, викрутки, монтерські ножі.

Захисні огороження виконують у вигляді:

- щитів (ширм) – дерев'яні для тимчасового огороження струмовідних частин всіх класів напруг;

- ізолювальних накладок з твердого ізоляційного матеріалу чи гуми; застосовують для запобігання випадковому доторканню до струмовідних частин напругою до 20 кВ або помилковому увімкненню рубильників напругою до 1 кВ;

- ізолювальних ковпаків з твердого діелектрика чи гуми; це конструкція, яка унеможливає накладання переносних заземлень в ЕУ напругою до 10 кВ.

Переносні заземлення – це куски мідного гнучкого неізолюваного проводу, що закінчуються струбцинами. Призначені для з'єднання накоротко і приєднання до заземлювача вимкнених для виконання робіт струмовідних частин. Захищають місце роботи у випадку помилкової подачі напруги. Накладають з усіх боків робочого місця, звідки може бути подана напруга.

Порядок накладання – зняття переносних заземлень:

- впевнюються у вимкненні напруги (перевіряють схему);
- заземлювальний провідник приєднують до заземлення;
- перевіряють відсутність напруги (показчиком);
- провідник приєднують до перевіреного фазного проводу та ін.;
- порядок зняття переносного заземлення – протилежний.

Плакати безпеки в електроустановках

Плакат безпеки – це виконане у переносному вигляді на листовому матеріалі, що не проводить електричний струм (пластмаса, фанера, картон), відповідного розміру текстове повідомлення (інколи з відповідним малюнком), призначене для заборони, настанови або дозволу певних дій, привертання уваги або застереження працівників з метою убезпечення виконання робіт, а також для надання необхідної інформації.

Плакати безпеки в ЕУ поділяють на заборонні, застережні, настановні і вказівні.

Заборонні плакати призначені для заборони дій з комутаційними апаратами, у разі помилкового увімкнення яких може бути подано напругу на місце виконання роботи:

- «Не вмикати! Працюють люди» – для заборони подання напруги на робоче місце; вивішують на приводах роз'єднувачів чи вимикачів;

- «Не вмикати! Робота на лінії» – для заборони подання напруги на лінію, де працюють люди; вивішують на тих самих комутаційних апаратах;

- «Не відкривати! Працюють люди» – для заборони подання стисненого повітря чи газу; вивішують на засувках повітропроводів до повітрозбірників і трубопроводів, у разі помилкового відкривання яких може виникнути небезпека для працівників;

- «Робота під напругою. Повторно не вмикати!» – для заборони повторного вмикання вимикачів ПЛ після автоматичного вимкнення їх без погодження з виконавцем робіт;

- «Небезпечне електричне поле. Без засобів захисту прохід заборонено!» – для попередження про небезпечність дії електричного поля на працівників і заборони пересування без засобів захисту; встановлюють на ВРУ напругою 330 кВ і більше .

Застережні плакати призначені для попередження про небезпеку наближення до струмовідних частин під напругою:

- «Стій! Напруга» – для попередження про небезпеку ураження електричним струмом; вивішують на захисних тимчасових огороженнях струмовідних частин під напругою;

- «Випробування. Небезпечно для життя» – для попередження про небезпеку під час проведення випробувань підвищеною напругою; вивішують написом до зовнішньої сторони на обладнанні під час випробувань підвищеною напругою;

- «Не вилазь. Уб'є!» – для попередження про небезпеку піднімання конструкціями, якщо можливе наближення до струмовідних частин під напругою.

Настановчі плакати призначені для дозволу визначених дій тільки у разі виконання конкретних вимог безпеки:

- «Працювати тут!» – для зазначення робочого місця; вивішують на робочому місці;

- «Вилазити тут!» – для визначення безпечного шляху піднімання на робоче місце, що розміщене на висоті; вивішують на конструкціях, якими дозволено підніматися на розміщене на висоті робоче місце.

Вказівний плакат – «Заземлено» – призначений для зазначення про недопустимість подання напруги на заземлену частину ЕУ; вивішують на приводах роз'єднувачів відокремлювачів і вимикачів, у разі помилкового вмикання яких може подаватись напруга на заземлену частину ЕУ.

1.11. Організація безпечної експлуатації діючих електроустановок

Електроустановка діюча – електроустановка або її дільниця, які перебувають під напругою або на які напруга може бути подана вмиканням комутаційних апаратів, а також ПЛ, що розміщена у зоні дії наведеної напруги або має перетин з діючою ПЛ.

ПЛ під наведеною напругою – ПЛ всіх класів напруги і повітряна лінія зв'язку (ПЛЗ), що проходить по всій довжині або поблизу контактної мережі електрифікованої залізниці змінного струму і на вимкнених дротах яких наводиться напруга більше 42 в.

Організація безпечної експлуатації ЕУ включає:

- добір та навчання працівників для експлуатації еу;
- дотримання організаційних заходів безпеки;

- виконання технічних заходів безпеки;
- випробування діючих еу;
- надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків.

Вимоги до працівників, які обслуговують ЕУ

Працівників, які обслуговують еу, поділяють на дві групи: працівники електротехнічні і працівники електротехнологічні.

Працівники електротехнічні – це працівники, посада або професія яких пов'язана з обслуговуванням еу, що склали іспит з правил безпеки під час експлуатації еу і мають групу з електробезпеки.

Працівники електротехнологічні – працівники, посада або професія яких пов'язана з експлуатацією електротехнічної частини виробничого обладнання, але в обов'язки яких не входить обслуговування його електроприводу.

Електротехнічних працівників поділяють на:

- адміністративно-технічні – це керівники підприємств, начальники цехів, служб, відділів, дільниць, лабораторій, їх заступники, інші ІТП, на яких покладено адміністративні функції;

- оперативні – це працівники, які перебувають на чергуванні у зміні і допущені до оперативного керування та оперативних перемикачів;

- виробничі – це працівники, які забезпечують виробничий процес, робота яких пов'язана з виробничим процесом;

- оперативно-виробничі – виробничі працівники, які підготовлені до оперативного обслуговування закріпленого за ними обладнання.

- **Вимоги за віком.** Працівникам молодшим 18 років можуть присвоювати кваліфікаційну групу з електробезпеки не вищу ІІ.

- **Вимоги до здоров'я працівників.** Перед прийняттям на роботу і періодично через 2 роки особи, які обслуговують діючі ЕУ, проходять медогляд. До роботи в ЕУ не допускають осіб, які мають каліцтво, гостроту зору та слуху нижчу певного рівня, а також захворювання серця, дихальних шляхів, нервової системи, крові, шкіри та інших органів.

- **Вимоги до навчання працівників.** Перед прийомом на роботу і під час роботи працівники проходять відповідні інструктажі (вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий). Крім того, до призначення на самостійну роботу, у випадку переведення на

іншу роботу та перерви в роботі більше 6 місяців і періодично через рік працівники, які обслуговують діючі ЕУ, проходять навчання і складають екзамени кваліфікаційній комісії; за результатом екзамену їм присвоюють кваліфікаційну групу з електробезпеки і видають іменне посвідчення.

Всього є п'ять кваліфікаційних груп – I-V. групу I присвоюють без складання екзамену після відповідного інструктажу. Для присвоєння чергової групи з електробезпеки необхідно мати мінімальний стаж роботи в ЕУ з попередньою групою. Для роботи в ЕУ напругою до 1 кВ працівник повинен мати II або III групи, а до та понад 1 кВ – IV або V групи.

Для одержання груп II-III працівники мають:

- чітко усвідомлювати небезпеку, пов'язану з роботою в ЕУ;
- знати та вміти застосовувати на практиці правила безпеки в обсязі, потрібному для виконання роботи;
- знати будову електроустановок;
- вміти практично надавати першу допомогу потерпілим у разі нещасних випадків, у т.ч. застосовувати способи реанімації.

Для одержання груп IV-V додатково необхідно знати компонування ЕУ, а також уміти організовувати безпечно проведення робіт та навчати працівників інших груп Правилам безпеки і наданню першої допомоги постраждалим.

Для одержання групи V необхідно також розуміти, чим викликані вимоги пунктів правил безпеки.

Заборонено допускати до роботи в ЕУ осіб, які не пройшли навчання і перевірку знань правил безпеки, які не мають при собі посвідчення про перевірку знань, а також з простроченим терміном перевірки знань.

Організаційні заходи, що забезпечують працівників під час роботи

Роботи в ЕУ щодо їх організації поділяють на такі, які виконують:

- за нарядом-допуском;
- за розпорядженням;
- у порядку поточної експлуатації.

Наряд-допуск (наряд) – складене на спеціальному бланку розпорядження на безпечно проведення роботи, що визначає її зміст, час початку і закінчення, необхідні заходи безпеки, склад бригади й

осіб, відповідальних за безпечне виконання роботи. За нарядом виконують найбільш відповідальні роботи, які вимагають спеціальної підготовки робочого місця:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах і поблизу них;
- без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, коли потрібне встановлення тимчасових огорожень;
- з підйоманням більш як на 3 м від рівня землі до ніг людини (роботи на висоті);
- з розбиранням конструкції опори;
- з підкопуванням стійок опори на глибину більш як 0,5 м;
- з застосуванням вантажопідіймальних машин і механізмів у рп чи охоронній зоні ПЛ та ін.

Керівник робіт повинен здійснювати постійний нагляд за членами бригади та усувати від роботи членів бригади, які порушують правила. Він повинен мати групу з електробезпеки IV під час виконання робіт в ЕУ напругою більш як 1 кВ та III – до 1 кВ.

Розпорядження – це завдання на безпечно виконання робіт, що реєструється в журналі та визначає її зміст, місце, час, заходи безпеки (якщо вони вимагаються) та осіб, яким доручене її виконання. має разовий характер і термін дії його обмежений тривалістю робочого дня. За розпорядженням виконують менш складні роботи, що не потребують підготовки робочого місця, а саме:

- роботи без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою;
- аварійно-відбудовні роботи (тривалістю до 1 год.);
- роботи зі зняттям напруги в еу напругою до 1 кВ;
- огляд ПЛ у легкопрохідній місцевості за сприятливої погоди;
- з підніманням до 3 м від рівня землі до ніг людини;
- з підкопуванням стійок опори на глибину до 0,5 м та ін.

Роботи за розпорядженням виконують з попереднім оформленням у журналі обліку робіт за нарядами та розпорядженням або в оперативному журналі.

Поточна експлуатація – це довготривале завдання на виконання оперативними чи оперативно-виробничими працівниками самостійно на закріпленій за ними ділянці протягом зміни робіт за попередньо оформленим та затвердженим переліком. У порядку поточної експлуатації виконують такі роботи, як обслуговування

установок зовнішнього і внутрішнього освітлення, обслуговування цехових ЕУ, прибирання коридорів, службових приміщень, території, ремонт освітлювальної апаратури і заміну ламп тощо.

Організаційними заходами, які забезпечують виконання робіт у порядку поточної експлуатації, є:

- визначення необхідності і можливості безпечного виконання робіт;
- складання і затвердження переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- призначення виконавця(ів) робіт з відповідною групою електробезпеки;
- ознайомлення виконавців з переліком і характером робіт, а також вимогами безпеки під час їх виконання.

1.12. Порядок надання першої допомоги потерпілим у разі ураження електричним струмом

Перша медична допомога – це комплекс заходів, спрямованих на відновлення і збереження життя та здоров'я потерпілого, які здійснюються не медичними працівниками. Одним із найважливіших факторів, які впливають на тяжкість і наслідки електротравми потерпілого, є негайні і правильні дії оточуючих.

Надавати допомогу потерпілому належить у такій послідовності:

- а) усунути дію електричного струму на організм потерпілого;
- б) викликати швидку медичну допомогу,
- в) надати першу долікарську допомогу (визначити характер і тяжкість травми; відновити прохідність дихальних шляхів; підтримувати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного персоналу; прийняти заходи для транспортування потерпілого в найближчий лікувальний заклад). Надавати висновок про доцільні чи марні дії щодо заходів з оживлення потерпілого має право лише лікар.

Якщо оживляючі маніпуляції виконують дві особи, то в інтервалах на кожне вдихання повітря в легені потерпілого методом «рот–рот» або «рот–ніс», необхідно здійснювати п'ять натискань на грудну клітку потерпілого (один поштовх за 0,5 секунд на глибину 3–4 см, для повних людей 5 см, по центру грудної клітки, на два пальці вище закінчення ребер). При цьому слід забезпечити необхідну частоту виконання оживляючих маніпуляцій: за хвилину – 72 (12

циклів, при співвідношенні 1:5, що за хвилину становитиме 12 вдихань повітря і 60 натискань).

Якщо оживляючі маніпуляції виконує одна особа, то на кожні два вдихання повітря потерпілому (одне за одним), необхідно здійснювати п'ятнадцять натискань на грудну клітку (10 циклів, при співвідношенні 2:15, що за хвилину становитиме 10 вдихань повітря і 60 натискань).

Уже через 1–1,5 хвилини слід упевнитися в ефективності проведення оживляючих маніпуляцій, оцінивши стан зіниць потерпілого. Якщо зіниці очей потерпілого почали звужуватись, це може означати, що кров, збагачена киснем від проведення штучного дихання і непрямого масажу серця, почала поступати в кору головного мозку потерпілого. Досвід показує, якщо забезпечити 25% норми надходження кисню до кори головного мозку потерпілого, то протягом години незворотні процеси не наступають і залишається надія врятувати людину після прибуття лікаря. Без таких зусиль організм потерпілого залишається живим всього 4–6 хвилин.

Питання для самоконтролю до розділу 1

1. Основні чинні нормативні акти з електробезпеки.
2. Дія електричного струму на організм людини та види електротравм.
3. Які чинники впливають на тяжкість ураження електричним струмом.
4. Як визначити категорію приміщень за небезпекою електротравм.
5. Характер розподілу потенціалів на поверхні землі в зоні розтікання струму та напруга кроку.
6. Небезпека ураження людини електричним струмом в мережах, ізольованих від землі.
7. Що небезпечніше і чому: доторкання людини до «здорової фази» за наявності пошкодженої чи до пошкодженої фази в мережах, ізольованих від землі.
8. Проаналізувати небезпеку ураження людини електричним струмом в мережі з глухозаземленою нейтраллю.
9. Дати порівняльну оцінку безпеки ураження людини електричним струмом у разі попадання людини під напругу в мережі, ізольованій від землі, та з глухозаземленою нейтраллю.

10. Перерахувати основні технічні рішення забезпечення безпеки при нормальному режимі роботи електроустановок.
11. Застосування понижених напруг, понижуючі і розділяючі трансформатори.
12. Вирівнювання потенціалів як засіб забезпечення електробезпеки.
13. Основні заходи попередження електротравм при пошкодженні ізоляції і переході напруги на неструмовідні частини електроустановок.
14. Захисне заземлення: визначення, принципова схема, дві функції.
15. Електроустановки, які підлягають заземленню.
16. Від чого залежить ефективність захисного заземлення, допустимий опір заземлюючого пристрою залежно від величини напруги, підключеної потужності та режиму нейтралі мережі?
17. Занулення, принципова схема, сфера застосування, заходи щодо забезпечення ефективного захисту.
18. Нульовий робочий і нульовий захисний провідник у мережах з глухозаземленою нейтраллю – застосування та вимоги безпеки.
19. Перерахувати обов'язки роботодавців щодо організації безпечної експлуатації електроустановок.
20. Групи робіт в електроустановках щодо організації їх безпечного виконання.
21. Особи, відповідальні за організацію безпечного виконання робіт за нарядами-допусками та розпорядженнями.
22. Категорії робіт в електроустановках щодо небезпеки їх виконання.
23. Вимоги безпеки до підготовки робочого місця при виконанні робіт в електроустановках напругою до 1000 В із зняттям напруги.
24. Вимоги безпеки до підготовки робочого місця під час виконання робіт в електроустановках напругою понад 1000 В із зняттям напруги.
25. Організація безпечного виконання робіт в електроустановках без зняття напруги.
26. Вимоги безпеки до персоналу, обслуговуючого електроустановки, групи з електробезпеки, навчання та перевірка знань.

Розділ 2 ЕЛЕКТРОМАГНІТНА БЕЗПЕКА

2.1. Фізична сутність та джерела електромагнітних полів та випромінювань

Електромагнітні поля негативно впливають на організм людини, яка працює з джерелом випромінювання, а також на населення, яке проживає поблизу джерел випромінювання та широко використовує в побуті електротехніку.

Електромагнітне поле (ЕМП) – особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між електрично зарядженими частинками. Воно характеризується двома складовими ЕМП – електричного та магнітного. Силкові лінії цих полів взаємно перпендикулярні. Через електромагнітне поле передаються всі види електромагнітного випромінювання – від низькочастотного (радіохвилі) до високочастотного (рентгенівське та гамма-випромінювання).

Електромагнітне поле у просторі поширюється у вигляді електромагнітної хвилі, яка переносить енергію, замкнену в електричному та магнітному полях. Електричні та магнітні поля змінюються одночасно одне з одним. При цьому співвідношення між їх миттєвими значеннями завжди залишаються сталими. Лише на близьких від джерела відстанях, у так званій зоні несформованого поля, ця закономірність порушується.

Електромагнітне поле характеризується енергією, яка поширюється в просторі у вигляді електромагнітних хвиль. Основними параметрами електромагнітних хвиль є:

- інтенсивність випромінювання, Вт/м²;
- напруженість електричного поля, E (В/м),
- напруженість магнітного поля, H (А/м) – (відповідно електрична і магнітна складові напруженості електромагнітного випромінювання);
- довжина хвилі λ , м;
- частота коливання f , Гц.

Швидкість поширення радіохвиль практично дорівнює швидкості світла. Параметри λ і f пов'язані між собою наступною залежністю:

$$\lambda = c/f.$$

Змінне ЕМП являє собою сукупність магнітного та електричного полів і поширюється в просторі у вигляді електромагнітних хвиль.

У залежності від частоти коливання (довжини хвилі) електромагнітні випромінювання поділяються на низку діапазонів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Класифікація електромагнітних випромінювань за частотами

Найменування частотного діапазону	Границі частотного діапазону	Границі хвильового діапазону
Статичні електричні та магнітні поля	0 Гц	—
Інфранизькі ІНЧ	0,3...3 Гц	1000 ... 100 Мм
Крайньонизькі КНЧ	3...30 Гц	100 ... 10 Мм
Наднизькі ННЧ	30...300 Гц	10 ... 1 Мм
Звукові ЗЧ	0,3...3 кГц	1000...100 км
Дуже низькі ДНЧ	3...30 кГц	100...10 км
Низькі частоти НЧ	30...300 кГц	10...1 км
Середні СЧ	0,3...3 МГц	1...0,1 км
Високі частоти ВЧ	3...30 МГц	100...10 м
Дуже високі ДВЧ	30...300 МГц	10...1 м
Ультрависокі УВЧ	0,3...3 ГГц	1...0,1 м
Надвисокі НВЧ	3...30 ГГц	10...1 см
Надзвичайно високі НЗВЧ	30...300 ГГц	10...1 мм
Гіпервисокі ГВЧ	300...3000 ГГц	1...0,1 мм

Простір навколо джерела ЕМП умовно поділяють на ближню зону (зону індукції) та дальню зону (зону випромінювання). Для оцінки ЕМП у цих зонах використовують різні підходи. Ближня зона

охоплює простір навколо джерела ЕМП, що має радіус, який приблизно дорівнює 1/6 довжини хвилі. У цій зоні електромагнітна хвиля ще не сформована, тому інтенсивність ЕМП оцінюється окремо напруженістю магнітної та електричної складових поля. У ближній зоні, зазвичай, знаходяться робочі місця з джерелами електромагнітних випромінювань НЧ, СЧ, ВЧ, ДВЧ. Робочі місця, на яких знаходяться джерела електромагнітних випромінювань з довжиною хвилі меншою ніж 1 м (УВЧ, НВЧ, НЗВЧ) знаходяться практично завжди у дальній зоні, в якій електромагнітна хвиля вже сформувалася. У цій зоні ЕМП оцінюється за кількістю енергії (потужності), що переноситься хвилею у напрямку свого поширення. Для кількісної характеристики цієї енергії застосовують значення поверхневої щільності потоку енергії, яка падає на одиницю поверхні і визначається в Вт/м², або інтенсивність.

Електромагнітна енергія використовується у радіо-, радіорелейному і космічному зв'язках, телебаченні, радіолокації, радіонавігації. Вона застосовується у металургії та металообробних галузях промисловості для індукційного плавлення, зварювання, напilenня металів, у деревообробній, текстильній, легкій та харчовій промисловості, у радіоспектроскопії, сучасній обчислювальній техніці, медицині (терапевтичні і діагностичні установки) тощо.

Джерелами електромагнітного випромінювання у виробничому приміщенні можуть бути неекрановані робочі елементи високочастотних установок (індуктори, конденсатори, ВЧ-трансформатори, фідерні лінії, батареї конденсаторів, котушки коливальних контурів тощо). Під час експлуатації ВЧ-, ДВЧ-, УВЧ-передавачів на радіо- та телецентрах джерелами електромагнітного випромінювання є високочастотні генератори, антенні комутатори, пристрої складання потужностей електромагнітного поля, комунікації (від генератора до антенного пристрою), антени.

Ступінь опромінення працівників залежить від кількості передатчиків (у деяких зонах, радіо- та телецентрах їх може бути до 20), їх потужності, екранування, розміщення окремих їх блоків усередині та поза приміщенням.

Для всіх видів зв'язку джерелом електромагнітного випромінювання є передавальні станції. Дії енергії зверхвисокочастотного діапазону працівники зазнають при регулюванні, настроюванні та випробовуванні радіопередавальних та радіолокаційних станцій.

Джерела енергії ЕМП радіочастотного діапазону поділяються на технологічні (основні) та додаткові. До технологічних належать плавильні або гартувальні контури, пластини конденсаторів, фідерні лінії. У радіотехнічних пристроях це генератори та ЗВЧ-блоки, антенні системи, елементи хвилеводних трактів. До додаткових джерел належать виносні трансформатори, батареї конденсаторів змінного струму. У радіотехнічних пристроях додатковими джерелами є неякісно екрановані ВЧ-елементи передатчиків і пристроїв складання потужностей та роздільних фільтрів, неекрановані лінії передачі електромагнітної енергії на антени.

2.2. Дія на організм

Електромагнітні поля особливо негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання. У діапазоні промислових частот більше негативний вплив на біологічний об'єкт має електрична складова поля.

Найчутливішими до ЕМП є нейродинамічні процеси, які прямо чи побічно перемикають хронобіологічні процеси організму на патологічний або стресовий режим функціонування.

При дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Такі порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

У більшості випадків такі зміни в діяльності нервової та серцево-судинної системи мають зворотній характер, але в результаті тривалої дії вони накопичуються, підсилюються з плином часу, але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу та поліпшенні умов праці. Тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень в організмі людини та захворювань.

Сумісна дія випромінювань широкого діапазону може викликати окрему радіохвильову хворобу.

Тяжкість її наслідків прямо залежить від напруженості ЕМП, фізичних особливостей різних діапазонів частот, тривалості впливу, умов навколишнього середовища, а також від функціонального стану та стійкості організму до впливу різних чинників, можливостей адаптації. Збільшується ризик виникнення загальних захворювань, захворювань органів дихання, травлення тощо. Це може відбуватися

також і за дуже невеликої інтенсивності ЕМП, яка незначно перевищує гігієнічні нормативи.

Результатом дії на організм людини електромагнітних випромінювань в діапазоні 30 кГц – 300 МГц є: загальна слабкість, підвищена втома, порушення сну, головний біль та біль у ділянці серця. З'являється роздратованість, втрачається увага, сповільнюються рухово-мовні реакції.

Виникає ряд симптомів, які свідчать про порушення роботи окремих органів – шлунку, печінки, підшлункової залози. Погіршуються харчові та статеві рефлексії, діяльність серцево-судинної системи, фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обміну, змінюється склад крові, зафіксовані зміни на рівні клітин. Систематична дія ЕМП високої та надвисокої частоти на організм людини викликає підвищення кров'яного тиску, трофічні явища (випадіння волосся, ламкість нігтів). ЕМП викликають зміну поляризації молекул та атомів, які є складовою частиною клітин, у результаті чого виникає їх небезпечне нагрівання. Надмірне тепло наносить шкоду як окремим органам, так і всьому організму людини.

Професійні захворювання виникають у працівників при тривалому та інтенсивному опроміненні.

При інтенсивності випромінювань близько 20 мВт/см² реєструється зменшення частоти пульсу, знижується артеріальний тиск, тобто явна реакція на опромінення. Така реакція сильніша й може навіть виражатися у підвищенні температури шкіри в осіб, які раніше потрапляли під дію опромінення.

При інтенсивності 6 мВт/см² з'являються зміни у статевих залозах, у складі крові, відбувається помутніння кришталика ока. У подальшому – зміни у здатності крові осідати, в умовно-рефлекторній діяльності, вплив на клітини печінки, зміни у корі головного мозку. Потім – підвищення кров'яного тиску, розрив капілярів та крововиливи в легені й печінку.

Випромінювання інтенсивністю до 100 мВт/см² викликають стійку гіпотонію та зміни серцево-судинної системи, двосторонню катаракту. Подальше опромінення помітно впливає на тканини організму, викликає больові відчуття.

Якщо інтенсивність перевищує 1 Вт/см², це спричинює дуже швидко втрату зору, як один із серйозних ефектів дії НВЧ на організм людини. На більш низьких частотах такі ефекти не відбуваються, і тому їх треба вважати специфічними для НВЧ діапазону. Ступінь

пошкодження залежить, в основному, від інтенсивності та тривалості опромінення.

Інтенсивне НВЧ опромінення відразу викликає сльозотечу, подразнення, звуження зіниці ока. Після нетривалого (до 2-х діб) прихованого періоду спостерігається погіршення зору, яке посилюється під час повторного опромінення і свідчить про кумулятивний характер пошкоджень.

У людини наявні механізми відбудови пошкоджених клітин, які вимагають тривалого часу (10-20 діб). Зі зростанням часу та інтенсивності впливу електромагнітних випромінювань, пошкодження набувають незворотного характеру.

У разі прямого впливу на око випромінювання відбувається пошкодження рогівки. Серед усіх тканин ока найбільшу чутливість в діапазоні 1-10 ГГц має кришталик. Сильні пошкодження кришталика зумовлені тепловим впливом НВЧ (при щільності потоку енергії понад 100 мВт/см²). За малої інтенсивності помутніння спостерігаються тільки у задній ділянці, за великої – по всьому об'єму кришталика.

Механізми взаємодії ЕМП із живими організмами теж дуже різноманітні і протікають на всіх рівнях: молекулярному, клітинному, організмовому і популяційному. При цьому розрізняють термічну (теплову) дію та морфологічні й функціональні зміни.

Внутрішньоклітинне і міжклітинне середовище мають питомий електричний опір, що дорівнює 100...300 Ом·см, та відносну діелектричну проникність $\epsilon_{відн} \approx 80$. Оболонки (мембрани) клітин мають питомий поверхневий опір до 1·10 Ом·см², їх питома поверхнева ємність становить 0,1...3 мкф/см².

Якщо таку тканину помістити в постійне електричне поле, то вона в тій чи іншій мірі поляризується, при цьому заряджені частки – іони, які завжди наявні в рідких середовищах тканин, внаслідок електролітичної дисоціації молекул будуть переміщатися уздовж силових ліній поля в сторони полюсів, які мають протилежні по відношенню до них заряди. Що стосується діпольних молекул, то вони теж приймуть відповідну орієнтацію. У змінних ЕМП електричні властивості живих тканин переважно залежать від частоти цих полів, причому зі зростанням частоти вони все більш втрачають властивості діелектриків і набувають властивості провідників.

Існування втрат енергії ЕМП на струми провідності та зміщення в тканинах організму людини при її опроміненні ЕМП призводить до виділення тепла.

Наявність відбиття на межі «повітря-тканина» призводить до зменшення теплового ефекту на всіх частотах приблизно однаково.

З урахуванням коефіцієнта відбиття на межі поділу ρ поглинута енергія дорівнюватиме

$$E_{noz} = E_0(1 - \rho), \tag{2.1}$$

де $E_0 = \text{ЩПЕ} \cdot S_{\text{ефф}}$ – падаюча на тіло людини енергія ЕМП; $S_{\text{ефф}}$ – ефективна поверхня тіла людини, м²; ЩПЕ – щільність потоку енергії, Вт/м².

Глибина проникнення ЕМП у глиб тканин залежить від резистивних і діелектричних властивостей тканин та від частоти (табл. 2.2).

Найбільш чутливими системами організму людини є нервова, імунна, ендокринна і статева. Ці системи організму є критичними до впливу ЕМП і реакції цих систем повинні обов'язково враховуватися при оцінюванні ризику впливу ЕМП.

Таблиця 2.2
Глибина проникання ЕМП у різні тканини в залежності від довжин хвиль

Тканина	Довжина хвилі λ , см							
	300	150	75	30	10	3	1,25	0,86
Головний мозок	0,012	0,028	0,028	0,064	0,048	0,053	0,059	0,043
Кришталик ока	0,026	0,03	0,056	0,098	0,05	0,057	0,055	0,043
Скловидне тіло	0,007	0,011	0,019	0,042	0,054	0,063	0,036	0,036
Жир	0,068	0,083	0,12	0,21	0,24	0,37	0,27	-
М'язи	0,011	0,015	0,025	0,05	-	0,1	-	-
Шкіра	0,012	0,018	0,029	0,056	0,066	0,063	0,058	-

За тривалої дії ЕМП функціональні зміни в організмі людини можуть проявлятися у вигляді головного болю, порушення сну, підвищеного стомлення, дратівливості, пітливості, випадіння волосся, болю в ділянці серця, зниження статевої потенції тощо.

Слід мати на увазі, що біофізичні та фізіологічні механізми дії ЕМП в умовах тривалого багаторічного впливу мають тенденцію накопичуватися в організмі людини. У результаті можливий розвиток віддалених наслідків, включаючи незворотні процеси в діяльності центральної нервової та серцево-судинної систем, рак крові (лейкози), пухлини мозку, гормональні захворювання, гіпотонія, брадикардія, захворювання печінки тощо.

Кількісно ризик дії електромагнітного поля на людину може оцінюватися величиною поглинутої їй тілом електромагнітної енергії в одиницю часу (W , Вт) або питомої енергії, що поглинається в одиницю часу на одиницю маси тіла (W , Вт/кг). Так, для оцінки ризику дії електромагнітного поля від радіотелефонів і телефонів стільникового та супутникового зв'язку визначають потужність ЕМП, що поглинається на один кілограм мозку – параметр SAR (Specific Absorbing Rate).

Для попередження професійних захворювань, які виникають у результаті тривалої дії електромагнітних випромінювань, встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань, які необхідно контролювати не рідше 1 разу на рік. Якщо вводиться в дію новий об'єкт або здійснюється реконструкція діючих об'єктів, то заміри рівня електромагнітних випромінювань проводяться перед введенням їх в експлуатацію.

2.3. Нормування та контроль електромагнітних полів

Нормування ЕМП здійснюється згідно ДСН №239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», зміни до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань (ДСП 239-96), ДСНіП №476-2002 (ДСНіП 3.3.6.096-2002) «Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів».

Відповідно до цих документів нормування ЕМП здійснюється наступним чином:

- постійні електричні та магнітні поля, а також змінні ЕМП

частотою 50 Гц (промислової частоти) нормуються за напруженістю магнітного H та електричного E полів; одиницею напруженості магнітного поля є ампер на метр (А/м), а електричного поля – вольт на метр (В/м);

- електромагнітні поля радіочастотного діапазону з частотами 1 кГц – 300 МГц нормуються за інтенсивністю (напруженістю електричної E та магнітної H складової) та енергетичним навантаженням електричних і магнітних полів з урахуванням часу впливу (EH_E , EH_H); одиницею напруженості електричного поля є В/м, магнітного поля – А/м, енергетичне навантаження – добуток квадрата напруженості ЕМП на час його впливу, яке має розмірність $(В/м)^2 \cdot год$ – для електричного поля та $(А/м)^2 \cdot год$ – для магнітного поля;

- електромагнітні поля радіочастотного діапазону з частотами 300 МГц – 300 ГГц нормуються за інтенсивністю (щільністю потоку енергії – ЩПЕ) та енергетичним навантаженням щільності потоку енергії ($EH_{ЩПЕ}$); одиницею вимірювання ЩПЕ є $Вт/м^2$ (можливі одиниці $мВт/см^2$, $мкВт/см^2$); енергетичне навантаження – добуток ЩПЕ падаючого випромінювання на час його впливу протягом робочої зміни в годинах (год) і виражається в $Вт \cdot год/м^2$ ($мВт \cdot год/см^2$, $мкВт \cdot год/см^2$).

У випадку імпульсно-модульованих випромінювань нормованим параметром, що характеризує інтенсивність впливу ЕМП, є середнє значення ЩПЕ.

Електростатичні поля. Гранично допустимий рівень (ГДР) електростатичного поля ($E_{гд}$, кВ/м) залежить від часу дії цього фактора на організм людини протягом робочого дня

$$E_{гд} = 60 / \sqrt{t}, \quad (2.2)$$

де $E_{гд}$ (кВ/м) – гранично допустиме значення напруженості електричного поля в контрольованій зоні, t (год) – час дії електростатичного поля на організм людини.

Нормування електростатичних полів на робочих місцях з відео дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин здійснюється відповідно до вимог ДНАОП 0.00-1.31-99 та ДСанПіН 3.3.2-007-98. Згідно з цими нормативними документами поверхневий електростатичний потенціал ВДТ не повинен перевищувати 500 В, а

напруженість електростатичного поля на робочих місцях з ВДТ не повинна перевищувати 20 кВ/м.

Постійні магнітні поля. Гранично допустимий рівень (ГДР) постійного магнітного поля ($H_{гд}$, кА/м) протягом робочого дня не повинен перевищувати 8 кА/м.

Для магнітних полів, що створюються випрямленим трифазним струмом, гранично допустимий рівень визначається за формулою

$$H_{гд} = (EH_{гд}/T)^{1/2}, \quad (2.3)$$

де $H_{гд}$ (кА/м) – гранично допустиме значення напруженості магнітного поля; $EH_{гд}$ (кА²·год/м²) – гранично допустиме значення енергетичного навантаження протягом робочого дня, яке дорівнює 144 кА²·год/м²; T (год) – час впливу магнітного поля, що створюється випрямленим трифазним струмом.

ЕМП промислової частоти. Згідно існуючих норм гранично допустимий рівень ЕМП промислової частоти (50 Гц) визначається гранично допустимими значеннями напруженостей його електричної та магнітної складових, тобто електричного та магнітного полів, і це значення залежить від часу дії цього фактора на організм людини протягом робочого дня. Перебування в електричному полі промислової частоти напруженістю до 5 кВ/м включно допускається протягом 8-часового робочого дня.

При рівнях напруженості електричного поля промислової частоти від 5 до 20 кВ/м включно допустимий час перебування в ньому визначається за формулою

$$T_{пр} = (50 / E) - 2, \quad (2.4)$$

де $T_{пр}$ (год) – допустимий час перебування в електричному полі промислової частоти при заданому рівні напруженості електричного поля (E) в контрольованій зоні; E (кВ/м) – напруженість електричного поля промислової частоти в контрольованій зоні.

Для магнітного поля промислової частоти гранично допустимі рівні його напруженості при постійному впливі не повинні перевищувати 1,4 кА/м протягом робочого дня (8 год).

Час перебування людини в магнітному полі напруженістю понад 1,4 кА/м регламентується таблицею 2.3.

Таблиця 2.3

Залежність тривалості перебування людини в магнітному полі від його рівня

Час перебування персоналу, год	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, кА/м	6,0	4,9	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

У випадку локального впливу магнітного поля промислової частоти на кисті рук його гранично допустимий рівень визначається за формулою

$$H_{гд \text{ лок}} = 5H_{гд \text{ заг}}, \quad (2.5)$$

де $H_{гд \text{ лок}}$ (А/м) – гранично допустимий рівень змінного магнітного поля частотою 50 Гц при локальному впливі (кисті рук), $H_{гд \text{ заг}}$ (А/м) – гранично допустимий рівень змінного магнітного поля частотою 50 Гц при загальному впливі.

ЕМП радіочастотного діапазону. Згідно існуючих норм гранично допустимий рівень (ГДР) ЕМП у діапазоні частот 1 кГц – 300 МГц визначається гранично допустимими значеннями напруженостей його електричної та магнітної складових, тобто електричного та магнітного полів, і ці значення залежать від часу дії ЕМП на організм людини протягом робочого дня та гранично допустимим енергетичним навантаженням і визначаються за формулами:

$$E_{гд} = (EH_{гд}/T)^{1/2}, \quad H_{гд} = (EH_{гд}/T)^{1/2}, \quad (2.6, 2.7)$$

де $E_{гд}$ (В/м) і $H_{гд}$ (А/м) – гранично допустимі значення напруженості електричного і магнітного полів; T (год) – час впливу ЕМП; $EH_{гд}$ ((В/м)²·год) і $EH_{гд}$ ((А/м)²·год) – гранично допустиме енергетичне навантаження протягом робочого дня відповідно для електричної та магнітної складових ЕМП.

Гранично допустимі рівні напруженості електричної ($E_{гд}$) та магнітної ($H_{гд}$) складових імпульсних електромагнітних полів (ІЕМП) у спектральному діапазоні частот до 1000 МГц на робочих

місяцях персоналу також визначаються виходячи з гранично допустимого енергетичного навантаження ($EH_{\text{Егд}}$, $EH_{\text{Нгд}}$) і часу впливу за формулами 2.6, 2.7.

Максимальні значення $E_{\text{Гд}}$, $H_{\text{Гд}}$ та $EH_{\text{Егд}}$, $EH_{\text{Нгд}}$ наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Залежність ГДР електричного та магнітного полів від діапазонів частот

Параметри та одиниці вимірювання	Граничні значення в діапазонах частот				
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-80 МГц
$E_{\text{Гд}}$, В/м	1000	700	500	300	80
$EH_{\text{Егд}}$ (В/м) ² ·год	120000	40000	20000	7000	800
$H_{\text{Гд}}$, А/м	75	57	50	-	3,0*
$EH_{\text{Нгд}}$ (А/м) ² ·год	675	390	200	-	0,72*

* – ГДР енергетичного навантаження магнітного поля поширюється на діапазон 30-50 МГц

Значення ГДР напруженості електричної ($E_{\text{Гд}}$) і магнітної ($H_{\text{Гд}}$) складових залежно від тривалості їх дії наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Залежність тривалості перебування людини в електричному та магнітному полях від їх напруженості

Час перебування персоналу, год	$E_{\text{Гд}}$, В/м					$H_{\text{Гд}}$, А/м				
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц
8	120	70	50	30	10	9,0	7,0	5,0	0,30	
7	130	75	53	32	11	9,8	7,5	5,3	0,32	
6	140	82	58	34	12	10,6	8,1	5,8	0,34	
5	155	90	63	37	13	11,6	8,8	6,3	0,38	
4	175	110	71	42	14	13,0	9,9	7,1	0,42	
3	200	115	82	48	16	15,0	11,4	8,2	0,49	
2	250	140	100	59	20	18,4	14,0	10,0	0,60	
1	350	200	141	84	28	26,0	19,7	14,2	0,85	
0,5	500	280	200	118	40	37,6	27,9	20,0	1,20	
0,25	700	400	283	168	57	52,0	39,5	28,3	1,70	
0,12	1000	580	400	240	82	75	57,0	40,8	2,45	
0,08		700	500	296	80			50,0	3,00	

Якщо тривалість дії менша 0,08 год, подальше підвищення інтенсивності фактора не допускається.

Одночасний вплив електричного і магнітного полів у діапазоні частот від 1 кГц до 3 МГц слід вважати допустимим за умови

$$\frac{EH_{\text{Е}}}{EH_{\text{Едо}}} + \frac{EH_{\text{Н}}}{EH_{\text{Ндо}}} \leq 1, \tag{2.8}$$

де $EH_{\text{Е}}$ та $EH_{\text{Н}}$ – енергетичні навантаження, що характеризують вплив електричного і магнітного полів.

Граничні амплітудні значення в спектральних діапазонах частот визначаються за таблицею 2.6.

У всіх випадках при зазначенні діапазонів частот кожний діапазон виключає нижню і включає верхню межу частоти.

Таблиця 2.6

Залежність граничних амплітудних значень електричних та магнітних полів від діапазонів частот

Параметр	Граничні амплітудні значення в спектральних діапазонах частот								
	0-5 Гц	5-50 Гц	0,05-1 кГц	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	0,3-1 ГГц
$E_{\text{Гд}}$, В/м	60000	35000	3500	1000	300	200	150	100	80
$EH_{\text{Егд}}$ (В/м) ² ·год	$3,2 \cdot 10^9$	$2,0 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^6$	120000	7200	3200	1800	800	500
$E_{\text{Гд}}$, В/м на 8 год	20000	5000	447	120	30	20	15	10	8
T , год (при $E_{\text{Гд}}$)	0,89	0,16	0,13	0,12	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
$H_{\text{Гд}}$, А/м	30000	10000	850	100	85	70	-	-	-
$EH_{\text{Нгд}}$ (А/м) ² ·год	$1,4 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^7$	70000	1300	900	400	-	-	-
$H_{\text{Гд}}$, А/м на 8 год	4200	1400	94	13	11	7	-	-	-
T , год (при $H_{\text{Гд}}$)	0,16	0,16	0,10	0,13	0,12	0,08	-	-	-

Гранично допустимі величини ЕМП у діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц слід визначати за формулою

$$W_{ГД} = K \cdot \frac{EH_{w_{ГД}}}{T}, \quad (2.9)$$

де $W_{ГД}$ – гранично допустима величина щільності потоку енергії, Вт/м² (кВт/см², мкВт/см²); $EH_{w_{ГД}}$ – гранично допустима величина енергетичного навантаження становить 2 Вт·год/м² (200 мкВт·год/см²); K – коефіцієнт ослаблення біологічної ефективності (дорівнює: 1 – для всіх випадків впливу, виключаючи опромінення від антен, що обертаються і сканують; 10 – для випадків опромінення від антен, що обертаються і сканують, з частотою не більше 1 Гц і шпаруватістю не менше 50); T – час перебування в зоні опромінювання за робочу зміну, год.

У всіх випадках максимальне значення $W_{ГД}$ не повинно перевищувати 1 мВт/см².

Значення ГДР щільності потоку енергії ($W_{ГД}$) залежно від тривалості дії ЕМП наведені в табл.2.7.

Якщо тривалість дії менша 0,2 год, подальше підвищення інтенсивності фактора не допускається.

Таблиця 2.7

Залежність тривалості перебування людини в електромагнітному полі від щільності потоку енергії

Час перебування персоналу, год	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,25	0,20
Щільність потоку енергії, мкВт/см ²	25	29	33	40	50	67	100	200	400	800	1000

Згідно існуючих норм гранично допустимий рівень ЕМП радіочастотного діапазону на частотах 300 МГц – 300 ГГц визначається гранично допустимим значенням щільності потоку енергії ЕМП, залежить від часу дії цього фактора на організм людини протягом робочого дня та гранично допустимого енергетичного навантаження і визначається за формулою

$$ЩПЕ_{ГД} = K \cdot EH_{ЩПЕ_{ГД}} / T, \quad (2.10)$$

де $ЩПЕ_{ГД}$ (Вт/м², мВт/см², мкВт/см²) – гранично допустима величина щільності потоку енергії; $EH_{ЩПЕ_{ГД}}$ – гранично допустима величина енергетичного навантаження, яка згідно норм складає 2 Вт · год/м² (200 мкВт · год/см²); K – коефіцієнт послаблення біологічної

ефективності, який дорівнює: 1 – для всіх випадків впливу, крім опромінення від обертових і скануючих антен; 10 – для випадків опромінення від обертових і скануючих антен з частотою не більш 1 Гц і шпаруватістю не менш 50; T – час перебування в зоні опромінення за робочу зміну, год.

В усіх випадках максимальне значення $ЩПЕ_{ГД}$ не повинне перевищувати 10 Вт/м² (1 мкВт/см²).

Санітарно-гігієнічний контроль та вимірювання рівнів ЕМП на робочих місцях працюючих проводяться атестованими атестаційною комісією Міністерства охорони здоров'я України санітарними лабораторіями підприємств й організацій.

2.4. Оцінка параметрів електромагнітного поля у виробничих умовах

Оцінка параметрів ЕМП на робочих місцях має проводитися в такій послідовності:

- визначення ділянки можливого знаходження працюючого від джерела випромінювання,
- виділення в цій ділянці точок максимально наближених до джерела ЕМП,
- визначення частотних діапазонів випромінювань і вимірювання напруженості ЕМП у цих точках і діапазонах,
- визначення тривалості дії ЕМП на працюючого.

Вимірювання напруженості ЕМП мають проводитися з урахуванням розміщення електричних мережних кабелів.

Основною задачею вимірювання напруженості ЕМП є його порівняння з санітарними нормами ДСНіП 3.3.6.096-2002.

Слід враховувати, що на результати вимірювань великий вплив мають сусідні джерела ЕМП та наявність феромагнітних мас. Рівень ЕМП, що індукується на поверхні різних частин тіла працюючого та в середині, визначається переважно величиною струму електричного обладнання, площею випромінюючого контуру, розташуванням працівників відносно основних джерел випромінювання та відстанню від випромінювача до поверхні тіла.

Засоби вимірювання напруженості магнітного поля (МП) можуть складатися з виносного датчика (перетворювача МП) і реєструючого пристрою, в якості якого може використовуватися цифровий

осцилограф з функцією швидкого перетворювання Фур'є та персональний комп'ютер (ноутбук).

Під час вимірювань напруженості МП датчик вноситься в поле, яке контролюють, і орієнтується у просторі за максимальним значенням показів реєструючого приладу.

Вимірювання рівнів МП у вигляді коротких імпульсів з великим періодом тривалості виконуються приладом з однокоординатним датчиком три рази (в різних положеннях). При цьому датчик розташовується послідовно в трьох взаємноперпендикулярних площинах і реєструються його показання в кожній площині. Амплітудне значення вектора напруженості МП визначається за формулою

$$H_m = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}, \quad (2.11)$$

де H_x , H_y , H_z – значення напруженості МП в кожній площині.

Тривалість опромінення працюючих у період робочої зміни визначається шляхом проведення хронометражних спостережень. Сума всього часу, затраченого на виконання зварювання, показує час опромінення протягом дня.

2.5. Вимоги до виробничих приміщень і розташування електричного обладнання

Приміщення, в яких розміщуються установки, які є джерелами ЕМП, повинні відповідати вимогам діючих санітарних норм щодо проектування промислових підприємств і за своїм планувальним рішенням відповідати характеру виконуваних у них технологічних процесів. Рівні освітлення, опалення і вентиляції приміщень повинні відповідати вимогам будівельних норм і правил.

Метеорологічні умови в приміщеннях, наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин, рівень шуму, а також інших несприятливих факторів виробничого середовища повинні відповідати вимогам, закладених у відповідних нормативних документах, затверджених Міністерством охорони здоров'я України.

Устаткування, яке є джерелами ЕМП, залежно від конструкції, призначення, потужності і умов використання, можуть розміщуватись як в окремих, спеціально призначених приміщеннях,

так і в загальних приміщеннях, включаючи розміщення в поточних лініях, при дотриманні вимог санітарних норм і правил.

При розміщенні устаткування і організації робіт щодо його обслуговування слід, крім санітарних норм та правил, також керуватись:

- будівельними нормами і правилами;
- правилами влаштування електроустановок;
- правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правилами безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

Захисні засоби, які використовуються в електроустановках повинні відповідати вимогам правил їх використання і випробування.

При розміщенні в одному приміщенні декількох установок треба унеможливити перевищення ГДР при сумарній енергії випромінювання.

У разі можливого проходження електромагнітної енергії через будівельні конструкції в сусідні приміщення повинні вживатись заходи, які унеможливають опромінювання працівників при рівнях, які перевищують гранично допустимі для відповідних категорій опромінювання.

Допускається при погодженні з органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду проведення робіт з налагодження і регулювання апаратури, яка є джерелом ЕМП, в екранованих приміщеннях. Робочі площі та об'єми екранованих приміщень повинні встановлюватись, виходячи з габаритів оброблюваних виробів, з урахуванням вимог безпеки при роботі з високою напругою і санітарних норм проектування промислових підприємств. Для унеможливлення перевищення ГДР за рахунок відбитого випромінювання стіни, стелю і підлогу екранованих приміщень необхідно покривати матеріалами, що поглинають електромагнітні випромінювання до допустимих рівнів.

У разі спрямованого випромінювання допускається застосування поглинальних покриттів тільки на відповідних ділянках стін. У екранованих приміщеннях повинні вживатись заходи з компенсації нестачі природного світла, ультрафіолету, змін газового і аероіонного складу повітря і т. ін. відповідно до вимог санітарних норм і правил.

2.6. Заходи та засоби захисту від дії електромагнітних полів

Захист персоналу від впливу ЕМП досягається шляхом проведення організаційних, інженерно-технічних заходів, а також використанням засобів індивідуального захисту.

До **організаційних заходів** належать: вибір раціональних режимів праці з електричним обладнанням, яке є джерелом електромагнітного випромінювання; обмеження місця і часу перебування персоналу в зоні опромінювання і т. ін.

Інженерно-технічні заходи включають раціональне розміщення устаткування, використання засобів, що обмежують проникнення електромагнітної енергії на робочі місця персоналу (поглинаючі матеріали, екранування і т. ін).

До основних заходів щодо захисту від ЕМП відносяться: захист часом, захист відстанню, екранування джерел випромінювання, зменшення потужності випромінювання в самому джерелі випромінювання, виділення зон випромінювання, екранування робочих місць, застосування засобів індивідуального захисту.

Захист часом передбачає обмеження часу перебування людини в робочій зоні і застосовується лише тоді, коли немає можливості знизити інтенсивність випромінювання до допустимих значень.

Захист відстанню застосовується лише в тому випадку, коли нема іншої можливості послабити дію ЕМП іншими заходами, в тому числі і захистом часом. У цьому випадку збільшують відстані між випромінювачем ЕМП і персоналом. Допустима відстань до джерела ЕМП, що забезпечує гранично допустимі значення інтенсивності випромінювання обов'язково перевіряється експериментальними вимірюваннями рівнів ЕМП на робочих місцях.

Зменшення потужності випромінювання в самому джерелі випромінювання повинно, перш за все, бути реалізовано шляхом обмеження їх потужностей значеннями, необхідними для виконання своїх функцій. Для цього також застосовуються спеціальні пристрої: поглиначі потужності, атенюатори, бронзові прокладки між фланцями хвильоводів і т. ін.

Для кожної установки, що випромінює ЕМП вище гранично допустимих значень, повинні виділятися зони, в яких інтенсивність випромінювання є небезпечною для людини. Границі таких зон, де інтенсивність ЕМП може перевищувати гранично допустимі рівні, визначають експериментально для кожного конкретного випадку розміщення установки чи апаратури під час їх роботи на максимальній

потужності випромінювання. Крім того, у відповідності з ДСТУ EN ISO 7010:2019 небезпечні зони випромінювання (рис. 1) із інтенсивністю ЕМП більше гранично допустимих рівнів огорожуються і встановлюються попереджуючі знаки з написом: «Не заходити, небезпечно!». Також, у разі необхідності, ці зони можна додатково позначати по границях широкими червоними лініями на підлозі приміщення чи територій, а також застосовувати попереджувальну сигналізацію відповідно до ДСТУ ISO 6309:2007.



Рис. 1. Засторога: неіонізувальне випромінювання (ДСТУ EN ISO 7010:2019)

Для зменшення опромінення персоналу ЕМП відповідно до вимог ДСНіП №476-2002 зони випромінювання ЕМП розташованих поруч установок не повинні перекриватися або ці установки повинні працювати на випромінювання в різний час.

Екранування джерел випромінювання застосовують для зниження інтенсивності ЕМП на робочих місцях. Необхідно підкреслити, що захист екрануванням вважається основним та найбільш ефективним методом захисту.

Екрани поділяють на відбиваючі і поглинаючі. Безумовно, що такий розподіл є досить умовний, тому що будь-який екран у більшій або меншій мірі і відбиває, і поглинає падаючу на нього електромагнітну хвилю. Потужність падаючої на екран електромагнітної хвилі ($\text{ЩПЕ}_{\text{пад}}$) поділяється на потужність відбитої від екрана хвилі ($\text{ЩПЕ}_{\text{від}}$), потужність хвилі поглиненої у товщі екрана ($\text{ЩПЕ}_{\text{погл}}$) і потужність хвилі, що пройшла крізь екран $\text{ЩПЕ}_{\text{пр}}$. Узалежності від того, яка частка падаючої потужності ЕМП переважає, відбита або поглинута, екран відносять до типу відбиваючих або поглинаючих.

Поглинання ЕМП в екрані збільшується зі зростанням частоти поля, товщини, магнітної проникності і провідності матеріалу екрану, а відбиття в основному визначається невідповідністю хвильових

характеристик повітря і матеріалу екрану. Саме тому відбиваючі екрани, як правило, і виготовляються з металів, оскільки вони мають хвильові опори, що істотно відрізняються від хвильового опору повітря.

За конструктивним виконанням відбиваючі екрани поділяються на суцільні та сітчасті. Суцільні екрани виготовляються з листів міді, алюмінію та деяких марок сталі. З метою підвищення провідності екрану, а отже, наскрізного згасання, екрани з боку випромінювача покривають шаром срібла. Місце встановлення і форма екрану визначаються взаємним розташуванням випромінюючих елементів (антен) і робочих місць та орієнтацією їх діаграм спрямованості.

Засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) слід користуватися у тих випадках, коли застосування інших способів запобігання впливу ЕМВ неможливе. У якості ЗІЗ застосовують радіозахисний одяг та окуляри. Матеріалом для радіозахисного одягу може бути спеціальна радіотехнічна тканина, побудована за принципом сітчастого екрану, яка являє собою бавовняну тканину з мікродротом. У структурі такої тканини тонкий мідний дріт скручений з бавовняними нитками, які захищають його від зовнішніх впливів і одночасно є ізоляцією. Послаблення ЕМП поля цією тканиною в діапазоні частот 600-10000 МГц становить від 40 до 20 дБ.

Із захисної бавовняної тканини з мікродротом виготовляються такі ЗІЗ, як радіозахисний капюшон (шолом), радіозахисний халат, радіозахисний комбінезон і т. ін. На середніх частотах НВЧ діапазону такі індивідуальні засоби захисту забезпечують загальне послаблення 25-30 дБ, на крайніх частотах НВЧ діапазону їхні захисні властивості дещо знижуються.

У разі інтенсивного опромінення обличчя ЕМП застосовуються радіозахисні окуляри, які використовуються окремо або вшиті в шолом костюма. Це можуть бути сітчасті окуляри, які мають конструкцію напівмасок з мідною або латунною сіткою, або скляні захисні окуляри (наприклад ОРЗ-5), в яких застосовується спеціальне радіозахисне скло, вкрите двооксидом олова. Захисні властивості таких окулярів оцінюються на підставі даних про загальне послаблення застосованого скла, яке, як правило, знаходиться в межах 25-35 дБ.

Лікувально-профілактичні заходи. З метою попередження, ранньої діагностики і лікування порушень стану здоров'я працівників, пов'язаних з дією ЕМП, необхідно проводити попередні і

періодичні медичні огляди в порядку, установленому наказом МОЗ України.

Усі особи з початковими клінічними проявами порушень, обумовлених дією електромагнітних випромінювань, а також із загальними захворюваннями, перебіг яких може обтяжуватись під впливом несприятливих факторів виробничого середовища, слід брати на диспансерний облік з проведенням відповідних гігієнічних і терапевтичних заходів, спрямованих на оздоровлення умов праці і відновлення стану здоров'я працівників.

Тимчасове або постійне переведення працівників на іншу роботу здійснюється у випадках, що характеризуються прогресивним перебігом хвороби, вираженими формами професійної патології, або при виникненні в результаті дії фактора загальних захворювань. Переведенню на іншу роботу підлягають також жінки в період вагітності і годування немовлят.

Підлітки до 18 років до роботи на установках, які є джерелами ЕМП, не допускаються.

Питання для самоконтролю до розділу 2

1. Фізична сутність та джерела електромагнітних полів та випромінювань.
2. Охарактеризуйте основні параметри електромагнітних полів (показники та одиниці їх вимірювань).
3. Охарактеризуйте дію на людину електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону.
4. Охарактеризуйте принципи нормування параметрів електромагнітних випромінювань.
5. Охарактеризуйте алгоритм оцінки параметрів електромагнітного поля у виробничих умовах.
6. Охарактеризуйте заходи та засоби захисту від електромагнітних випромінювань.

Розділ 3

СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ТА ЇХ КОМПОНЕНТИ

Існуючі тенденції у сфері подальшого розвитку електроенергетичної галузі свідчать про нагальну необхідність вирішувати питання безпеки комплексно з урахуванням вимог усіх трьох взаємозв'язаних між собою основних складових: охорони здоров'я та безпеки праці, менеджменту якості і екологічної безпеки. Такий комплексний підхід може бути забезпечений лише у разі детального вивчення вже існуючого світового досвіду та останніх інноваційних досягнень науки і техніки в цих напрямках, а також, і це головне, лише за умови максимально ефективного співробітництва з провідними виробниками спеціалізованого електроенергетичного устаткування та обладнання для реалізації високоефективних систем захисту, автоматизації і управління у сфері безпеки.

Безумовним лідером у цій галузі є міжнародна корпорація «EATON CORPORATION» – це диверсифікована енергетична компанія, до складу якої входить більш ніж 500 провідних компаній у світі. Основний підрозділ цієї корпорації, електротехнічна група «EATON», є світовим лідером щодо управління електропостачанням та розподілення електроенергії, забезпечення безпеки, автоматизації та контролю, якості електроенергетичних послуг тощо. Сучасна високотехнологічна продукція таких відомих світових марок «EATON», як Cutler-Hammer®, MGE Office Protection Systems™, Powerware®, Holec®, MEM®, Cooper and Moeller® та ін., забезпечує можливість подальшого підвищення безпеки та якості обслуговування потреб будь-яких електроенергетичних систем промислових, комунальних і комерційних підприємств.

Завдяки впровадженню електротехнічною групою «EATON» сучасних інноваційних технологій при розробці та експлуатації розподільного та генеруючого електроенергетичного обладнання, систем автоматизації та управління безпекою, комунікаційного обладнання, інжинірингових послуг тощо. Діючі енергетичні системи в процесі їх модернізації можуть забезпечити не лише більш високий рівень безпеки та надійності, а й підвищення ефективності експлуатаційних витрат та менші екологічні ризики.

Слід зазначити, що електротехнічна група «EATON» має в Україні своє представництво, а саме ДП «Ітон Електрик», яке

успішно та ефективно працює на ринку України вже багато років і пропонує широкий спектр інноваційного спеціалізованого обладнання для реалізації систем автоматизації та управління у сфері безпеки, у тому числі:

- електротехнічну продукцію (щитове обладнання контактори, запобіжні пристрої, вимикачі навантаження, головні та сервісні вимикачі, перемикачі, промислові вимикачі-роз'єднувачі, компактні автоматичні вимикачі з функцією діагностики, перетворювачі частоти, системи гасіння дуги, різноманітні пристрої для систем енергопостачання тощо);
- датчики (безконтактні – ємнісні, індуктивні, фотоелектричні); датчики тиску; вібраційні датчики; механічні кінцеві вимикачі тощо;
- системи релейного захисту, силові та розподільні щити керування;
- систему управління SmartWire-DT з технологією SmartWireDarwin (SWD) – це нова інноваційна інтелектуальна технологія підключення обладнання до щитових панелей, яка використовується для спрощення з'єднань та комутацій;
- системи та пристрої управління і сигналізації (пульти керування, пристрої для керування рукою/ногою, кнопки аварійного відключення, світлові та звукові колони, компактні акустичні сигнальні пристрої тощо);
- компоненти систем автоматизації виробничих процесів: промислові ПК, компактні програмовані логічні контролери (ПЛК), розширювачі входів/виходів для ПЛК, модулі віддалених входів/виходів ПЛК, сенсорні панелі із вбудованими ПЛК, реле безпеки (ESR), програмовані керуючі реле для кіл безпеки (Easy Safety), вимірювальні реле (EMR), реле часу (ETR), реле перевантаження, пристрої плавного пуску електродвигунів тощо);
- спеціалізоване обладнання, що призначене для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах;
- програмне забезпечення з моделювання систем автоматизації з урахуванням існуючих ризиків і багато іншого.

Використання переліченого вище обладнання дозволяє значно розширити функціональні можливості систем управління та автоматизації у сфері безпеки. Наприклад, у разі застосування в

системах управління обладнанням реле безпеки серії ESR, можуть бути забезпеченні наступні функції безпеки:



- контроль світлових бар'єрів;
- контроль рухомих (з'ємних) захисних огорожень (без блокування або з блокуванням);
- аварійне відключення обладнання;
- контроль часу розблокування захисних бар'єрів;
- контроль двопозиційного (дворучного) управління (типу I, II або III);
- контроль відкритих зон небезпеки;
- запобігання непередбаченого запуску обладнання (повторних перезапусків) тощо.

Серед останніх розробок міжнародної електротехнічної Групи «EATON» у сфері електробезпеки та протипожежного захисту необхідно особливо виділити інноваційні багатофункціональні захисні пристрої комплексної дії, які виготовлені за технологією AFDD+. Їх застосування дає можливість забезпечити максимально високій рівень протипожежного захисту та мінімальні ризики щодо можливості отримання електротравм (див. наступний підрозділ 3.1.1).

3.1. Електротехнічні системи та засоби захисту

3.1.1. Багатофункціональні захисні пристрої комплексної дії для електромереж низької напруги

Одним з найбільш перспективних напрямів подальшого удосконалення засобів захисту для електромереж низької напруги (**НН: $U_p < 1000$ В**) є розробка багатофункціональних захисних пристроїв комплексної дії, які могли б гарантовано забезпечити мінімально можливі ризики при експлуатації електроустановки та дотримання діючих вимог у сфері електробезпеки та протипожежного захисту.



Однією з основних особливостей таких універсальних багатофункціональних захисних пристроїв є те, що вони можуть виконувати одночасно відразу декілька функцій безпеки, забезпечуючи тим самим максимально можливий захист людей та електрообладнання при виникненні струмів короткого замикання, струмів замикання на землю, можливих перевантажень, а також дугових пробоїв як послідовного, так і паралельного типів.

Безумовним лідером у цій галузі продовжує залишатися електротехнічна група «EATON», фахівці якої розробили цілу низку подібних пристроїв з використанням нових оригінальних інноваційних рішень та технологій. Одна з останніх розробок – пристрій захисту типу AFDD+ для низьковольтного електрообладнання.

Низьковольтне електрообладнання – це сукупність електротехнічних пристроїв і виробів з робочою напругою $U_p < 1000$ В, призначених для виробництва, розподілу, перетворення, передачі або споживання електричної енергії. У процесі його експлуатації можливе виникнення цілого ряду небажаних та небезпечних явищ, наприклад, струмового перевантаження (див. рис. 3.1.1-1, а), струму короткого замикання (див. рис. 3.1.1-1, б) або струму замикання (витоку) на землю (див. рис. 3.1.1-1, в).

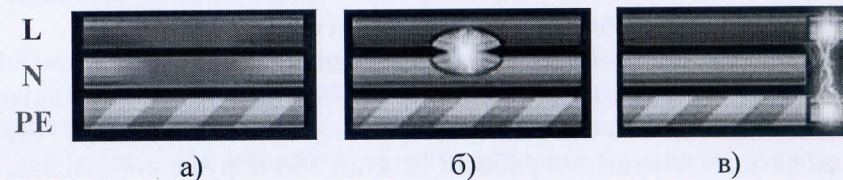


Рис.3.1.1-1

Також у процесі експлуатації низьковольтного електрообладнання можливе виникнення іншого небажаного і дуже небезпечного явища, а саме дугового пробою (замикання, як послідовного (див. рис. 3.1.1-2, а), так і паралельного типів (див. рис. 3.1.1-2, б)).

Дуговий пробій послідовного типу може виникнути у разі пошкодження (розриву) як фазного (L), так і нейтрального (N) провідника. Як правило, у цьому випадку струм дугового пробою дорівнює або трохи нижче значення номінального струму навантаження, що значною мірою ускладнює можливість його ідентифікації та виявлення. Як буде показано нижче, даний тип дугового замикання може бути виявлений лише за допомогою нової інноваційної технології AFDD (Arc Fault Detection Device), розробленої спеціально для виявлення подібних дугових пробів.

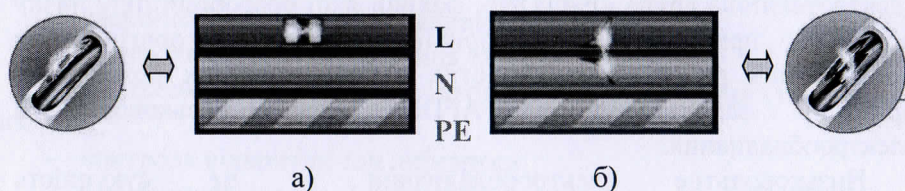


Рис. 3.1.1-2

Що стосується дугового пробою паралельного типу, то він, як правило, може виникнути в результаті пробою ізоляції між фазним (L) і нейтральним (N) провідниками або між фазним провідником (L) і провідником захисного заземлення (PE). При цьому, звичайно ж, загальний струм в електромережі збільшиться, оскільки визначатиметься вже не тільки існуючим сумарним еквівалентним імпедансом навантажень, а й у тому числі еквівалентним імпедансом пошкодженої внаслідок дії електричної дуги ізоляції.

Найбільш поширеними причинами виникнення дугових пробів під час експлуатації низьковольтного електрообладнання є механічні пошкодження елементів електрообладнання. Зазвичай, саме вони призводять до порушення робочої ізоляції або порушення цілісності (розриву) струмовідних провідників (фазного (L) або нульового (N) провідників).

Наприклад, навіть незначне механічне пошкодження робочої ізоляції електрокабеля може призвести до появи дугового пробою, яке, у свою чергу, призведе до ще більшого пошкодження робочої ізоляції, але вже під дією електричної дуги.

Безумовно, що для забезпечення діючих вимог з електробезпеки та протипожежного захисту при експлуатації низьковольтного електрообладнання необхідно виключити або максимально

мінімізувати існуючі ризики, пов'язані з можливістю виникнення вищезгаданих небажаних і небезпечних явищ при експлуатації ЕУ, а це можливо досягти лише за рахунок використання відповідних пристроїв захисту.

Історично процес еволюційного розвитку подібних пристроїв захисту можна умовно поділити на наступні послідовні у своєму розвитку етапи:

1 етап – це розробка та застосування пристроїв захисту від надструмів **MCB** (Modular Circuit Breaker) (див. рис. 3.1.1-3).



Eaton пропонує широкий вибір МАВ із

такими характеристиками:

- Номінальний струм: від 16 А до 125 А;
- Конфігурація: 1, 1+N, 2, 3, 3+N, 4;
- Номінальна вимикаюча здатність: від 4,5 кА до 25 кА;
- Характеристика спрацювання: В, С, D, К, S, Z.

Рис. 3.1.1-3

Такі модульні автоматичні вимикачі струму (МAB) забезпечують захист від коротких замикань та струмових перевантажень.

2 етап – це розробка та використання пристроїв захисту від асиметричних та незбалансованих струмів замикання (струмів витоку, дугових електричних замикань паралельного типу) **RCD** (Function Testing The Residual Current Device).

Такі автоматичні вимикачі диференційного струму (АВДС) або, як їх ще називають, пристрої захисного відключення (ПЗВ) дають можливість забезпечити більш високий рівень захисту персоналу від ураження електричним струмом і більш високий рівень протипожежного захисту.

Першим розробником пристрою захисного відключення (ПЗВ) був Готтфрід Бігельмейер. Свого часу він першим усвідомив

необхідність відключати струми замикання шляхом виявлення незбалансованих струмів і першим знайшов надійний спосіб реалізувати це в захисних пристроях. Бігельмейер був головним технічним співробітником компанії Felten & Guillaume, яка пізніше стала частиною EATON, і саме він вважається батьком ПЗВ завдяки надійному механізму відключення, який він винайшов. На даний час електротехнічна група EATON є одним з провідних світових виробників цифрових захисних пристроїв, і саме вона першою запропонувала ПЗВ із цифровими функціями, що дало можливість значно підвищити рівень надійності, функціональності та доступності даних пристроїв, які гарантовано забезпечують всі вимоги стандарту IEC 61140 та IEC 60364-4-42:2014 щодо захисту від ураження електричним струмом.

Слід зазначити, що сучасні цифрові ПЗВ вперше були представлені саме електротехнічною Групою «EATON», яка є безумовним лідером у цій сфері. Розроблені «EATON» ПЗВ забезпечують не тільки підвищений рівень безпеки, а і більш широкі функціональні можливості.

Сучасні цифрові ПЗВ від електротехнічної групи EATON оснащені незалежним від напруги захистом та мають широкий спектр цифрових функцій. На даний час цифрові ПЗВ від EATON мають наступні варіанти виконання – це типи АС, А, F, В, Bfq та В+.

Тип В+ – ПОВНОЦІННА БЕЗПЕКА.

Повний рівень безпеки для типу В *плюс (+)* підвищена чутливість до частот до 20 кГц для протипожежного захисту з максимальним значенням спрацювання 420 мА.

Особливості застосування та переваги:

- Пожежонебезпечні ділянки, двигуни, що приводяться в дію трифазними інверторами з дуже високою частотою, наприклад для використання в промисловості, сільському господарстві, АЗС тощо.
- Покращений захист від термічних небезпек та зменшення ризику виникнення пожеж, викликаних електричними пошкодженнями, внаслідок струмів витоку.

Тип В/Bfq – ВСЕОСЯЖНА БЕЗПЕКА.

Повний рівень безпеки для типу F *плюс (+)* виявлення згладженого постійного струму.

Особливості застосування та переваги:

- Пристрої з електронними навантаженнями частотою 50/60 Гц, наприклад фотоелектричні пристрої в житлових приміщеннях, зарядні пристрої для електромобілів, обладнання в лікарнях та медичних центрах тощо.
- Тип В/Bfq менш чутливий до більш високих частот та краще підходить для промислових об'єктів.
- Забезпечує повний захист для різних сфер застосування та виникнення хвильових сигналів відповідно до IEC/CEI 62423.

Тип F – РОЗШИРЕНА БЕЗПЕКА.

Повний рівень безпеки для типу А *плюс (+)* виявлення струмів замикання на землю з сумішню частот до 1 кГц. Згладжений постійний струм до 10 мА не впливає на спрацювання.

Особливості застосування та переваги:

- У разі використання приладів з регулюванням частоти обертів.
- Забезпечує розширений захист оператора при використанні схем з електронними навантаженнями.

Тип А – СТАНДАРТНА БЕЗПЕКА.

Повний рівень безпеки для типу АС *плюс (+)* виявлення пульсуючого постійного залишкового струму. Згладжений постійний струм до 6 мА не впливає на виявлення.

Особливості застосування та переваги:

- У разі використання приладів, в яких може виникати пульсуючий постійний струм витоку, наприклад випрямлячів для світлодіодних та енергозберігаючих ламп тощо.

Тип АС – МІНІМАЛЬНА БЕЗПЕКА.

Визначає тільки змінний струм витоку.

Особливості застосування та переваги:

- У разі використання побутової техніки (світильників, духових печей, прасок тощо).
- Мінімальні вимоги в більшості країн щодо використання у житлових приміщеннях – рекомендується вищий рівень безпеки.

Зовнішній вигляд таких цифрових ПЗВ та органів їх керування, а також технічні характеристики цих ПЗВ приведені на рис. 3.1.1-4.

Інноваційні цифрові технології, які застосовані у ПЗВ, забезпечують повне та якісне інформування як щодо стану самого захисного пристрою, так і щодо величини струму електричного замикання (витоку), а це значно полегшує контроль стану робочої ізоляції і тим самим забезпечує можливість вчасного проведення

регламентних та ремонтних робіт, що в свою чергу, виключає можливість виникнення неконтрольованих аварійних ситуацій.



Рис. 3.1.1-4

Особливості роботи вбудованого LCD-індикатору ПЗВ та можливі режими його функціонування представлені на рис. 3.1.1-5.

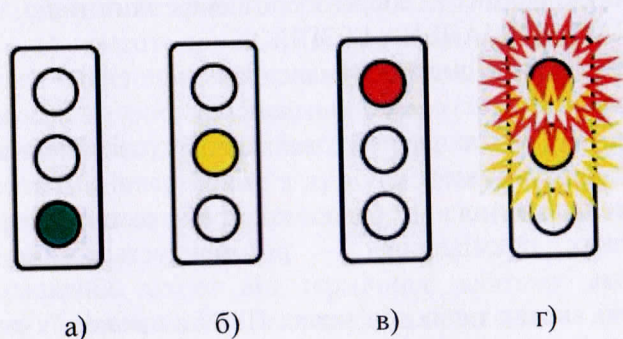


Рис. 3.1.1-5

Зелений світлодіод – світиться (рис. 3.1.1-5, а), якщо вимірний струм замикання (витоку) не перевищує 30% від номінального струму

спрацювання ПЗВ при замиканні на землю (нормальний режим роботи ПЗВ).

Жовтий світлодіод – загоряється (рис. 3.1.1-5, б), якщо вимірний струм замикання (витоку) перевищує 30%, але менше ніж 50% від номінального струму спрацювання ПЗВ при замиканні на землю (необхідно взяти попередніх професійних заходів щодо усунення несправностей в електрообладнанні);

Червоний світлодіод – загоряється (рис. 3.1.1-5, в), якщо вимірний струм замикання (витоку) перевищує 50% від номінального струму спрацювання ПЗВ при замиканні на землю (це означає, що система знаходиться у критичному стані, необхідні термінові професійні заходи щодо попередження подальшого зростання струму замикання (витоку) на землю;

Жовтий та червоний світло діоди миготять (рис. 3.1.1-5, г), якщо мають місце технічні несправності (необхідні термінові професійні заходи щодо їх усунення).

Таким чином, використання цифрових технологій в ПЗВ, дозволяє значно розширити їх функціональні можливості і таким чином підвищити рівень безпеки експлуатує мого електрообладнання.

3 етап – розробка та застосування пристроїв комплексного захисту RCBOs (Residual Current Operated Circuit-Breaker With Integral Overcurrent Protection), які мають більші функціональні можливості ніж МАВ та ПЗВ. Це автоматичні вимикачі диференційного струму (АВДС) із вбудованим захистом від надструмів або, як їх ще називають, **ВЗСЗН** – вимикачі залишкових струмів із захистом від надструмів. Даний захисний пристрій (див. рис. 3.1.1-6) одночасно забезпечує захист як від надструмів (коротких замикань, перевантажень), так і від уражень електричним струмом викликаних струмами витоку, тобто один захисний пристрій забезпечується комплексну дію одразу двох функцій безпеки.

Таким чином, ВЗСЗН мають більші функціональні можливості, оскільки забезпечують не тільки контроль диференційного струму, але й одночасно захист від струмів короткого замикання та струмових перевантажень (надструмів).

Безумовно, що таке суміщення в одному пристрої функцій МАВ та ПЗВ дозволяє досягти більш високого рівня безпеки при експлуатації електрообладнання.

Усі три вищезгадані етапи розвитку пристроїв захисту низьковольтного електрообладнання пройшла і електротехнічна Група «EATON» – один із безумовних лідерів у цій галузі.

Eaton пропонує широкий вибір ВЗСЗН із такими характеристиками:

- Номінальний струм: від 2 А до 40 А;
- Конфігурація: 1+N, 2, 3, 3+N;
- Номінальна вимикаюча здатність: від 4,5 кА до 10 кА;
- Номінальний струм спрацювання: від 10 мА до 300 мА;
- Чутливість: АС, А;
- Характеристика спрацювання: В, С;
- Тип спрацювання: миттєве, з короткочасною затримкою.

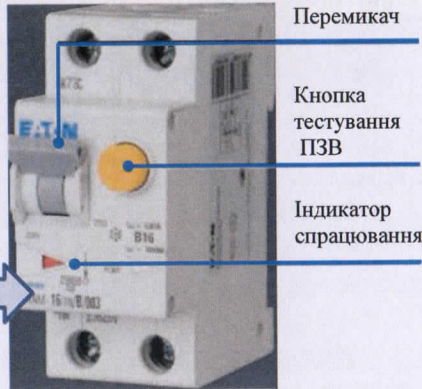


Рис. 3.1.1-6

4 етап. На сучасному еволюційного розвитку подібних пристроїв захисту, наступним кроком «EATON» щодо подальшого удосконалення засобів захисту стала розробка принципово нового захисного пристрою AFDD+, виконаного з використанням новітніх інноваційних технологій та відповідно до вимог сучасних міжнародних стандартів IEC 60364-4-42: 2014 та IEC 62606-2016.

AFDD+ – це універсальний, багатофункціональний захисний пристрій комплексної дії (див. рис. 3.1.1-7), в якому на якісно новому рівні використано всі переваги сучасних цифрових рішень для забезпечення функціонування діючих систем безпеки на принципово новому рівні.

Даний пристрій здійснює комплексний захист не тільки від струмів коротких замикань, струмових перевантажень, струмів замикання (витоку) на землю, а й від дугових пробойів за рахунок використання нової інноваційної технології AFDD (arc fault detection device), що забезпечує можливість створення пристроїв захисту з гарантованим виявленням дугових пробойів (ПЗДП).



Рис. 3.1.1-7

Застосування даної технології, заснованої на використанні інноваційних алгоритмів цифрової обробки сигналів, характерних для дугових пробойів в електричних ланцюгах, забезпечує надчутливе та надійне виявлення струмів дугового пробоя. На рис. 3.1.1-8 показано характерні зміни в осцилограмі робочого струму навантаження у разі виникнення у фазному проводі (L) дугового пробоя.

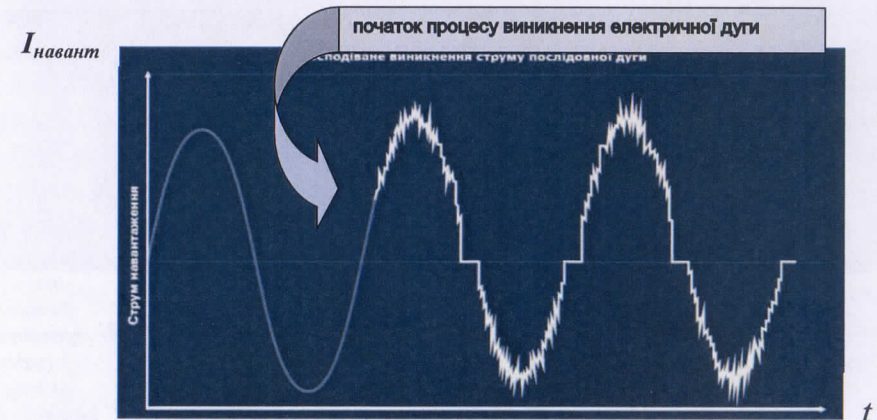
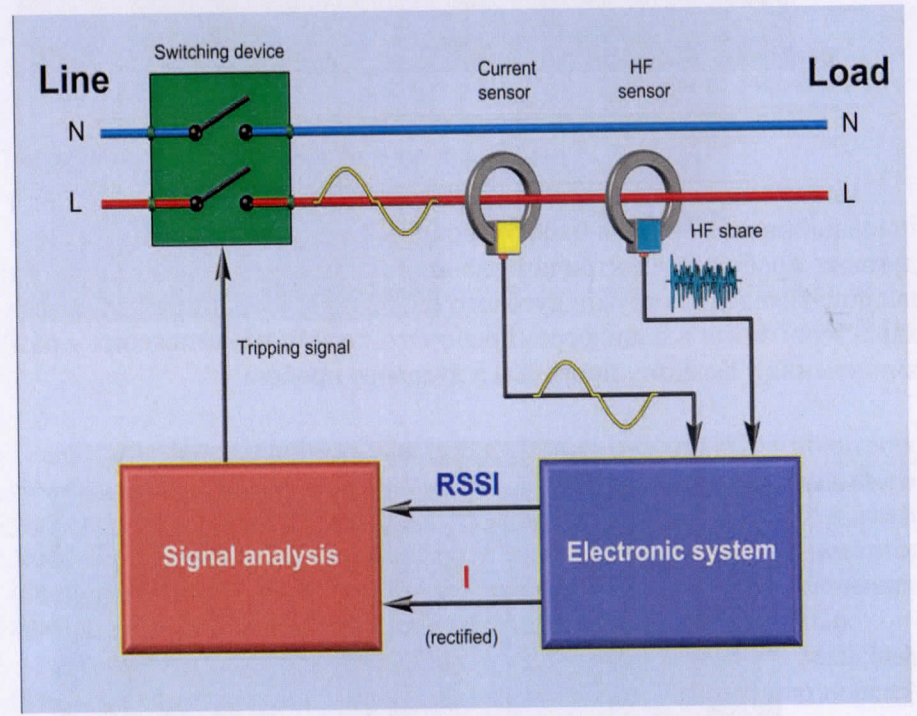


Рис. 3.1.1-8

У разі виникнення дугового пробоя струм навантаження в електромережі має унікальні характеристики, які ідентифікуються системою цифрового контролю AFDD+.

Насамперед, це стосується наявності при дуговому пробії високочастотного шуму у складі спектру струму навантаження, а також наявності при дуговому пробії послідовного типу переривання струму навантаження в межах близьких до проходження через нуль напруги живлення в електромережі (див. рис. 3.1.1-8).

Схематичне зображення блок-схеми пристрою захисту від дугового пробію та особливості його роботи представлені на рис. 3.1.1-9.



RSSI – високочастотний електричний сигнал;
I – низькочастотний електричний сигнал.

Рис. 3.1.1-9

Згідно з наведеною блок-схемою робочий струм в електричному колі фазного проводу вимірюється двома датчиками, за допомогою яких визначаються низькочастотна та високочастотна складові робочого струму. Отримані за допомогою датчиків електричні

сигнали аналізуються вбудованим мікроконтролером і, у разі наявності ознак, що характерні для виникнення дугового пробію, відбувається відключення електроживлення за допомогою керованого пристрою.

Безпосереднє виявлення змін у параметрах струму навантаження здійснюється захисним пристроєм AFDD+ за допомогою розроблених новітніх інноваційних цифрових технологій, що, безумовно, значно підвищує надійність його спрацювання при аварійних ситуаціях.

Застосовані в захисному пристрої AFDD+ вбудовані кольорові індикатори стану і додатковий світлодіодний індикатор (див. рис. 3.1.1-10 а, б, в), дозволяють отримати вичерпну інформацію щодо поточного стану самого захисного пристрою, причин спрацювання AFDD+, а також оперативно визначити тип електричного замикання і дугового пробію.

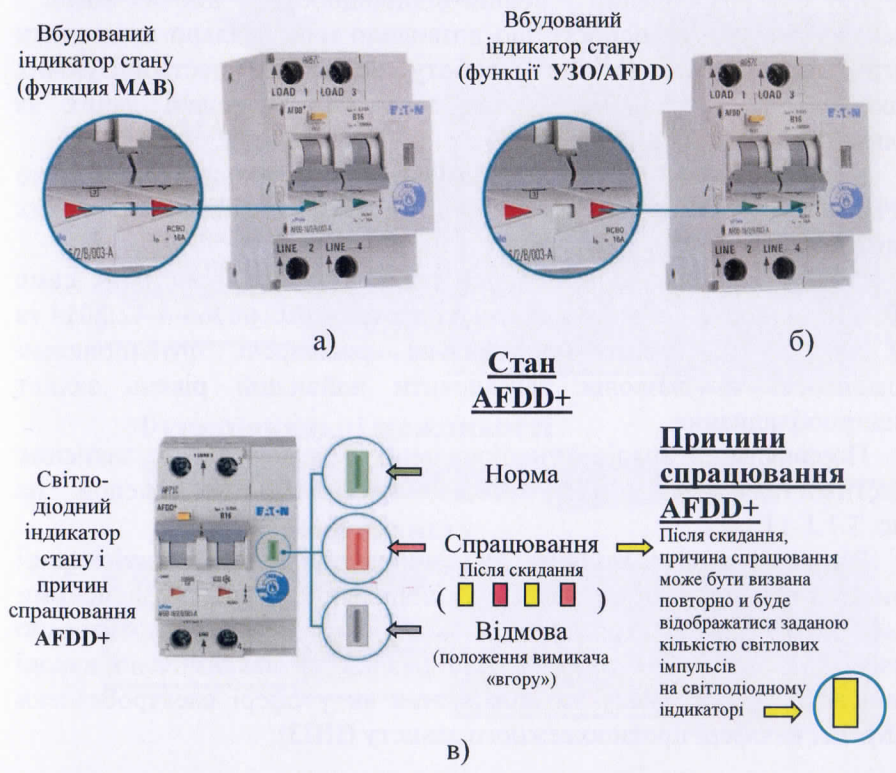


Рис. 3.1.1-10

Використання даних індикаторів значно полегшує пошук несправностей і економить час при проведенні регламентних, ремонтних і аварійних робіт.

На рис. 3.1.1-10 (а) та на рис. 3.1.1-10 (б) представлені алгоритми спрацьовування вбудованих індикаторів стану AFDD+ (функції MAB та функцій ПЗВ/AFDD відповідно).

На рис. 3.1.1-10 (в) – алгоритми роботи світлодіодного індикатора, включаючи алгоритм визначення з його допомогою причин спрацьовування захисного пристрою AFDD+.

Необхідно також зазначити, що виконання вбудованим мікроконтролером AFDD+ функцій цифрової обробки та оцінки поточних електричних сигналів дозволяє з високим ступенем надійності визначити, чи володіють ці сигнали характерними для виникнення електричної дуги ознаками, або ж це лише вплив зовнішніх електромагнітних шумів та завад. Захисний пристрій AFDD+ був розроблений у повній відповідності до діючих вимог з електромагнітної сумісності, що дозволило максимально виключити негативний вплив на його роботу зовнішніх дестабілізуючих факторів, наприклад, імпульсних завад при передачі даних за допомогою електричних проводів.

Все це значно підвищує надійність роботи захисного пристрою AFDD+ та виключає можливість непередбачених помилкових спрацьовувань.

Серед існуючих на даний час типів захисних пристроїв, саме AFDD+, який був розроблений за стандартами IEC 60364-4-42:2014 та IEC 62606-2016, має максимально розширені функціональні можливості та дозволяє забезпечити найвищий рівень захист електрообладнання.

Порівняльний аналіз функціональних можливостей та захисних властивостей MAB, ПЗВ, АВДТ та AFDD+ наведеної на рис. 3.1.1-11.

Він переконливо свідчить, що інноваційні багатофункціональні пристрої комплексної дії AFDD+, у порівнянні з іншими захисними пристроями для електромереж низької напруги (НН), гарантовано дозволяють забезпечити мінімальні ризики та максимально високі рівні захисту персоналу та обладнання як у сфері електробезпеки (ЕБ), так і в сфері протипожежного захисту (ППЗ).

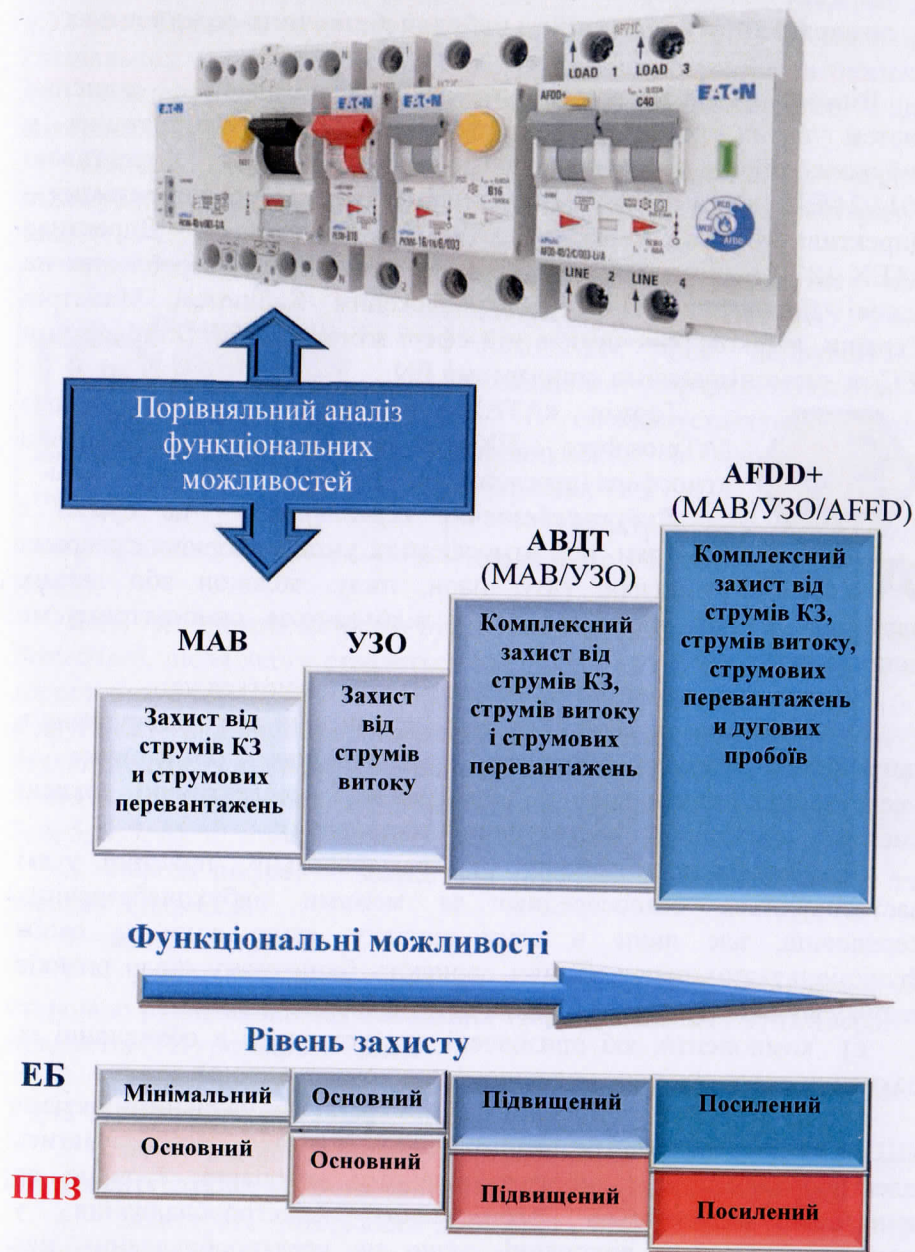


Рис. 3.1.1-11

3.1.2. Спеціалізоване електрообладнання, призначене для використання у потенційно вибухонебезпечних середовищах

Вимоги безпеки до спеціалізованого обладнання, захисних систем та їх компонентів, призначених для використання у вибухонебезпечних середовищах регламентуються Директивою 2014/34/EU (друга назва – Директива ATEX, попередня редакція – Директива 94/9/ЕС), Директивою 99/92/ЕС (друга назва – Директива ATEX 137), національним Технічним Регламентом, розробленим на основі Директиви ATEX і затвердженим Кабінетом Міністрів України, а також діючими в цій сфері міжнародними стандартами ІЕС та гармонізованими стандартами ЕН.



Термін «ATEX» походить від французького "ATmosphere EXplosives" – вибухонебезпечна атмосфера (середовище).

Вибухонебезпечне середовище – це суміш з повітрям, при атмосферних умовах, горючих речовин у вигляді газу, пари, пилу, волокон або летких частинок, в якій після запалення відбувається самопідтримуєме поширення полум'я.

Вимоги Директиви ATEX (стаття 1) поширюються на:

а) обладнання та захисні системи, призначені для застосування в потенційно вибухонебезпечних середовищах (електричне і неелектричне обладнання; електричні і неелектричні захисні системи; електричні і неелектричні компоненти);

б) запобіжні, керуючі і регульовальні пристрої, які застосовуються безпосередньо за межами вибухонебезпечних середовищ, але лише в тому випадку, якщо вони за своїм функціональним призначенням сприяють безпечному щодо ризиків вибуху функціонуванню обладнання та захисних систем;

с) компоненти, які призначені для установки в обладнанні та захисних системах, перелічених у першому пункті (а).

Згідно з діючими на даний час в Україні нормативними актами (НПАОП), у вибухонебезпечних зонах повинно застосовуватись електрообладнання у вибухозахищеному виконанні, і лише як виняток, допускається застосування електрообладнання у пожежозахищеному виконанні, якщо це електрообладнання має відповідний ступінь захисту оболонки, який гарантовано забезпечує при наявності вибухонебезпечного середовища необхідний рівень

безпеки його експлуатації та дотримання вимог ПБЕ (НПАОП 40.1-1.32-01 "Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок"), які регламентують вимоги безпеки до спеціалізованого електрообладнання, призначеного для використання у вибухонебезпечних середовищах.

Ступінь захисту оболонок електрообладнання згідно міжнародної класифікації ІР за стандартом ІЕС 529-89 характеризує захист:



- персоналу від дотику або доступу до частин ЕУ, що знаходяться під напругою і розташовані усередині оболонки;

- електроустаткування від проникнення в нього твердих сторонніх тіл;

- електроустаткування від шкідливого проникнення рідин

(води).

Код ІР позначається буквосполученням ІР (International Protection), після якого ставляться дві цифри (ХУ), перша з яких (Х) характеризує ступінь захисту оболонки від проникнення твердих тіл, а друга (У) – від проникнення рідин. Дана класифікація передбачає 7 ступенів захисту від проникнення в оболонку твердих тіл (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6) і 9 ступенів захисту від проникнення в оболонку рідини (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Х (перша цифра) – захист від попадання твердих часток та твердих предметів:

0 – захист відсутній;

1 – захист від доторкання до небезпечних деталей тильною стороною руки; захист від попадання твердих часток (ТЧ) та твердих предметів (ТП) розміром >50мм;

2 – захист від контакту з пальцями руки; захист від попадання ТЧ та ТП з розмірами >12мм;

3 – захист від попадання до небезпечних деталей за допомогою інструменту; захист від попадання ТЧ та ТП з розміром >2,5 мм;

4 – захист від доторкання дротом до небезпечних деталей та захист від попадання ТП з розміром >1мм;

5 – захист від попадання шкідливого пилу.

У (друга цифра) – захист від попадання рідини:

0 – захист відсутній;

1 – захист від часток води, які падають вертикально;

2 – захист від бризок води, які падають під кутом до 15 град. до вертикалі;

3 – захист від бризок води, які падають під кутом до 60 град. до вертикалі;

4 – захист від бризок води в усіх напрямках;

5 – захист від водяних струменів в усіх напрямках;

6 – повний захист від бризок та водяних струменів, які подібні до морських накатів;

7 – захист від короточасних занурень на глибину від 15 см до 1 м;

8 – захист від впливу води під час довгострокового занурення на глибину більш ніж 1 м.



Вимоги ПБЕ (НПАОП 40.1-1.32-01) до електрообладнання у вибухозахищеному виконанні

За призначенням таке електрообладнання поділяється на дві групи: I Група – рудничне; II Група – загального призначення (не в рудниках).

Вибухозахищене електрообладнання загального призначення класифікується за рівнем вибухозахисту, видом вибухозахисту, групою або підгрупою електрообладнання, що визначається категорією вибухонебезпечних сумішей повітря з газами (або з парами), яка пов'язана із безпечним експериментальним зазором (БЕМЗ), а також за температурною групою газоповітряної суміші, в якій це обладнання виконує функції вибухозахисту.

За рівнем вибухозахисту електрообладнання поділяється на: електрообладнання підвищеної надійності проти вибуху («2»), вибухобезпечне електрообладнання («1»), особливо вибухобезпечне електрообладнання («0»).

У вибухозахищеному електрообладнанні застосовуються наступні **види вибухозахисту:**

- вибухонепроникна оболонка – «d»;
- заповнення або продування оболонки – «p»;
- захисним газом з надлишковим тиском іскробезпечне електричне коло – «i»;

- кварцове заповнення оболонки – «q»;
- масляне заповнення оболонки – «o»;
- герметизація компаундом – «m»;
- захист виду – «e»;
- спеціальний вид вибухозахисту;
- захист виду – «s»;
- захист виду – «n».

**Примітки:*

1) **Вибухонепроникна оболонка виду «d»** – оболонка, яка витримує тиск вибуху в її середині та унеможливорює його розповсюдження з оболонки в навколишнє вибухонебезпечне середовище;

2) **Захист «заповнення або продування обладнання надлишковим тиском виду «p»** – вид вибухозахисту електрообладнання, за якого оболонка електрообладнання заповнюється або продувається надлишковим тиском повітря чи інертного газу;

3) **Іскробезпечне електричне коло** – електричне коло, яке виконано так, що електричний розряд або нагрівання не може запалити вибухонебезпечне середовище в умовах спеціальних випробувань;

4) **Захист «кварцове заповнення оболонки виду «q»** – вид вибухозахисту електрообладнання, за якого оболонка електрообладнання заповнюється кварцевим або іншим негорючим порошком;

5) **Захист «масляне заповнення оболонки виду «o»** – вид вибухозахисту електрообладнання, за якого оболонка електрообладнання заповнюється маслом або рідким негорючим діелектриком;

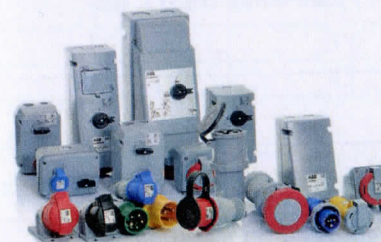
6) **Захист «герметизація компаундом «m»** – вид вибухозахисту електрообладнання, за якого будь-яка його частина, здатна запалити вибухонебезпечне середовище через іскріння або нагрівання, замкнена в компаундну оболонку.

7) **Захист виду «e»** – вид вибухозахисту, який полягає в тому, що в електрообладнанні або його частинах нема деталей, що нормально іскрять, і взято низку заходів додатково до використаних в електрообладнанні загального призначення, які утруднюють появу небезпечного нагрівання, електричних іскор і дуг;

8) **Спеціальний вид вибухозахисту:**

захист виду «s» – вибухозахист, заснований на принципах, відмінних від наведених у попередніх пунктах (п.п 1-7), але достатніх для його здійснення;

захист виду «n» – електрообладнання, що відповідає вимогам стандартів щодо електричних приладів, які в нормальному режимі експлуатації не мають гарячих



поверхонь, здатних до загоряння, та не створюють електричних дуг або іскор. Електричні параметри (напруга, струм, індуктивність та ємність) в їх колах, включаючи кабелі, не перевищують значень з коефіцієнтом 1. Електрообладнання з цим видом вибухозахисту слід застосовувати для вибухобезпечних зон класу 2.

Маркування вибухозахищеного електрообладнання наноситься на його корпусі при виготовленні (електрографікою, у виді таблички тощо) і передбачає наявність наступної інформації:

- рівень вибухозахисту («2», «1», «0»);
- індекс «Ex» (означає відповідність електрообладнання міжнародним стандартам вибухозахисту);
- вид вибухозахисту («d», «p», «i», «q», «o», «e», «s»);
- знак групи або підгрупи електрообладнання («II», «IIA», «IIB», «IIC»);
- знак температурної групи вибухонебезпечних сумішей повітря з газами або з парою («T1»... «T6»).

**Примітка:* У маркуванні вибухозахисту можуть мати місце додаткові знаки і написи відповідно до стандартів на електрообладнання з окремими видами вибухозахисту:

- 1) У маркуванні іскробезпечних кіл — знаки a, b, c.
- 2) Знак «X», який може мати місце після позначення маркування вибухозахисту електротехнічного пристрою, означає, що в експлуатаційній документації на нього вказані особливі умови монтажу та (або) експлуатації, пов'язані з забезпеченням його вибухозахисту.

Діючі класифікації вибухонебезпечних сумішей повітря з газами або з парою за категоріями та температурними групами представлені відповідно у таблиці 3.1.2-1 та таблиці 3.1.2-2

Таблиця 3.1.2-1. Категорії вибухонебезпечних сумішей повітря з газами або з парою (в залежності від БЕМЗ)

Категорія суміші	Найменування суміші	Значення БЕМЗ, мм
II	Промислові газу і пара	-
IIA	Те саме	0,9 і більше
IIB	-//-	більше 0,5, але менше 0,9
IIC	-//-	0,5 і менше

Таблиця 3.1.2-2. Групи вибухонебезпечних сумішей повітря з газами або з парою

Групи вибухонебезпечних сумішей	Температура самозаймання, °C	
	Вище	450
T1	Те саме	300-450
T2	-//-	200-300
T3	-//-	135-200
T4	-//-	100-135
T5	-//-	85-100
T6	-//-	

Наприклад, наявність на корпусі електрообладнання маркування IExdIIBT3 означає, що електрообладнання вибухобезпечне «1», відповідає міжнародним стандартам вибухозахисту, побудовано на принципі вибухонепроникної оболонки «d», може застосовуватись у вибухонебезпечних середовищах категорії «IIB» і «IIA», температура на поверхні обладнання при його роботі не може бути вищою 200°C — нижчої температури самозаймання суміші групи «T3».

Слід зазначити, що експлуатація електрообладнання при пошкодженому маркуванні або його відсутності забороняється.

Електрообладнання групи II в залежності від значення граничної температури поділяється на шість температурних класів, зазначених у таблиці 3.1.2-3.

Таблиця 3.1.2-3. Температурні класи електрообладнання групи II

Температурний клас електрообладнання	Гранична температура, °C	Група вибухонебезпечної суміші, для якої електрообладнання є вибухозахищеним
T1	450	T1
T2	300	T1, T2
T3	200	T1-T3
T4	135	T1-T4
T5	100	T1-T5
T6	85	T1-T6

Електрообладнання групи II, яке має вибухозахист «вибухонепроникна оболонка» та (або) «іскробезпечне електричне коло», поділяється на три підгрупи, які відповідають вибухонебезпечним сумішам відповідно до таблиці 3.1.2-4.

Таблиця 3.1.2-4. Підгрупи електрообладнання групи II з видами вибухозахисту «вибухонепроникна оболонка» та (або) «іскробезпечне електричне коло»

Група електроустановок	Підгрупа електроустановок	Категорія вибухонебезпечної суміші, для якої електрообладнання є вибухозахищеним
II	-	IIA, IIB і IIC
	IIA	IIA
	IIB	IIA і IIB
	IIC	IIA, IIB і IIC

*Примітка: Знак II при маркуванні застосовується для електрообладнання, яке не поділяється на підгрупи.

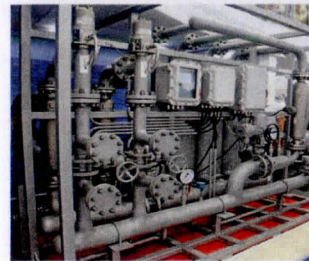
Управління вибухонебезпечними середовищами на робочих місцях. Забезпечується у відповідності до вимог Директиви 99/92/ЕС (друга назва – Директива АТЕХ 137), яка встановлює вимоги з гігієни та безпеки праці осіб, які працюють у потенційно вибухонебезпечному середовищі.

Згідно з вимогами Директиви АТЕХ 137 при організації робочих місць, роботодавець, повинен:

- відповідним чином класифікувати небезпечні місця, в яких може виникнути вибухонебезпечне середовище;
- гарантувати, що в таких місцях виконуються мінімальні вимоги з вибухозахищеності;
- забезпечити відповідне маркування місць доступу до майданчиків з можливою появою вибухонебезпечного середовища, що становить небезпеку для здоров'я і умов охорони праці працівників.

Також, згідно з вимогами Директиви АТЕХ 137, роботодавець повинен мати в наявності так званий документ з вибухозахищеності, який включає положення про те, що:

- вибухонебезпечні ризики встановлені і отримали відповідну оцінку;
- місця виникнення вибухонебезпечного середовища встановлені і класифіковані за відповідними зонами;
- забезпечені мінімальні вимоги із вибухозахищеності, які встановлені Директивою АТЕХ 137;
- вжито відповідних заходів щодо досягнення цілей, зазначених в Директиві АТЕХ 137;



- робочі місця і виробниче обладнання, в тому числі і пристрої аварійного оповіщення, експлуатуються і підтримуються на необхідному технічному рівні з дотриманням усіх необхідних вимог з безпеки;

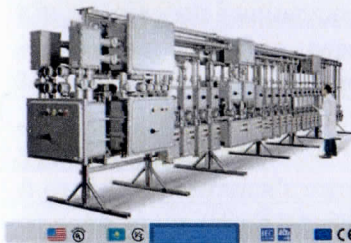
- відповідний план заходів щодо безпечної роботи виробничого обладнання

розроблено згідно із положеннями Директиви 89/655/ЕЕС.

Згідно з вимогами Директиви АТЕХ 137 зона класифікація небезпечних місць з можливою появою вибухонебезпечного середовища базується на частоті прояву і тривалості існування вибухонебезпечного середовища

Згідно з вимогами Директиви АТЕХ 137 для того, щоб обладнання було придатним для використання у вибухонебезпечному середовищі, тобто при наявності газів, парів, туману і/або пилу, в зазначених зонах слід використовувати обладнання відповідних рівнів за вибухозахистом.

Класифікація вибухонебезпечних зон згідно ПБЕ (НПАОП 40.1-1.32-01). Клас вибухонебезпечної зони, згідно з яким виконуються вибір і розміщення електроустановок, у залежності від частоти і тривалості присутнього вибухонебезпечного середовища визначається технологами разом з електриками проектної або експлуатаційної організації.



Клас вибухонебезпечних зон характерних виробництв та категорія і група вибухонебезпечної суміші повинні відображатися в нормах технологічного проектування або в галузевих переліках виробництв з вибухопожежонебезпеки.

Газо-, пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні — вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Вибухонебезпечна зона класу 0 – простір, в якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу. Вибухонебезпечна зона класу 0 згідно з вимогами даного розділу може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 – простір, в якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (тут і далі нормальна робота, це ситуація, коли установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів).

Вибухонебезпечна зона класу 2 – простір, в якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів (розрив трубопроводів високого тиску або резервуарів значної місткості) не повинні розглядатися під час проектування електроустановок.

Частоту виникнення і тривалість вибухонебезпечного газо-, пароповітряного середовища визначають за правилами (нормами) відповідних галузей промисловості.

Вибухонебезпечна зона класу 20 – простір, в якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої або надмірної товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

Вибухонебезпечна зона класу 21 – простір, в якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації. Ця зона може включати простір поблизу місця порошкового заповнення або осідання і простір, де під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилових шарів, які можуть утворювати небезпечну концентрацію вибухонебезпечної пилоповітряної суміші.

Вибухонебезпечна зона класу 22 – простір, в якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто й існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії. Ця зона може включати простір поблизу обладнання, що утримує пил, який може вивільнитися шляхом витоку і формувати пилові утворення.

Загальні вимоги щодо вибору спеціалізованого вибухозахищеного електрообладнання. Вибір електрообладнання для роботи у вибухонебезпечних зонах необхідно виконувати за таблицями: 3.1.2-5,



3.1.2-6 та 3.1.2-7. За потреби допускається обґрунтована заміна електрообладнання, зазначеного в таблицях, на електрообладнання з більш високим рівнем вибухозахисту і більш високим ступенем захисту оболонки. Наприклад, замість електрообладнання рівня «підвищена надійність проти вибуху» може бути встановлено електрообладнання рівня «вибухонебезпечне» або «особливо вибухонебезпечне».

Таблиця 3.1.2-5. Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин (стаціонарних і пересувних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони.

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухонебезпечне електрообладнання
1	Вибухонебезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху
20	Особливо вибухонебезпечне і вибухонебезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01)*
21	Вибухонебезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01)*
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01)*. Ступінь захисту IP54 Частини машин, що дають іскріння (наприклад, контактні кільця), повинні бути замкнені в оболонку зі ступенем захисту IP54

Таблиця 3.1.2-6. Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів (стаціонарних, пересувних і переносних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухонебезпечне електрообладнання
1	Вибухонебезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху. Допускається застосовувати електрообладнання без засобів вибухозахисту для апаратів і приладів, що не іскрять і не нагріваються вище +80° С в оболонці зі ступенем захисту не менше IP54
20	Особливо вибухонебезпечне і вибухонебезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01)*
21	Вибухонебезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01)*
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01)* оболонки зі ступенем захисту не менше IP54

Таблиця 3.1.2-7. Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту електричних світильників (стаціонарних і переносних) в залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху з видом захисту «п». Дозволяється застосовувати світильники, в яких відсутні засоби вибухонебезпеки за умови, що максимальна температура поверхні світильника не перевищує значень, які наведені в таблиці 1. Ступінь захисту — IP54. Умови використання таких світильників повинні бути узгоджені в установленому порядку. Світильники з люмінесцентними лампами повинні мати ступінь захисту не нижче IP53
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01)*
21	Електрообладнання підвищеної надійності проти вибуху (за умови дотримання вимог п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01)*
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01)* оболонки зі ступенем захисту не менше IP54

*Примітки:

1. Вимоги за п. 4.6.9 НПАОП 40.1-1.32-01*:

У вибухонебезпечних зонах класів 20, 21 і 22 слід використовувати електрообладнання, призначене для вибухонебезпечних зон із сумішами повітря з горючим пилом або волокнами.

За відсутності такого електрообладнання допускається у вибухонебезпечних зонах класу 20 застосовувати вибухозахищене електрообладнання рівнів «особливо вибухобезпечне» і «вибухобезпечне», призначене для роботи в зонах з вибухонебезпечними сумішами повітря з газами або з парою; у зонах класу 21 — вибухозахищене електрообладнання усіх рівнів вибухозахисту, призначене для роботи в зонах з вибухонебезпечними сумішами повітря з газами або парою, а в зонах класу 22 — електрообладнання загального призначення (без вибухозахисту), але таке, що має відповідний захист оболонки від проникнення пилу.

Застосування вибухозахищеного електрообладнання, призначеного для роботи в зонах вибухонебезпечних сумішей повітря з газами або парою, і електрообладнання загального призначення з відповідним ступенем захисту оболонки допускається за умови, якщо максимальна температура поверхні електрообладнання буде не менше ніж на +75° С нижче температури самозаймання або тління шару пилу завтовшки 5 мм і не менше ніж на +25° С нижче температури самозаймання пилу завтовшки 12,5 мм за умови, що такий шар є



на поверхні електрообладнання. Для пилоповітряної вибухонебезпечної суміші максимальна температура має бути не вище 2/3 температури самозаймання завислого пилу.

На знімних кришках вказаного електрообладнання треба робити попереджувальні написи: «Відкривати, вимкнувши від мережі!».

2. У зонах, вибухонебезпечність яких визначається перегрітою поверхнею, може застосовуватися будь-яке вибухозахищене електрообладнання для будь-яких категорій і груп з температурою нагріву поверхні, яка не перевищує температуру самозаймання даної речовини. Дopusкається застосування електрообладнання зі ступенем захисту оболонки не нижче IP44 в разі підтвердження багаторічної безаварійної експлуатації аналогічних виробництв і погодження цього рішення з Держпраці в установленому порядку.

Електричні засоби захисту (НПАОП 40.1-1.32-01). Захист ліній електроживлення напругою вище 1000 В і приєднаних до них електроприймачів повинен задовольняти вимогам ПУЕ та ПБЕ. Захист електродвигунів від однофазних замикань на землю і перевантаження повинен виконуватися незалежно від потужності електродвигуна, а захист від багатофазних КЗ і перевантажень має бути дворелейним або трирелейним. Кабелі і проводи в мережах напругою вище 1000 В повинні бути перевірені на нагрівання струмом КЗ.

Кабелі і проводи силових, освітлювальних і вторинних кіл у мережах напругою до 1000 В повинні бути захищені від коротких замикань, перевантажень і замикань на землю, а їх переріз слід вибирати згідно з вимогами ПУЕ.

Для вибухонебезпечних зон усіх класів кратність струмів КЗ струмам уставок захисних пристроїв повинна відповідати наступним вимогам:

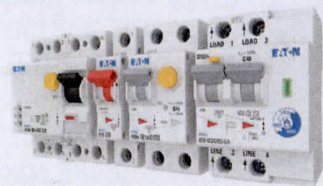
Автоматичне відключення аварійної ділянки мережі напругою до 1000 В забезпечується, якщо розрахункове значення мінімального струму КЗ перевищує не менше ніж у 4 рази номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника і не менше ніж у 6 разів струм розчіплювача автоматичного вимикача, що має протилежну від струму характеристику. У разі захисту мереж автоматичними вимикачами, які мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), кратність струму КЗ щодо уставки слід приймати не менше 1,4 для автоматичних вимикачів з номінальним струмом до 100 А і не менше 1,25 — з номінальним струмом понад 100 А.

Захист мереж напругою до 1000 В від КЗ рекомендується виконувати автоматичними вимикачами, використовуючи

максимальні миттєво діючі розчіплювачі і спеціальні розчіплювачі, які діють у зоні струмів однофазних КЗ.

Не допускається у вибухонебезпечних зонах усіх класів установлювати захисні і комутаційні апарати в колах захисних провідників (РЕ-провідників) і в колах нульових робочих провідників, суміщених із захисними провідниками (PEN-провідники).

Захист нульових робочих провідників від струмів КЗ не обов'язковий. У разі його виконання для одночасного відключення фазного і нульового робочого провідників повинні застосовуватися двополюсні автоматичні вимикачі з одночасним відключенням фазного та нульового робочого провідника (N-провідника).



У вибухонебезпечних зонах класів 0 та 20 слід, а у вибухонебезпечних зонах класів 1, 2, 21 та 22 рекомендується застосовувати пристрої захисного відключення (ПЗВ). В електроустановках з глухозаземленою нейтраллю, для

резисторних нагрівальних пристроїв слід застосовувати ПЗВ із диференціальним струмом спрацьовування 30 мА для вибухонебезпечних зон усіх класів.

В електроустановках із ізольованою нейтраллю повинен використовуватися контрольний прилад ізоляції так, щоб можна було відключати живлення, коли опір ізоляції стане менше ніж 50 Ом на 1 В номінальної напруги.

Кожна електрична машина, яка встановлюється у вибухонебезпечній зоні, повинна бути захищена від нагрівання, що перевищує допустимий рівень температури, і перевантажень. Як захисні пристрої можуть використовуватися: теплові реле, вибрані на номінальний струм двигуна, установлені в усіх фазах і впливають на відключення пускача, розривна потужність якого повинна дорівнювати або бути більшою пускового струму двигуна; пристрої для безпосереднього контролю температури з допомогою температурних датчиків, які вмонтовані в двигун; інші еквівалентні пристрої.

Додаткові захисні засоби і заходи з вибухобезпеки та захист від небезпечного іскріння (НПАОП 40.1-1.32-01). У приміщеннях вибухонебезпечних зон і зовні можуть застосовуватися

електроустановки напругою до 1000 В з ізольованою, заземленою глухо чи заземленою через опір нейтраллю.

У мережах з глухозаземленою нейтраллю слід застосовувати систему заземлення типу TN-S або TN-C-S згідно з IEC 364-3-93. У разі застосування системи заземлення типу TN-C-S об'єднання нульового робочого N провідника і нульового захисного РЕ провідника у вибухонебезпечній зоні забороняється. У будь-якій точці переходу від TN-C (функції нульового захисного і нульового робочого провідників об'єднані в одному провіднику) до TN-S системи захисний провідник повинен бути з'єднаний із системою зрівнювання потенціалу в безпечній зоні.

У мережах з ізольованою нейтраллю або нейтраллю заземленою через опір слід застосовувати систему заземлення типу IT із забезпеченням сигналізації першого замикання на землю, а також пристроєм контролю ізоляції. Електроустановки у вибухонебезпечних зонах класів 0 та 20 необхідно відключати миттєво у разі першого замикання на землю пристроями контролю ізоляції або захисного відключення. Повинен бути виконаний автоматичний контроль справності пробивного запобіжника.

На ділянці мережі від розподільного пункту (РП), що знаходиться за межами вибухонебезпечної зони, до щита і РП, які також знаходяться за межами вибухонебезпечної зони і від яких живляться електроприймачі, розташовані у вибухонебезпечних зонах будь-якого класу, допускається застосовувати нульовий робочий провідник як захисний. З цією метою можна використовувати алюмінієву оболонку живильного кабелю за умови дотримання вимог IEC 364-4-41-92 до PEN провідників. Якщо ділянка цієї мережі частково проходить через вибухонебезпечну зону, то додатково слід виконувати наступні вимоги:

- У вибухонебезпечних зонах класів 0, 1 та 2 і в приміщеннях з вибухонебезпечними зонами класу 20 слід застосовувати кабелі і проводи з мідними жилами, у вибухонебезпечних зонах решти класів допускається застосовувати кабелі і проводи з алюмінієвими жилами за винятком випадків, коли їх застосування не допускається через несприятливі умови середовища експлуатації;

- У вибухонебезпечних зонах будь-якого класу можуть застосовуватися:

- а) дрти з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією;

б) кабелі з гумовою, полівінілхлоридною та паперовою ізоляцією в гумовій, полівінілхлоридній та металевій оболонках.



Забороняється застосування кабелів з алюмінієвою оболонкою у вибухонебезпечних зонах класів 0, 1 та 2.

Забороняється застосування дротів і кабелів з поліетиленовою ізоляцією або оболонкою у вибухонебезпечних зонах будь-якого класу.

Для електроустановок будь-якого рівня напруги, які установлені у вибухонебезпечних зонах класів 0 та 20, необхідно обмежувати значення і тривалість струму замикання на землю. Захист від замикання на землю повинен діяти миттєво. Для вибухонебезпечних зон класу 1 у зазначених умовах також вимагається миттєвий захист від замикання на землю.

У вибухонебезпечних зонах усіх класів повинно бути виконано зрівнювання потенціалів відповідно до вимог ПУЕ.

У системах TN та IT усі відкриті та сторонні струмопровідні частини мають бути з'єднані в систему зрівнювання потенціалів.

У системі IT може бути використана система місцевого зрівнювання потенціалів.

У вибухонебезпечних зонах будь-якого класу підлягають захисному заземленню (зануленню):

- а) електроустановки всіх напруг змінного і постійного струмів;
- б) електрообладнання, встановлене на занулених (заземлених) металевих конструкціях. Ця вимога не стосується електрообладнання, встановленого всередині занулених (заземлених) корпусів шаф і пунктів.

У цих електроустановках необхідно контролювати наявність струму витоку між нульовим робочим (N-провідником) та захисним заземлюючим (PE-провідником).

Як нульові захисні провідники (РЕ-провідники) повинні бути використані провідники, спеціально для цього призначені.

Допускається використання металевих і залізобетонних конструкцій будинків, конструкцій і трубопроводів виробничого призначення, сталевих труб електропроводки, металевих оболонок кабелів тощо як нульових захисних провідників (РЕ-провідників) тільки як додатковий захист.

В електроустановках напругою до 1000 В із заземленою нейтраллю занулення (захисне заземлення) електрообладнання повинно здійснюватися:

а) у силових мережах у вибухонебезпечних зонах будь-якого класу окремою жилою кабелю або проводу;

б) в освітлювальних мережах у вибухонебезпечних зонах усіх класів окремим проводом, прокладеним від світильника до групового щитка.

Занулення (захисне заземлення) іскробезпечних кіл виконувати не слід, за винятком випадків, якщо цього потребують умови роботи і це обумовлено технічною документацією на виріб.

Нульові захисні провідники (РЕ-провідники) на всіх ділянках мережі повинні бути, як правило, прокладені в спільних оболонках, трубах, коробах з фазними провідниками.

Системи безпечної наднизької напруги не приєднуються до заземлення, струмопровідних частин та захисних провідників, які віднесені до інших кіл.

З метою запобігання іскрінню електрообладнання має бути підключено через роз'єднувальний трансформатор. У разі такого підключення до трансформатора приєднується тільки одна одиниця електрообладнання.

Розрахункова перевірка повного опору петлі фаза-нуль в електроустановках напругою до 1000 В із заземленою нейтраллю повинна передбачатися для всіх електроприймачів, розміщених у вибухонебезпечних зонах класів 0, 1, 20 і 21 і вибірково (але не менше 10% загальної кількості) для електроприймачів, розміщених у вибухонебезпечних зонах класів 2 і 22, що мають найбільший опір петлі фаза-нуль.

В електроустановках напругою до 1000 В і вище з ізолюваною нейтраллю заземлювальні провідники можуть прокладатися як у спільній оболонці з фазними, так і окремо від них.

Магістралі заземлення повинні бути приєднані до заземлювачів у двох або більше місцях і по можливості з протилежних кінців приміщення.

Блискавкозахист будинків, споруд і зовнішніх установок, які мають вибухонебезпечні зони, повинен виконуватися відповідно до інструкції РД34.21.122.

При виконанні відгалужень від ПЛ у будинки, які мають вибухонебезпечні зони, слід ураховувати вимоги ПУЕ.

Захист установок від статичної електрики повинен виконуватися згідно з НПАОП 0.00-1.29-97.

У вибухонебезпечних зонах будь-якого класу для запобігання утворенню іскор, які можуть запалити вибухонебезпечну зону, необхідно уникати будь-якого контакту з оголеними частинами, що перебувають під напругою, крім іскробезпечних. Там, де ці вимоги не можуть бути виконані за рахунок конструкції, потрібно вживати інших заходів безпеки. У зазначених випадках може стати достатньою лише наявність попереджувальної таблички.

Класифікація та маркування спеціалізованого електрообладнання у вибухозахищеному виконанні за міжнародним стандартом ІЕС 60079



Даний стандарт включено до міжнародної системи сертифікації ІЕС Ex та європейської системи сертифікації на основі Директиви АТЕХ. На відміну від ПБЕ (НПАОП 40.1-1.32-91), у ньому, як і в останній редакції Директиви АТЕХ (Директива 2014/34/EU) застосована дещо інша система класифікації та маркування вибухозахищеного електрообладнання.

Так електрообладнання, що призначене для використання у потенційно вибухонебезпечних середовищах поділяють на наступні три групи: I, II та III.

Електрообладнання групи I призначене для застосування в шахтах, небезпечних за рудничним газом (метаном).

**Примітки:*

1. Види вибухозахисту, що застосовуються в електрообладнанні групи I, спільно із захистом, що забезпечується оболонкою такого електрообладнання, яке застосовується в шахтах, не допускають займання як рудничного газу (метану), так і вугільного пилу.

2. Під метаном на підземних гірничих роботах розуміють рудничний газ, у якому, крім метану, містяться газоподібні вуглеводні - гомологи метану C₂-C₅ - трохи більше 0,1 % (об'ємна частка), водень у пробах газів зі шпурів відразу після буріння - трохи більше 0,002% (об'ємна частка) загального обсягу горючих газів.

Електрообладнання, призначене для шахт, атмосфера яких може містити, крім рудничного газу, домішки інших горючих газів (тобто крім метану), має бути сконструйовано та випробувано згідно з вимогами, встановленими для групи I, а також для тієї підгрупи групи II, яка відповідає іншим горючим газам. Таке електрообладнання потім має бути відповідним чином марковано [наприклад, Ex d I Mb/Ex d IIB T3 Gb або Ex d I Mb/Ex II (NH₃) Gb].

Також вибухозахищене обладнання Групи I класифікується за двома рівнями вибухозахисту: «Ma» - дуже високий; «Mb» - високий.

Рівень вибухозахисту електрообладнання «Ma» присвоюється електрообладнанню для установки в шахтах, небезпечних за рудничним газом (метаном), з рівнем вибухозахисту «дуже високий», що характеризується надійною захищеністю та малою ймовірністю стати джерелом запалення в нормальних умовах експлуатації або рідкісні несправності при збереженні живлення електричною енергією навіть у присутності викиду газу.

**Примітка:* В електрообладнанні з рівнем вибухозахисту електрообладнання «Ma» в порівнянні з «Mb» прийнято додаткові засоби вибухозахисту, передбачені стандартами на види вибухозахисту.

Рівень вибухозахисту електрообладнання «Mb» присвоюється електрообладнанню для установки в шахтах, небезпечних за рудничним газом (метаном), з рівнем вибухозахисту «високий», що характеризується надійною захищеністю та малою ймовірністю стати джерелом запалення в нормальних умовах експлуатації або протягом часу з моменту викиду газу до моменту відключення живлення електричною енергією.

**Примітка:* В електрообладнанні з рівнем вибухозахисту електрообладнання «Mb» вибухозахист забезпечений як при нормальному режимі роботи, так і при передбачених ймовірних пошкодженнях, що визначаються умовами експлуатації, крім пошкоджень засобів вибухозахисту.

Електрообладнання групи II призначене для застосування у вибухонебезпечних газових середовищах у приміщеннях та зовнішніх установках (крім шахт, небезпечних за рудничним газом /метаном/) і класифікується за трьома підгрупами:

- підгрупа IIA - типовим газом є пропан;

- підгрупа ІВ – типовим газом є етилен;
- підгрупа ІС – типовим газом є водень.

**Примітки:*

1. Такий поділ на підгрупи заснований на зв'язку з безпечним експериментальним максимальним зазором (БЕМЗ) або кратністю мінімального струму займання (кратність МСЗ) вибухонебезпечного газового середовища, в якому електрообладнання може бути встановлене.

2. Електрообладнання, марковане як ІВ, придатне також для використання там, де застосовується електрообладнання підгрупи ІА. Подібним же чином, електрообладнання, що має маркування ІС, придатне також і для використання там, де застосовується електрообладнання підгрупи ІА або ІВ.

Також вибухозахищене обладнання Групи ІІ класифікується за трьома рівнями вибухозахисту: «Ga» – дуже високий; «Gb» – високий; «Gc» – підвищений.

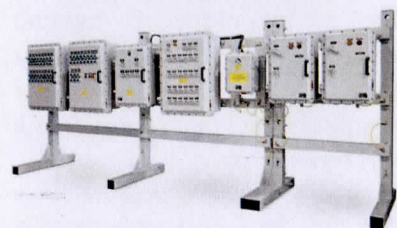
Рівень вибухозахисту електрообладнання «Ga» присвоюється електрообладнанню для вибухонебезпечних газових середовищ, з рівнем вибухозахисту «дуже високий», яке не може стати джерелом займання в нормальних умовах експлуатації, при передбачуваних або рідких несправностях.

**Примітка:* В електрообладнанні з рівнем вибухозахисту електрообладнання Ga порівняно з Gb прийняті додаткові засоби вибухозахисту, передбачені діючими стандартами на види вибухозахисту.

Рівень вибухозахисту електрообладнання «Gb» присвоюється електрообладнанню для вибухонебезпечних газових середовищ з рівнем вибухозахисту «високий», яке не може стати джерелом займання в нормальних умовах експлуатації або при передбачуваних несправностях і характеризується малою ймовірністю стати джерелом займання протягом часу від моменту виникнення вибухонебезпечного газового середовища до моменту відключення живлення електричною енергією.

**Примітка:* В електрообладнанні з рівнем вибухозахисту електрообладнання «Gb» вибухозахист забезпечений як за нормального режиму роботи, так і за ймовірних пошкоджень, що визначаються умовами експлуатації, крім пошкоджень засобів вибухозахисту.

Рівень вибухозахисту електрообладнання «Gc» присвоюється електрообладнанню для вибухонебезпечних газових середовищ з



рівнем вибухозахисту «підвищений», яке не може стати джерелом займання при нормальних умовах експлуатації та може мати додатковий захист, що забезпечує йому властивості неактивного джерела займання при можливих регулярних несправностях (наприклад, при виході з ладу ламп).

**Примітки:*

1. Електрообладнання працює у вибухонебезпечному газовому середовищі протягом часу від моменту його виникнення до моменту відключення живлення електричною енергією.

2. У електрообладнанні з рівнем вибухозахисту електрообладнання Gc вибухозахист забезпечений лише при підтверджені нормальному режимі експлуатації.

Електрообладнання групи ІІІ призначено для застосування у вибухонебезпечних пилоповітряних середовищах (крім шахт, небезпечних за рудничним газом /метаном/) і класифікується за трьома

підгрупами:

- підгрупа ІІА – в середовищі, що містить горючі леткі частки;
- підгрупа ІІВ – в середовищі, що містить неелектропровідний пил;
- підгрупа ІІС – в середовищі, що містить електропровідний пил.

**Примітки:*

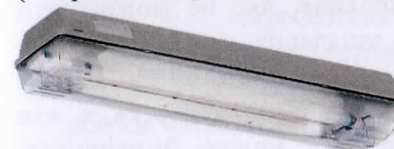
1. Електрообладнання, промарковане як ІІВ, придатне для застосування там, де потрібне електрообладнання підгрупи ІІА. Подібним же чином електрообладнання з маркуванням ІІС придатне також і для застосування там, де потрібне електрообладнання підгруп ІІА або ІІВ.

2. Електропровідний пил: горючий пил, питомий електричний опір якого дорівнює або менше $10^3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

3. Неелектропровідний пил: Горючий пил, питомий електричний опір якого більше $10^3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Також вибухозахищене обладнання Групи ІІІ класифікується за трьома рівнями вибухозахисту: «Da» – дуже високий; «Db» – високий; «Dc» – підвищений.

Рівень вибухозахисту електрообладнання «Da» присвоюється електрообладнанню для вибухонебезпечних пилоповітряних середовищ, з рівнем вибухозахисту «дуже високий», яке не може стати джерелом займання при нормальних умовах експлуатації, а також при передбачуваних або рідких несправностях.



**Примітка:* В електрообладнанні з рівнем вибухозахисту електрообладнання «Da» порівняно з «Db» прийняті додаткові засоби вибухозахисту, передбачені діючими стандартами на види вибухозахисту.

Рівень вибухозахисту електрообладнання «Db» присвоюється електрообладнанню для вибухонебезпечних пилоповітряних середовищ з рівнем вибухозахисту «високий», яке не може стати джерелом запалення при нормальних умовах експлуатації або при передбачуваних несправностях, і яке характеризується малою ймовірністю стати джерелом запалення протягом періоду часу від моменту виникнення вибухонебезпечного пилоповітряного середовища до моменту відключення живлення електричною енергією.

**Примітка:* В електрообладнанні з рівнем вибухозахисту електрообладнання «Db» вибухозахист забезпечений як при нормальному режимі роботи, так і при передбачуваних ймовірних пошкодженнях, що визначаються умовами експлуатації, крім пошкоджень засобів вибухозахисту.

Рівень вибухозахисту електрообладнання «Dc» присвоюється електрообладнанню для вибухонебезпечних пилоповітряних середовищ з рівнем вибухозахисту «підвищений», яке не може стати джерелом займання при нормальних умовах експлуатації та може мати додатковий захист, що забезпечує йому властивості неактивного джерела займання при можливих регулярних несправностях (наприклад, при виході з ладу ламп).

**Примітки:*

1. Електрообладнання працює у вибухонебезпечному пилоповітряному середовищі протягом часу від моменту його виникнення до моменту відключення живлення електричною енергією.

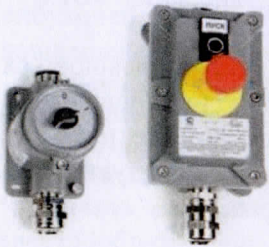
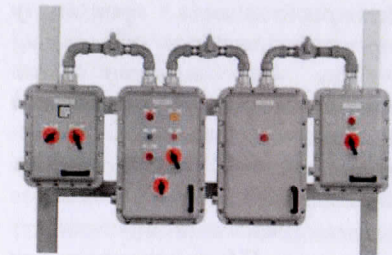
2. В електрообладнанні з рівнем вибухозахисту електрообладнання «Dc» вибухозахист забезпечений лише при підтверджені нормальному режимі експлуатації.

Види вибухозахисту електрообладнання за стандартом ІЕС 60079:

1) Для вибухонебезпечних газових середовищ:

«d» – вибухонепроникна оболонка (для рівня вибухозахисту Mb або Gb електрообладнання груп I та II);

«e» – підвищений захист виду «e» (для рівня



вибухозахисту Mb або Gb електрообладнання груп I та II);
«ia» – іскробезпека (для рівня вибухозахисту Ma або Ga електрообладнання груп I та II);
«ib» – іскробезпека (для рівня вибухозахисту Mb або Gb електрообладнання груп I та II);
«ic» – іскробезпека (для рівня вибухозахисту Gc електрообладнання групи II);
«ma» – герметизація компаундом (для рівня вибухозахисту Ma або Ga електрообладнання груп I та II);
«mb» – герметизація компаундом (для рівня вибухозахисту Mb або Gb електрообладнання груп I та II);
«mc» – герметизація компаундом (для рівня вибухозахисту Gc електрообладнання групи II);
«nA» – електрообладнання без ризику іскроутворення, захист виду «nA» (для рівня вибухозахисту Gc електрообладнання групи II);

«nC» – пристрої, що містять або не містять контакти, що іскрять і захищені оболонкою, захист виду «nC» (для рівня вибухозахисту Gc електрообладнання групи II);

«nR» – оболонка з обмеженим пропуском газів, захист виду «nR» (для рівня вибухозахисту Gc електрообладнання групи II);

«nL» – електрообладнання, що містить електричні кола з обмеженою енергією, захист виду «nL» (для рівня вибухозахисту Gc електрообладнання групи II);

«o» – масляне заповнення оболонки (для рівня вибухозахисту Gb електрообладнання групи II);

«rx» – заповнення або продування оболонки з надлишковим тиском (для рівня вибухозахисту Mb або Gb електрообладнання груп I та II);

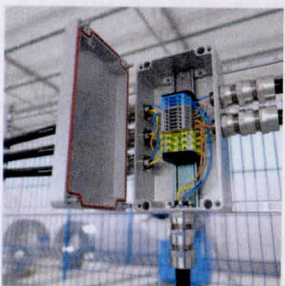
«ru» – заповнення або продування оболонки з надлишковим тиском (для рівня вибухозахисту Gb електрообладнання групи II);

«rz» – заповнення або продування оболонки під надмірним тиском (для рівня вибухозахисту Gc електрообладнання групи II);

«q» – кварцове заповнення оболонки (для рівня вибухозахисту Mb або Gb електрообладнання груп I та II);

«s» – спеціальний вид вибухозахисту (для всіх рівнів вибухозахисту електрообладнання груп I та II).

2) Для вибухонебезпечних пилоповітряних середовищ:



«ta» – захист оболонкою (для рівня вибухозахисту електрообладнання Da);
«tb» – захист оболонкою (для рівня вибухозахисту електрообладнання Db);
«tc» – захист оболонкою (для рівня вибухозахисту електрообладнання Dc);
«ia» – іскробезпека (для рівня вибухозахисту електрообладнання Da);
«ib» – іскробезпека (для рівня вибухозахисту електрообладнання Db);

«ic» – іскробезпека (для рівня вибухозахисту електрообладнання Dc);

«ma» – герметизація компаундом (для рівня вибухозахисту електрообладнання Da);

«mb» – герметизація компаундом (для рівня вибухозахисту електрообладнання Db);

«mc» – герметизація компаундом (для рівня вибухозахисту електрообладнання Dc);

«p» – заповнення або продування оболонки під надмірним тиском (для рівня вибухозахисту електрообладнання Db або Dc).

**Примітка: Електрообладнання, яке не повністю відповідає вимогам безпеки стандартів на вибухозахист конкретного виду, але при цьому має еквівалентний вид вибухозахисту, визнаний достатнім випробувальною організацією, повинно мати маркування «s».*



Вимоги до Ex-маркування вибухозахищеного електрообладнання за стандартом IEC 60079

Для електрообладнання, що призначене для використання у вибухонебезпечних газових середовищах, дане маркування повинно включати:

a) знак Ex, що вказує на те, що електрообладнання відповідає діючим стандартам з вибухозахисту конкретного виду;

b) позначення кожного застосованого виду вибухозахисту для газових середовищ;

c) позначення групи (підгрупи) електрообладнання;

d) для електроустаткування групи II – позначення температурного класу;

e) позначення відповідного рівня вибухозахисту електрообладнання Ma або Mb, Ga, Gb, Gc.

Маркування має бути розміщене у наведеній вище послідовності /a) – e)/ та розділене відповідними пробілами.

Для електрообладнання, що призначене для використання у вибухонебезпечних пилоповітряних середовищах, Ex-маркування повинно включати:

a) знак Ex, що вказує на те, що електрообладнання відповідає діючим стандартам з вибухозахисту конкретного виду;

b) позначення кожного застосованого виду вибухозахисту для пилоповітряних середовищ;

c) позначення групи (підгрупи) електрообладнання;

d) значення максимальної температури поверхні у градусах Цельсія, перед яким ставлять знак T, наприклад: T90°C;

**Примітки:*

1) Маркування максимальної температури поверхні електрообладнання, покритого шаром пилу, повинно включати не тільки значення температури в градусах Цельсія, а і товщину шару пилу, яку наводять в міліметрах в нижньому індексі, наприклад T₅₀₀ 320°C, або знак «X» для вказівки на спеціальні умови безпеки в експлуатації.

e) позначення відповідного рівня вибухозахисту електрообладнання Da, або Db, Dc;

f) ступінь захисту, що забезпечується оболонкою, наприклад IP54.

Маркування має бути розміщене в наведеній вище послідовності /a) – f)/ та розділене відповідними пробілами.

Для зв'язаного електрообладнання, всередині якого знаходяться електричні кола з обмеженою енергією (іскробезпечні або із захистом виду «nL») і яке може бути встановлене в небезпечній зоні, знаки виду вибухозахисту мають бути вкладені у квадратні дужки, наприклад: Ex d [ia] IIC T4 Gb (газове середовище); Ex t [ia Da] IIC T100°C Db (пилоповітряне середовище). Якщо зв'язане електрообладнання відноситься до іншої групи (підгрупи) електрообладнання, знак групи (підгрупи) зв'язаного електрообладнання також повинен бути вкладений у квадратні дужки, наприклад: Ex d [ia IIC Ga] IIB T4 Gb (газове середовище); Ex t [ia IIC Da] IIB T100°C Db (пилоповітряне середовище).

Для зв'язаного електрообладнання із зовнішніми ланцюгами з обмеженою енергією (іскробезпечними або із захистом виду «nL»), яке може бути встановлене в небезпечній зоні, знаки виду вибухозахисту не повинні бути поміщені у квадратні дужки, наприклад: Ex d ia IIC T4 Gb (газове середовище); Ex t ia IIC T100°C Db (пилоповітряне середовище).

Для зв'язаного електроустаткування, яке не може бути встановлене в небезпечній зоні, як знак Ex, так і знак виду вибухозахисту, повинні бути укладені у квадратні дужки, наприклад: [Ex ia Ga] ІІС (газове середовище); [Ex ia Da] ІІІС (пилоповітряне середовище).

Якщо до складу електрообладнання входить зв'язане та іскробезпечне електрообладнання, до іскробезпечної частини якого користувачу не потрібно виконувати будь-які підключення, то маркування зв'язаного електрообладнання не повинно бути наведене, якщо воно не відноситься до іншого рівня вибухозахисту, наприклад: Ex d ib ІІС T4 Gb а не Ex d ib [ib Gb] ІІС T4 Gb (газове середовище); Ex ib t ІІІС T100° 3 Db, а не Ex ib t[ib Db] ІІІС T100°С Db (пилоповітряне середовище). Якщо рівень вибухозахисту зв'язаного електрообладнання відрізняється від рівня вибухозахисту основного електрообладнання, то маркування Ex d ia [ia Ga] ІІС T4 Gb (газове середовище) та Ex ia t[ia Da] ІІІС T100°С Db (пилоповітряне середовище) є правильним.

Температурний клас зв'язаного електроустаткування, яке не може бути встановлене в небезпечній зоні, не позначається.

**Примітка: Зв'язане електрообладнання – це таке електрообладнання, яке містить не тільки електричні кола з обмеженою енергією (іскробезпечні або із захистом виду «nL»), але й іскробезпечні кола, при цьому конструкція електрообладнання виконана так, що іскробезпечні кола не можуть негативно впливати на ланцюги з обмеженою енергією. Також допускається, що зв'язане електрообладнання може мати вибухозахист іншого виду, який відповідає вимогам застосування у вибухонебезпечному середовищі.*

Комбінації видів вибухозахисту. При використанні на різних частинах електрообладнання різних видів вибухозахисту, кожна відповідна частина повинна мати позначення всіх застосованих у цій частині видів вибухозахисту.

Види вибухозахисту вказують в алфавітному порядку з пробілами. Якщо використовують зв'язане електрообладнання, знаки його виду вибухозахисту, включаючи квадратні дужки (при їх застосуванні), повинні бути розміщені за знаками виду вибухозахисту основного електрообладнання.

Використання декількох видів вибухозахисту

Електрообладнання може бути виготовлене з використанням різних видів вибухозахисту, виходячи з вимог до видів вибухозахисту при його встановленні. Наприклад, електрообладнання, конструкція якого одночасно відповідає вимогам до електрообладнання з

вибухозахистом виду «і» та до електрообладнання з вибухозахистом видів «d» та «e», може бути встановлене виходячи з потреб користувача.

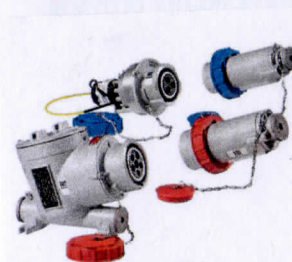
У цьому випадку:

- Ex-маркування кожного виду вибухозахисту має бути наведене в маркуванні електрообладнання окремо і перед ним має бути наведено ідентифікаційне маркування, щоб обране Ex-маркування могло бути ідентифіковане під час встановлення;

- Ex-маркування кожного виду вибухозахисту має бути наведене в сертифікаті окремо.

Додаткові вимоги до експлуатації спеціалізованого вибухозахищеного електрообладнання за стандартом ІЕС 60079

Особливо несприятливі умови експлуатації. Якщо електрообладнання повинно витримувати особливо несприятливі умови експлуатації (наприклад, недбале поводження, вплив вологості, коливання температури навколишнього середовища, вплив хімічних агентів, корозія, вібрація), ці умови повинні бути повідомлені споживачем виробнику.



При проведенні сертифікації орган сертифікації не повинен підтверджувати придатність електрообладнання для використання в несприятливих умовах, якщо вони не впливають на забезпечення вибухозахищеності електрообладнання.

Також у разі необхідності повинні бути вжиті спеціальні запобіжні заходи щодо зменшення негативної дії вібрації на затискачі, патрони запобіжників, патрони ламп, струмопровідні з'єднання, так як це може знизити безпеку електрообладнання в цілому.

Існуючі обмеження щодо відкриття оболонок електрообладнання після його відключення від джерела живлення. Оболонки не можуть бути відкриті швидше ніж час необхідний для:

а) розрядки вбудованих конденсаторів напругою 200 В і вище до значення залишкової енергії:

0,2 мДж – для електрообладнання групи I та підгрупи ІА,

0,06 мДж – для електрообладнання підгрупи ІВ,

0,02 мДж для електрообладнання підгрупи ІІС, у тому числі для електрообладнання, маркованого лише як для групи ІІ,

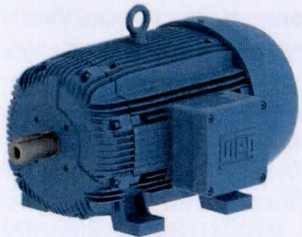
0,2 мДж – для електроустаткування групи ІІІ,

або до значення залишкової енергії, яка вдвічі перевищує наведені вище рівні, якщо конденсатори заряджені до напруги менше 200 В;

б) зниження температури поверхні вбудованих в оболонку нагрітих елементів нижче максимальної температури поверхні, маркованої на електрообладнанні (або температурного класу електрообладнання).

Оболонки електрообладнання обов'язково повинні мати напис щодо попередження про відкриття та час затримки відкриття відповідно до приведених пунктів а) та б).

Блукаючі струми. У необхідних випадках повинні бути вжиті заходи для захисту від небезпечної дії блукаючих струмів, що ініціюються магнітними полями розсіювання або дуговими чи іскровими розрядами, які можуть виникати при перериванні цих струмів, або для захисту від високої температури окремих частин електрообладнання, обумовленої протіканням блукаючих струмів.



Магнітні поля розсіювання можуть створювати значні струми в оболонці обертових електричних машин, особливо при пуску двигуна. Також важливо уникати іскріння при періодичних перериваннях таких струмів.

Як захисні заходи можуть бути застосовані:

- зрівняння потенціалів окремих частин оболонки та інших елементів конструкції ЕУ;
- забезпечення достатньої кількості кріпильних деталей.

Нульові захисні провідники повинні бути влаштовані таким чином, щоб проводити струм лише через призначені для цього з'єднувальні пристрої, а не через ізольовані з'єднання.

Для забезпечення надійного електричного кола протікання струму без іскріння за таких несприятливих умов експлуатації, як вібрація або корозія, з'єднання повинні бути надійно захищені від корозії та розшарування. Особлива увага має бути звернена на гнучкі провідники у безпосередній близькості від з'єднаних деталей.



Використання нульових захисних провідників не потрібне, якщо ізоляція не допускає можливості виникнення блукаючих струмів. Для цього ізоляція повинна витримувати прикладене ефективне значення напруги змінного струму 100 В протягом 1 хв. Водночас слід забезпечити надійне заземлення відкритих струмопровідних частин.

Особливості експлуатації електроустаткування, що генерує електромагнітні та ультразвукові випромінювання.

Джерела височастотних випромінювань: порогова потужність їх ВЧ-випромінювань (від 9 кГц до 60 ГГц) при безперервному випромінюванні та імпульсному випромінюванні з імпульсами, тривалість яких перевищує час теплового ініціювання, не повинна бути більшою за значення наведені у таблиці 3.1.2-8.

Таблиця 3.1.2-8. Порогова потужність височастотного сигналу

Група (підгрупа) електрообладнання	Порогова потужність ВЧ-випромінювань, Вт	Час теплового ініціювання (період опосередкування), мкс
I	6	200
ІА	6	100
ІВ	3,5	80
ІС	2	20
ІІ	6	200

*Примітки: Такі значення застосовуються для електрообладнання з рівнями вибухозахисту Ma, Mb, Ga, Gb, Gc, Da, Db або Dc.

Джерела лазерного випромінювання. Значення вихідних параметрів джерел лазерного випромінювання не повинні перевищувати наступних значень:

- 1) Для електрообладнання з рівнем вибухозахисту Ma або Mb:
 - 20 мВт/мм² або 150 мВт для лазерів, що працюють у режимі незгасаючих коливань;
 - 0,1 мДж/мм² для імпульсних лазерів з інтервалом між імпульсами не менше ніж 5 с.
- 2) Для електрообладнання з рівнем вибухозахисту електрообладнання Da або Db:
 - 5 мВт/мм² або 35 мВт для лазерів, що працюють у режимі незгасаючих коливань;

- $0,1 \text{ мДж/мм}^2$ для імпульсних лазерів з інтервалом між імпульсами не менше ніж 5 с.

3) Для електрообладнання з рівнем вибухозахисту Dc:

- 10 мВт/мм^2 або 35 мВт для лазерів, що працюють у режимі незгасаючих коливань;
- $0,5 \text{ мДж/мм}^2$ для імпульсних лазерів з інтервалом між імпульсами не менше ніж 5 с.

**Примітка: Джерела лазерних випромінювань з інтервалом між імпульсами $< 5 \text{ сек}$ слід вважати джерелами незгасаючих коливань.*

Джерела ультразвукових випромінювань. Значення вихідних параметрів джерел ультразвукових випромінювань (УЗВ)



електрообладнання з рівнем вибухозахисту Ma, Mb, Ga, Gb, Gc, Da, Db або Dc не повинні перевищувати наступних значень:

- $0,1 \text{ мВт/см}^2$ для джерел безперервного УЗВ;
- $0,1 \text{ Вт/см}^2$ для джерел імпульсного УЗВ.

Рекомендований за стандартом IEC 60079 взаємозв'язок рівнів

вибухозахисту електрообладнання та класами вибухонебезпечних зон (для електрообладнання загального призначення)

У більшості ситуацій з типовими потенційними наслідками вибуху рекомендований наступний взаємозв'язок рівнів вибухозахисту електрообладнання загального призначення та класами вибухонебезпечних зон (див. таблицю 3.1.2-10).

Таблиця 3.1.2-10. Рекомендований взаємозв'язок рівнів вибухозахисту електрообладнання загального призначення та класами вибухонебезпечних зон

Рівень вибухозахисту електрообладнання	Клас вибухонебезпечної зони
Ga	0
Gb	1
Gc	2
Da	20
Db	21
Dc	22

3.1.3. Релейний захист

Силове електроустаткування будь-яких електроенергетичних систем (електростанцій, підстанцій, повітряних та кабельних ліній електропередач тощо) повинні бути захищені від коротких замикань і порушень нормальних режимів їх роботи за допомогою пристроїв релейного захисту.

Релейний захист – це комплекс пристроїв, призначених для швидкого, автоматичного виявлення та відключення від електроенергетичної системи пошкоджених її елементів при аварійних ситуаціях з метою забезпечення нормальної та безпечної роботи як самої системи, так і її елементів.

Жоден елемент електроенергетичної системи (генератор, трансформатор, лінія електропередачі, збірні шини та ін.) не мають абсолютної надійності і, з більшою чи меншою ймовірністю, будь-який з цих елементів може бути пошкоджений. Як правило, переважна більшість ушкоджень супроводжується виникненням короткого замикання (КЗ).

Режим КЗ дуже небезпечний для електроенергетичної системи, так як у цьому випадку стійка робота самої системи суттєво порушується через істотне спотворення параметрів режиму її роботи. За таких умов споживачі електроенергії втрачають електроживлення, а у разі тривалого існування струмів короткого замикання має місце ще і остаточне руйнування пошкодженого елемента електроенергетичної системи, стан якого стає при цьому повністю неремонтопридатним.

При реалізації в електроенергетичних системах максимального струмового захисту, він може мати як *ненаправлену*, так і *направлену* дію.

Струмовий захист направленої дії. Струмовим захистом направленої дії називається захист з відносною вибірковістю (селективністю), який реагує на струм і одночасно на напрямок (знак) потужності короткого замикання (КЗ) у місці включення захисту. Необхідність у застосуванні такого виду релейного захисту виникає у мережах з двостороннім живленням та у кільцевих мережах з одним джерелом живлення.

Принцип дії максимального струмового захисту направленої дії є простим, надійним і дозволяє забезпечити необхідну вибірковість (селективність). Як основний вид релейного захисту він широко

застосовується в електромережах з двостороннім живленням і в кільцевих електромережах з одним джерелом живлення, що мають робочу напругу від 6 кВ до 35 кВ. Що стосується електромереж з робочою напругою 110 кВ і 220 кВ, то в них релейний струмовий захист направленої дії застосовується лише як резервний вид захисту.

Призначення та основні властивості релейного захисту
Релейний захист необхідний не тільки для виявлення пошкодженого елемента та найшвидшого його відключення від електроенергетичної системи, а й також для запобігання пошкодженню інших елементів енергосистеми у разі виникнення ненормального та небезпечного для них режиму роботи (перевантаження, неповнофазний режим тощо).

Релейний захист є однією з найважливіших складових електроенергетичних систем, яка забезпечує надійність їх роботи, оскільки саме за допомогою релейного захисту здійснюється автоматична ліквідація пошкоджень і ненормальних режимів роботи елементів електроенергетичних систем та їх захист.

У зв'язку із підвищенням потужностей електростанцій, зростанням напруги електричних мереж та їх подальшою інтеграцією в єдині електроенергетичні системи, значення релейного захисту в сучасних умовах все більше зростає.

До основних властивостей, що визначають особливості функціонування релейного захисту, можна віднести наступні.

Вибірковість (селективність) – це властивість релейного захисту, що характеризує здатність виявляти саме пошкоджений елемент електроенергетичної системи та відключати цей елемент від справної частини електроенергетичної системи, при цьому захист може мати абсолютну чи відносну селективність.

Швидкодія – це властивість релейного захисту, що характеризує швидкість виявлення та відокремлення від електроенергетичної системи пошкоджених елементів. Показником швидкодії є час спрацьовування захисту – це інтервал часу з моменту виникнення пошкодження до моменту відокремлення від мережі пошкодженого елемента.

Чутливість – це властивість, що характеризує здатність релейного захисту виявляти пошкодження в межах встановленої для неї зони дії при мінімальному режимі роботи електроенергосистеми. Показником чутливості виступає коефіцієнт чутливості, який для максимальних захистів (що реагують на зростання контрольованої величини) визначається як відношення мінімально можливого

значення сигналу, що відповідає пошкодженню яке контролюється, до встановленого захистом параметра спрацьовування.

Надійність – це властивість, що характеризує спроможність релейного захисту діяти правильно та безвідмовно при всіх режимах контрольованого об'єкта і для всіх видів пошкоджень та ненормальних режимів. Іншими словами, надійність – це властивість релейного захисту, що характеризує його здатність виконувати свої функції у будь-яких умовах експлуатації. Основні показники надійності – час безвідмовної роботи та інтенсивність відмов (кількість відмов за одиницю часу).

Принципи побудови релейного захисту. За допомогою релейного захисту (РЗ) забезпечується постійний контроль стану елементів електроенергетичної системи та проводиться їх відключення при виникненні у системі будь-яких пошкоджень: коротких замикань, пошкодження ізоляції тощо.

Підбір пристроїв РЗ не є якоюсь окремою технологічною операцією, а становить один з найважливіших етапів розробки та створення безпосередньо самої електроенергетичної системи.

Пристрої РЗ мають багатоцільове призначення, в першу чергу, це:

- захист людей від ураження електричним струмом;
- захист від пошкодження матеріалів, з яких виготовлені елементи електроенергетичної системи (наприклад, трьохфазне коротке замикання на збірних шинах середньої напруги за 1 секунду здатне розплавити до 50 кг міді; температура електричної дуги може перевищувати в центрі цієї дуги 10 000°C);
- обмеження теплового, діелектричного та механічного навантажень на ці матеріали;
- забезпечення стабільної та безперервної роботи електроенергетичної системи;
- захист електроустановок та обладнання тощо.

Для практичної реалізації цих завдань необхідно забезпечити швидкодіючу, вибіркову та надійну роботу пристроїв РЗ в електроенергетичних системах.

Слід зазначити, що пристрої РЗ мають і свої обмеження, оскільки пошкодження, як правило, виникають раніше ніж пристрої РЗ можуть на них зреагувати. Таким чином, діючи системи РЗ не можуть запобігти пошкодженням, вони можуть лише обмежити їх вплив та тривалість.

Для запобігання негативним наслідкам та розвитку нештатних (аварійних) ситуацій засоби автоматики, що використовуються в пристроях РЗ, повинні забезпечувати:

- швидке відключення пошкодженого елемента;
- припинення ненормальних (аварійних) режимів роботи (наприклад, перевантаження) елементів системи;
- швидке відновлення електроживлення споживачів, автоматично відключених від джерела живлення внаслідок пошкодження, що виникло в електроенергетичній системі;
- підтримку на заданому рівні величин напруги та частоти в електромережах споживачів;
- пуск та зупинку синхронних машин;
- відключення частини споживачів у разі виникнення дефіциту активної потужності в електроенергетичній системі, від якої живиться система електропостачання, та їх включення після ліквідації дефіциту тощо.

Сучасні інноваційні пристрої комплексного релейного захисту для електромереж середньої напруги (СН: 3... 35 кВ)



Серед виробників даної продукції провідне місце займає міжнародна електротехнічна група «Eaton», яка пропонує широкий спектр пристроїв комплексного релейного захисту для електромереж середньої напруги. Ці пристрої релейного захисту є інноваційними,

побудованими із застосуванням мікропроцесорних технологій, які дозволяють не тільки гарантовано уникнути небажаних відключень та максимально виключити можливі несправності і забезпечити високий рівень захисту електроустаткування, а й надають можливість отримувати всю необхідну системну інформацію, яка потрібна для покращення процесу керування електроенергетичною системою та підвищення надійності її роботи. Такі пристрої комплексного релейного захисту ідеально підходять для застосування в розподільчих системах середньої напруги. Вони можуть одночасно виконувати одразу декілька функцій (захисні, вимірювальні, керуючі тощо), що значно підвищує надійність роботи електроенергетичних систем та рівень промислової та екологічної безпеки.

В якості пристроїв комплексного релейного захисту електротехнічна група «Eaton» пропонує широкий спектр захисних реле: тип MR (захист) та тип MC (управління та захист), які можуть виконувати наступні основні функції захисту (див. табл. 3.1.3-1).

Таблиця 3.1.3-1. Типи захисних реле та їх функції захисту

Функція захисту	Тип захисного реле	
	MR (захист)	MC (захист та управління)
Фідерний захист направленої дії	MRA4	MCA4
Захист від перевантаження і замикання на землю (OC&EF захист)	MRI4	
Захист за напругою та частотою	MRU4	
Захист електродвигунів	MRM4	
Захист електродвигунів з вимірюванням напруги	MRMV4	
Захист генераторів з вимірюванням напруги		MCGV4
Диференційний захист генераторів		MCDGV4
Диференційний захист трансформаторів	MRDT4	
Диференційний захист трансформаторів з вимірюванням напруги		MCDTV4
Диференційний захист потужності з вимірюванням напруги		MCDLV4

Повний спектр захисних реле «Eaton» та їх призначення приведено в таблиці 3.1.3-2.

Таблиця 3.1.3-2. Захисні реле та їх призначення

Захисні реле	Призначення
MRA4 	Фідерний захист направленої дії Захист входних та вихідних фідерів в електроенергетичних системах середньої напруги. Може бути використано для захисту електромереж та генераторів.
MCA4 	Фідерний захист направленої дії Захист та управління фідерами середньої напруги. Забезпечує можливість контролю та керування вимикачем як за допомогою дистанційного управління, так і по місцю.
MRI4 	Фідерний захист ненаправленої дії Захист входних та вихідних фідерів. Захист від струмів перевантаження і замикання на землю. Реле може бути використано в якості резервного захисту для систем диференційного захисту.
MRU4 	Захист за напругою та частотою Захист електрообладнання від небезпечних коливань напруги та частоти. Також може використовуватися для захисту шин, генераторів та фідерів.

Продовження таблиці 3.1.3-2

MRM4 	Захист електродвигунів Виконує усі необхідні захисні та контрольні функції щодо правильного та безпечного запуску електродвигунів.
MRMV4 	Захист електродвигунів із вимірюванням напруги У порівнянні з MRM4, MRMV4 має додаткову функцію вимірювання напруги. Забезпечує контроль потужності, напруги та частоти.
MCGV4 	Захист генератора із вимірюванням напруги Захищає електричні генератори в широкому діапазоні частот. Виконує одразу декілька функцій захисту, контролює потенціалозалежні та керовані напругою перевантаження за струмом.
MRDT4 	Диференційний захист ненаправленої дії трансформатора Реле диференційного захисту двох обмоткового трансформатора. Може бути використане для диференційного захисту генератора. Також може виконувати функції резервного захисту.

Приведені типи захисних реле «Eaton» мають:

- міжнародну сертифікацію (KEMA, UL, CSA та ін.);
- інтуїтивне керування з текстовими підказками;
- зручний інтерфейс управління та можливість підключення до SCADA;
- широкий діапазон живлення;
- струмові входи на 1А та 5А.

Також вони надають можливість:

- перевірки правильності вводу даних, що запобігає помилковому їх вводу;
- встановлення програмними засобами номінальних напруг та порогів спрацювання цифрових входів.

Програмне забезпечення «Smart View», що використовується у цих захисних реле, забезпечує:

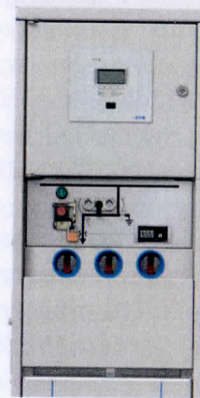
- можливість керування через меню налаштування робочих параметрів, включаючи перевірку правильності вводу даних;
- вибір конфігурації в режимі Offline для усіх типів реле;
- зчитування та оцінку статистичних даних та виміряних значень;
- функцію вводу в експлуатацію;
- індикацію стану пристрою;
- аналіз похибок, несправностей та подій;
- автоматичне оновлення програмного забезпечення при підключенні нових, більш сучасних пристроїв.

Застосовані в реле «Eaton» інтерфейси дозволяють:

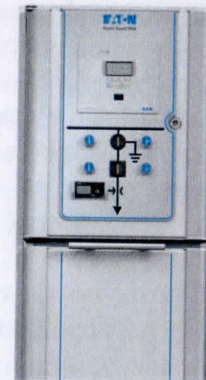
- здійснювати візуалізацію даних, за рахунок чого записи аварій становляться прозорими та чіткими для сприйняття;
- використовувати графічне представлення аварійних записів подій для їх подальшого аналізу;
- отримувати цифрові та аналогові записи (інтегрована енергонезалежна пам'ять реєстратора аварійних подій записує до 120 секунд із 32 вибірками за період);
- надавати миттєву оцінку окремих вимірювань;
- забезпечувати імпорт та експорт записів аварійних подій в ASCII та COMTRADE форматах.

Сучасні реле Eaton – це вже четверте покоління високопродуктивних захисних реле, що використовують двох ядерну процесорну технологію.

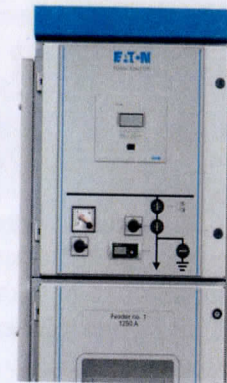
Розглянуті типи захисних реле ідеально підходять для застосування в розподільних пристроях середньої напруги: Xiria E, Power Xpert® FMX, Power Xpert® UX (див. рис. 3.1.3-1) та ін.



Xiria E



Power Xpert® FMX



Power Xpert® UX

Рис. 3.1.3-1

Розроблені електротехнічною групою «Eaton» пристрої та компоненти для розподільних систем середньої напруги (розподільних, промислових та трансформаторних підстанцій тощо) мають високу якість виконання повітряної та твердотільної ізоляції і обладнані вакуумними комутаційними пристроями (автоматичними вимикачами, преривачами тощо), які виготовлені із застосуванням інноваційних технологій власної розробки та розробок таких відомих виробників, як Westinghouse, Cutler-Hammer, MEM та Holec. Наприклад, для підвищення діелектричної міцності вакуумних комутуючих пристроїв пропонується одночасно застосовувати як вакуумну, так і твердотільну ізоляцію (вакуумні комутуючі пристрої виготовляються в оболонці з епоксидної смоли). На даний час з використанням даної технології вже розроблені та успішно використовуються безпечні для навколишнього середовища вакуумні камери, здатні комутувати струм як при номінальних навантаженнях, так і за високих струмів короткого замикання.

Слід зазначити, що технології вакуумної та твердотільної ізоляції, які застосовуються «Eaton» при виробництві пристроїв та компонентів розподільних систем середньої напруги за стандартами ІЕС, у порівнянні з технологіями, які застосовуються іншими

виробниками аналогічної продукції, є більш екологічно безпечними, оскільки виключають необхідність використання в якості ізолюючого середовища SF6 – гексафториду сірки.

Коди ANSI для функцій пристроїв релейного захисту
Кодування функцій пристроїв релейного захисту здійснюється у відповідності до стандарту ANSI / IEEE Standard C37.2 «Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations».

За даним стандартом при розробленні, проектуванні та експлуатації систем релейного захисту необхідно застосовувати відповідні коди (індекси), які позначають, які саме функції підтримує той чи інший захисний пристрій, наприклад, реле або автоматичний вимикач.

У таблиці 3.1.3-3 приведені коди ANSI для деяких основних функцій захисту, які можуть бути реалізовані за допомогою існуючих типів реле «EATON».

Таблиця 3.1.3-3. Коди ANSI для деяких основних функцій захисту

Коди ANSI	Функції захисту
50/51/67	Максимальний струмовий захист (направленої і ненаправленої дії)
50N	Максимальний струмовий захист від замикання на землю (миттєвої дії)
51N	Максимальний струмовий захист від замикання на землю (з витримкою часу)
51V	Максимальний струмовий захист із корегуванням за напругою (з витримкою часу)
37	Мінімальний струмовий захист у фазах
49	Захист від перевантаження (захист від теплового пошкодження, спричиненого перевантаженням)
27/59	Захист за напругою
81	Захист за частотою
32	Захист за потужністю (направленої дії)
87N (64REF)	Диференційний захист від замикання на землю (високоімпедансний)
50 BF	Захист від відмови автоматичного вимикача
79	Автоматичне повторне включення

3.1.4. Автоматичні вимикачі з функцією діагностики

Застосування автоматичних вимикачів з функцією діагностики в щитовому обладнанні розподільних систем є найбільш оптимальним рішенням з точки зору забезпечення максимальної безпеки експлуатації таких систем.

Серед існуючих типів подібних пристроїв особливе місце займають автоматичні вимикачі висувного типу серії NRX (IZMX16 / IZMX40) з номінальними струмами від 630 А до 4000 А та з вимикаючою здатністю від 42 кА до 105 кА ($U_e=440/690$ В), які були розроблені електротехнічною групою «Eaton» для електромереж низької напруги (НН) із застосуванням новітніх інноваційних технологій.

Це універсальні, надійні, компактні та ефективні автоматичні вимикачі з функцією діагностики, які мають цілу низку переваг у порівнянні з іншими існуючими на даний час зразками подібних пристроїв.

Основною перевагою автоматичних вимикачів «Eaton» IZMX16 та IZMX40 є те, що вони мають підвищену експлуатаційну безпеку та гнучкість, які засновані на можливості ефективного використання їх діагностичних функцій, а також те, що вони мають максимально розширені комунікаційні властивості (див. рис. 3.1.4-1).

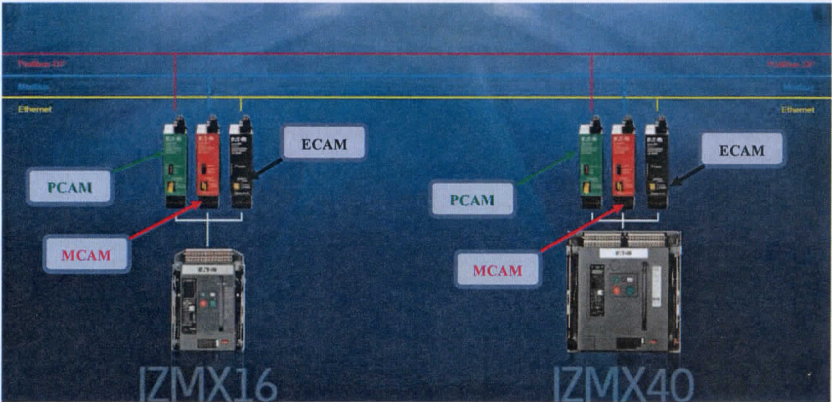


Рис. 3.1.4-1

Розширення комунікаційних можливостей автоматичних вимикачів серії NRX забезпечено за рахунок використання

комунікаційних модулів PCAM, MCAM та ECAM (польові шини: Profibus-DP / ModBus / Ethernet), інтерфейс яких дозволяє не тільки передавати необхідну інформацію, а й отримувати відповідні команди для дистанційного управління та налаштування параметрів вимикачів.

У разі необхідності, комунікаційні модулі PCAM, MCAM та ECAM завжди можна підключити до автоматичного вимикача, встановивши їх на DIN-рейку касети роз'ємів ланцюгів управління (див. рис. 3.1.4-2 – автоматичний вимикач серії NRX IZMX40 з модулем PCAM).

Також автоматичні вимикачі серії NRX допускають використання ще одного, четвертого типу комунікаційного модуля – ICAM (польова шина INCOM).

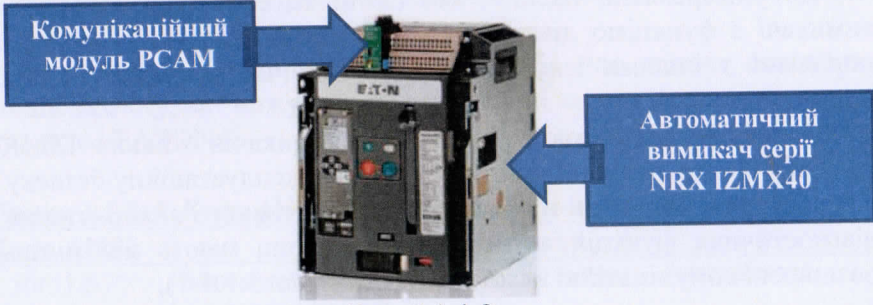


Рис. 3.1.4-2

Завдяки передбаченим функціям діагностики та своїм комунікаційним властивостям автоматичні вимикачі серії NRX надають широкий спектр нових можливостей як у сфері контролю та управління процесом розподілу електроенергії в енергетичних системах, так і в інших сферах їх застосування. Наприклад, це можливість зберігання і передачі усієї необхідної інформації для визначення технічного стану автоматичних вимикачів та самої електроенергетичної системи, а також можливість управління налаштуваннями їх технічних параметрів в дистанційному режимі тощо. Все це дає змогу більш ефективно визначати реальний стан електроенергетичної системи, а також значно зменшити час відгуку (реакції) на аварійні ситуації (струмове перевантаження, перекіс фаз, перенапруга). Завдяки швидкому втручання в процес аварійної роботи електроенергетичної системи можна запобігти її простоям, більш раціонально спланувати необхідні профілактичні роботи з

технічного обслуговування і таким чином підвищити надійність та безпеку її роботи.

На рис. 3.1.4-3 та рис. 3.1.4-4 відповідно представлені основні елементи конструкцій автоматичних вимикачів IZMX16 і IZMX40, включаючи вбудовані та зовнішні їх компоненти.



Рис. 3.1.4-3

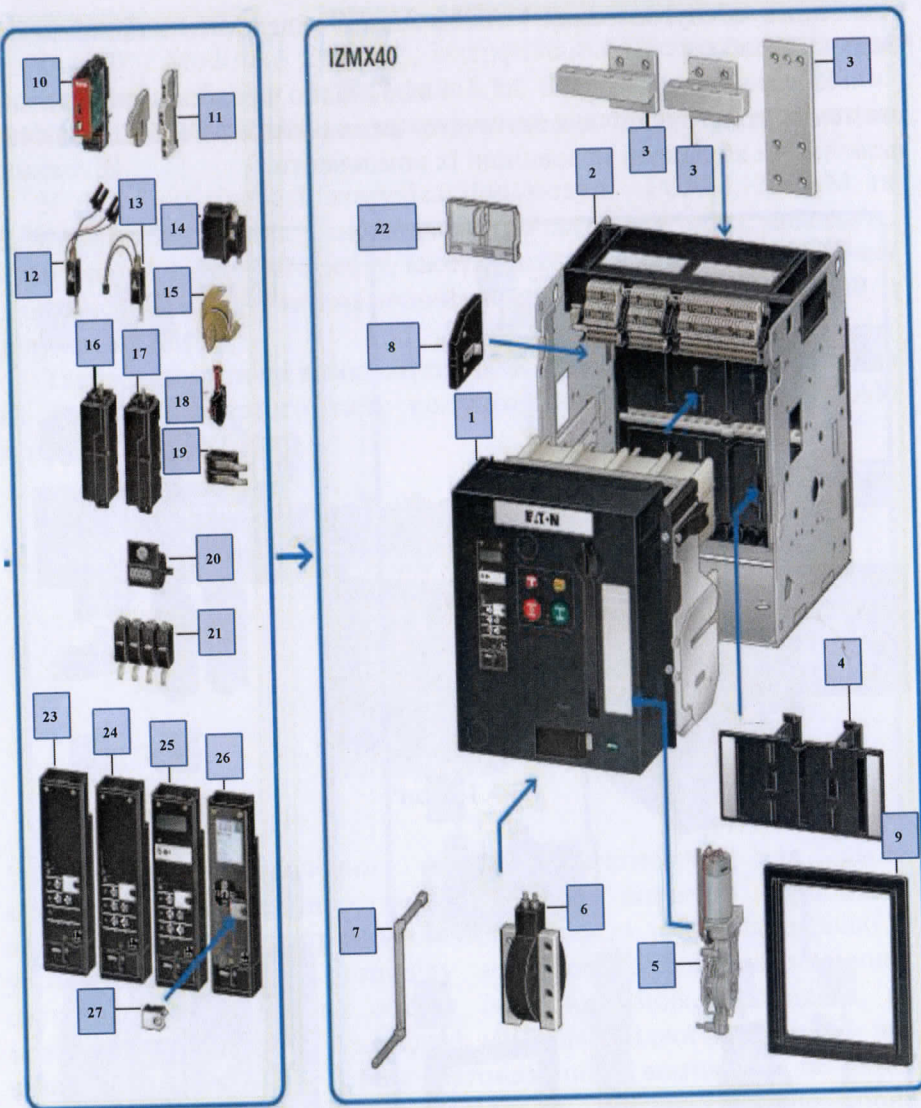


Рис. 3.1.4-4

Перелік позицій, позначених на рис. 3.1.4-3 і рис. 3.1.4-4, та короткий їх опис наведені у таблиці 3.1.4-1.

Таблиця 3.1.4-1

№ позиції	Короткий опис
Поз. 1	Автоматичний вимикач IZMX IZMX16: 630 - 1600 A / IZMX40: 2000 - 4000 A
Поз. 2	Касети для встановлення висувних пристроїв Касети 3- та 4-полюсні (з або без клем для зовнішніх електричних кіл керування)
Поз. 3	Набірні колодки головних виводів Універсальні виводи: 3- або 4-полюсні (горизонтальні/вертикальні)
Поз. 4	Шторки Шторки для 3- або 4-полюсного виконання
Поз. 5	Електродвигун заводу пружини Автоматичний завод пружини для віддаленого або місцевого управління
Поз. 6	Датчик струму провідника нейтралі Вимірювання струму в N-провіднику
Поз. 7	Рукоятка для вимикача Зручна складна рукоятка для під'єднання або видалення вимикача із касети. Рукоятка зберігається всередині вимикача
Поз. 8	Контакти для визначення положення вимикача Контакти положення сигналізують про положення вимикача у касеті. Позиції: "Вставлений", "Тест" і "Висунутий"
Поз. 9	Захисна рамка Закриває отвір між вимикачем та корпусом щита керування розподільної системи. Забезпечує клас захисту від пилу та вологи IP41/IP55
Поз. 10	Комунікаційні модулі Profibus DP, Modbus, Ethernet, INCOM
Поз. 11	Клеми електричних кіл управління На вибір: 8, 20 або 30 клем
Поз. 12	Контакт готовності до увімкнення Для використання у зовнішніх електричних колах управління
Поз. 13	Контакт готовності до увімкнення Для використання із вмикаючим розчіплювачем
Поз. 14	Вмикаючий розчіплювач Вмикає автоматичний вимикач електричним сигналом
Поз. 15	Блокування вимикача ключем Блокує вимикач замком
Поз. 16	Незалежний розчіплювач Вмикає вимикач електричним сигналом
Поз. 17	Розчіплювач мінімальної напруги Вмикає вимикач при пропаданні напруги в електричному колі управління
Поз. 18	Прапорець індикатора спрацювання Червоний індикатор сигналізує про спрацювання вимикача

Продовження таблиці 3.1.4-1	
Поз. 19	Контакт аварійного спрацьовування Контакт спрацьовування по перевантаженню (OTS) сигналізує про спрацювання вимикача
Поз. 20	Лічильник циклів комутації Підраховує кількість здійснених операцій
Поз. 21	Допоміжні контакти Сигналізують про стан вимикача («УВИМК»-«ВИМК»)
Поз. 22	Блокуючі пристрої (Пластикові або металеві)
Поз. 23	Розчіплювач Digitrip 520; Тип А
Поз. 24	Розчіплювач Digitrip 520LSI; Тип V
Поз. 25	Розчіплювач Digitrip 520M; Тип U
Поз. 26	Розчіплювач Digitrip 1150i; Тип P
Поз. 27	Модуль номінального струму Зменшує номінальний струм вимикача

Автоматичний вимикач IZMX16 серії NRX з робочим струмом до 1600 А за своїми габаритами є найменшим повітряним автоматичним вимикачем (АСВ) такого типу у світі. Його об'єм всього 24 дм³, а площа передньої панелі всього 0,092 м² (трохи більше за розмір, який має аркуш паперу А4 за стандартом DIN!). І це без будь-яких втрат з погляду на його експлуатаційні характеристики.

Інноваційні рішення, що застосовані в конструкції даного автоматичного вимикача, дозволяють встановити одночасно два вимикача у висувному виконанні у секцію щита шириною 600 мм. Ця обставина забезпечує можливість більш ефективного компонування секцій на щитах управління, що, в свою чергу, дає можливість заощадити робочий простір (див. рис. 3.1.4-5).

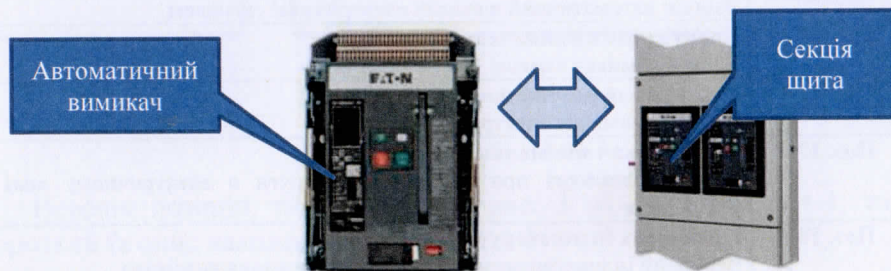


Рис. 3.1.4-5

Крім того, у разі, якщо необхідно забезпечити режим дистанційного перемикачання, у цей же самий габарит може поміститися також і двигун для попереднього заводу пружинного механізму та магнітні котушки для виконання дистанційних команд увімкнення/вимкнення.

Модульна структура даного автоматичного вимикача, який розрахований на роботу з номінальними струмами до 1600 А, дозволяє оперативно і точно відрегулювати його параметри в широких межах. Так, наприклад, для робочого процесу всього на 100 А необхідно просто замінити модуль номінального струму.

Що стосується IZMX40 серії NRX, то це автоматичний вимикач з робочим струмом до 4000 А в габариті вимикача на 3200 А, який на відмінну від інших не потребує встановлення жодних «додаткових» мідних шин у зоні підключення.

Проведенні випробування щодо його інтегрування в системи розподільних пристроїв компанії Eaton, таких як Modan, xEnergy, PowerXpert, Capitol 20 та Capitol 40, підтвердили його надійність та відмінні технічні параметри і оптимальну сумісність завдяки гнучкій системі підключення.

Модульна структура, інтегровані рішення, а також повний асортимент аксесуарів та додаткових функцій дозволяють легко адаптувати автоматичний вимикач до будь-якого необхідного застосування. За бажання він може бути адаптований прямо на місці установки, без будь-яких витрат на додаткові роботи з встановлення вимикача.

Слід зазначити, що для автоматичних вимикачів серії NRX забезпечення їх необхідних захисних параметрів визначається, в першу чергу, вибором відповідного електронного розчіплювача (поз. 23-26 на рис. 3.1.4-3 та рис. 3.1.4-4) та оптимальним його налаштуванням для конкретного застосування чи обладнання, яке необхідно захистити.

З метою розширення функціональних можливостей автоматичних вимикачів серії NRX (наприклад, для сигналізації, автоматизації та комунікації) виробником пропонується широкий спектр відповідно орієнтованих аксесуарів.

Необхідно також зазначити, що вимикачі серії NRX можуть використовуватись для різних цілей. Основні сфери застосування, це:

- захист систем;
- захист трансформаторів;

- захист генераторів;
- захист двигунів.

Додаткові індивідуальні рішення для вимикачів серії NRX

Додаткові індивідуальні рішення для автоматичних вимикачів серії NRX (IZMX16 та IZMX40) забезпечують як більш високий рівень захисту розподільних систем та обладнання, так і більш високий рівень безпеки для обслуговуючого персоналу у разі аварійних режимів їх роботи або збоїв. Крім того, це знижує ризик можливого простою або небажаної перерви у їх роботі.

Ці рішення включають:

- ARMSTM (Arcflash Reduction Maintenance System) – система для зменшення спалаху електричної дуги;
- ARCON® – технологія захисту від спалахування електричної дуги;
- ZSI – зона селективності;
- Дистанційне управління;
- Професійний захист з Digitrip 1150i/1150.



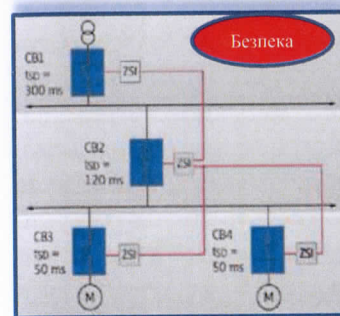
ARMSTM (Arcflash Reduction Maintenance System). Ця система забезпечує більш високий рівень безпеки для обслуговуючого персоналу за рахунок зменшення часу спалаху електричної дуги. Завдяки функціонуванню цієї системи струмове перевантаження або небезпечні спалахи електричної дуги призводять до прискореного розмикання контактів і, таким чином, зменшують енергію, що вивільняється (супутні негативні фактори електричної дуги: випромінювання, тиск, температура). Прискорене вимкнення при короткому замиканні відбувається навіть швидше, ніж вимкнення розчіплювачем без часової затримки. Цю функцію можна активувати безпосередньо на вимикачах серії NRX за допомогою зовнішнього перемикача автоматично або при дистанційному налаштуванні за допомогою відповідної комунікаційної шини.



ARCON® – технологія захисту від спалахування електричної дуги.

Автоматичні вимикачі серії NRX (IZMX16 та IZMX40) у поєднанні з технологією ARCON® допомагають уникнути впливу на обладнання та людей негативної дії та

наслідків електричної дуги, оскільки при використанні даної технології можливо загасити електричну дугу протягом 2 мс. Технологія ARCON® також захищає від спалахів електричної дуги з високим імпедансом, яка може не викликати спрацювання захисних пристроїв.



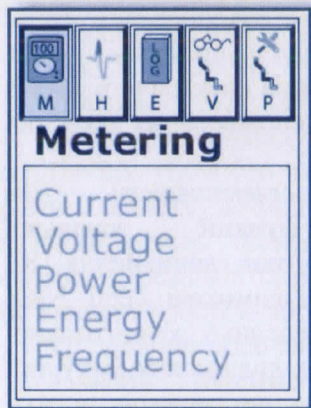
безпосередньо перед критичною точкою. Перевагою функції зональної селективності в порівнянні зі звичайною часовою селективністю є значне скорочення часу вимкнення та зменшення кількості енергії, яка виділяється у разі короткого замикання. Для додаткової безпеки обслуговуючого персоналу рекомендується комбінація з ARMS® для ще більшого зменшення виділеної при короткому замиканні енергії.



Дистанційне управління. Для дистанційного управління вимикачами серії NRX, в кожному з них передбачена можливість використання двох електромагнітів (розчіплювач увімкнення та вимкнення). Катушки електромагнітів активують механізми кнопок увімкнення та вимкнення. Після виконання двох дій по перемиканню, пружинний механізм

необхідно завести вручну. Процес заводу також може бути автоматизований за допомогою додаткового електродвигуна для заводу пружини. Завдяки потужній пружині, автоматичний вимикач виконає команду на перемикання менш ніж за 35 мс.

*Примітка: Якщо друга комутаційна дія була «УВІМК», буде забезпечена третя дія для ручного або аварійного вимкнення через енергію пружини. Команди «ВИМК» завжди будуть пріоритетними. Подання постійної команди на незалежний розчіплювач дозволяє користувачеві заблокувати автоматичний вимикач у положенні «ВИМК».



Професійний захист з Digitrip 1150i/1150

Завдяки застосуванню у розчіплювачах Digitrip 1150i/1150 сучасної технології розчеплення типу P, на їх інтегрованому кольоровому дисплеї з високою роздільною здатністю можна отримувати всю необхідну інформацію про такі важливі функції, як параметризація, захист, вимірювання, аналіз мережі, діагностика та пам'ять подій за відповідний період і передавати цю інформацію за допомогою

комунікаційного модуля в режимі on-line або електронною поштою в будь-яке віддалене місце у світі (див. рис. 3.1.4-6, на якому представлені автоматичні вимикачі серії NRX із розчіплювачами Digitrip 1150i/1150).

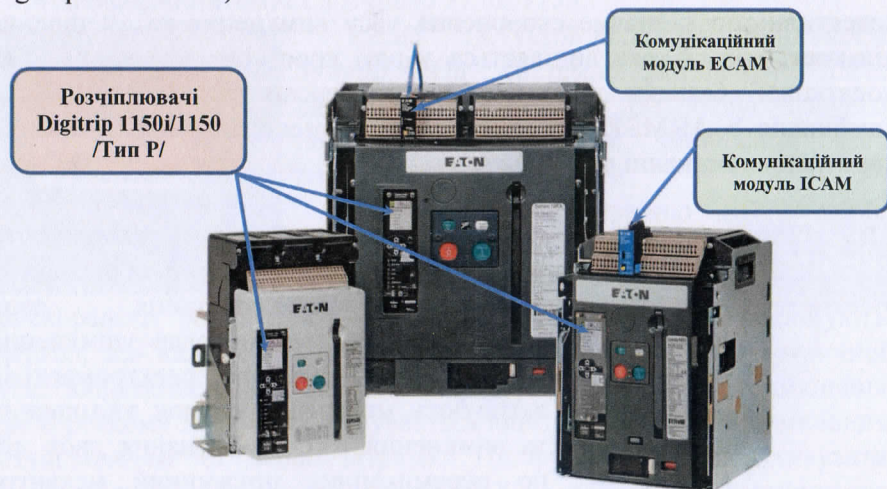


Рис. 3.1.4-6

Обробка інформації, вибір функцій, налаштування необхідних параметрів автоматичних вимикачів здійснюється на інтуїтивному рівні за допомогою клавіш, які дозволяють прокручувати іконки головного меню на дисплеї розчіплювачів Digitrip 1150i/1150 та обирати необхідні опції підменю для завдання/налаштування необхідних функцій та параметрів, доступу до результатів

вимірювань і т.ін. (див. рис. 3.1.4-7). Також передбачена можливість виконання усіх цих операцій у режимі on-line.

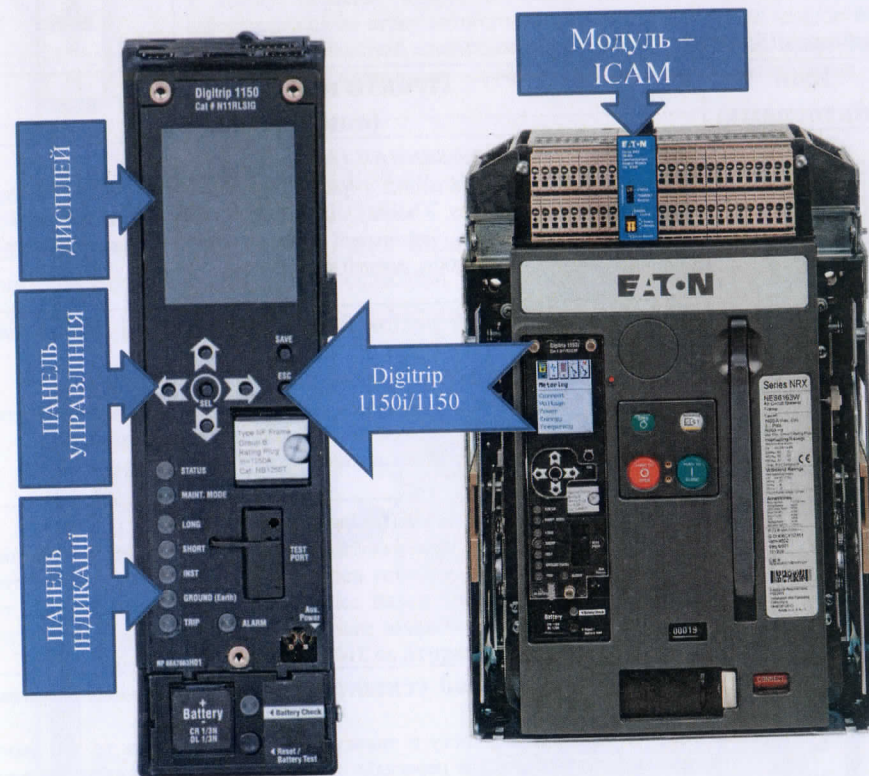
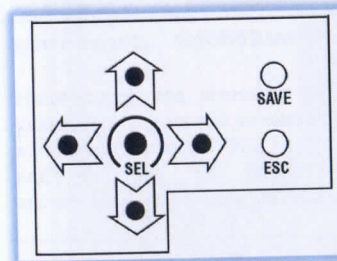


Рис. 3.1.4-7



У головному меню (Main Menu), яке висвічується на дисплеях розчіплювачів Digitrip 1150i/1150 існує сім пунктів підменю (див. табл. 3.1.4-2). Кожен з них можна вибрати, виділивши за допомогою кнопок зі стрілками на панелі управління (вгору, вниз, вліво, вправо) відповідну піктограму та натиснувши кнопку «SEL».

Кнопка «ESC» – використовується для виходу або повернення до попереднього рівня відображення меню. Кнопка збереження «SAVE» – використовується для збереження обраних налаштувань (вона герметично закрита прозорою кришкою, щоб запобігти

несанкціонованим змінам щодо вибраних значень робочих параметрів та функцій).

Таблиця 3.1.4-2

Icon (піктограма)	Пункти підменю (опис)
	Підменю «Вимірювання» (Metering Submenu Icon) Піктограма ручного лічильника з числовими даними на дисплеї вказує на підменю вимірювання. У цьому підменю доступні всі числові дані та графічне відображення інформації щодо вимірювання параметрів струму, напруги, потужності, енергії та частоти.
	Підменю «Журнал реєстрації подій» (Events Log Submenu Icon) У цьому підменю можна переглянути всі дані про події, що сталися: аварія, збій, вимикання, спрацювання захисту, тестування, завантаження даних, підключення або відключення живлення тощо, що дозволяє значно спростити аналіз роботи автоматичних вимикачів при їх експлуатації.
	Підменю «Гармоніки» (Harmonics Submenu Icon) У цьому підменю можна переглянути усі дані щодо параметрів гармонік для струмів I_A , I_B , I_C , I_N , лінійних напруг V_{AB} , V_{BC} , V_{CA} , фазних напруг V_{AN} , V_{BN} , V_{CN} і зробити новий запис інформації про гармоніки та значення форми сигналу. Окремі значення гармонік можна переглянути для кожного струму та напруги до 31-ї гармоніки.
	Підменю «Перегляд установок» (Viewing Setpoints Submenu Icon) Піктограма кривої захисту зі значком окулярів вказує на те, що дане підменю слугує лише для перегляду раніше запрограмованих установок щодо діючих параметрів систем захисту за напругою, частотою та потужністю, систем аварійної сигналізації, часу, дати та мови, а також параметрів налаштування системи зв'язку для всіх доступних типів комунікаційних модулів.
	Підменю «Програмування установок» (Programming Setpoints Submenu Icon) Піктограма кривої захисту зі значком інструментів для регулювання вказує на підменю, яке може бути використане не тільки для перегляду заданих значень параметрів та установок, а і для їх налаштування та програмування. Якщо кнопка «ЗБЕРЕГТИ» не доступна для користувача, задані ним значення не будуть збережені після налаштування.
	Підменю «Тест» (Test Submenu Icon) Піктограма тестового контрольного списку вказує на підменю, яке призначено для тестування працездатності автоматичного вимикача і розчіплювача та пов'язаних з ними функцій безпеки. Наприклад з цього підменю можна розпочати перевірку фаз або заземлення. Також можливо обирати різні значення рівнів струму для тестування.

Продовження таблиці 3.1.4-1	
	Підменю «Діагностика» Health Submenu Icon У цьому підменю можна отримати всю необхідну діагностичну інформацію щодо стану автоматичного вимикача, а також історію його експлуатації в системі електроживлення, яку він захищає. Ці дані дуже корисні для планування графіків технічного обслуговування та перевірок.

«Main Menu» надає широкий спектр можливостей щодо вибору та забезпечення необхідних експлуатаційних параметрів автоматичних вимикачів, що впливають на безпеку і надійність роботи розподільних енергосистем та діючих електроустановок (див. алгоритм вибору опцій «Main Menu» на рис. 3.1.4-8).

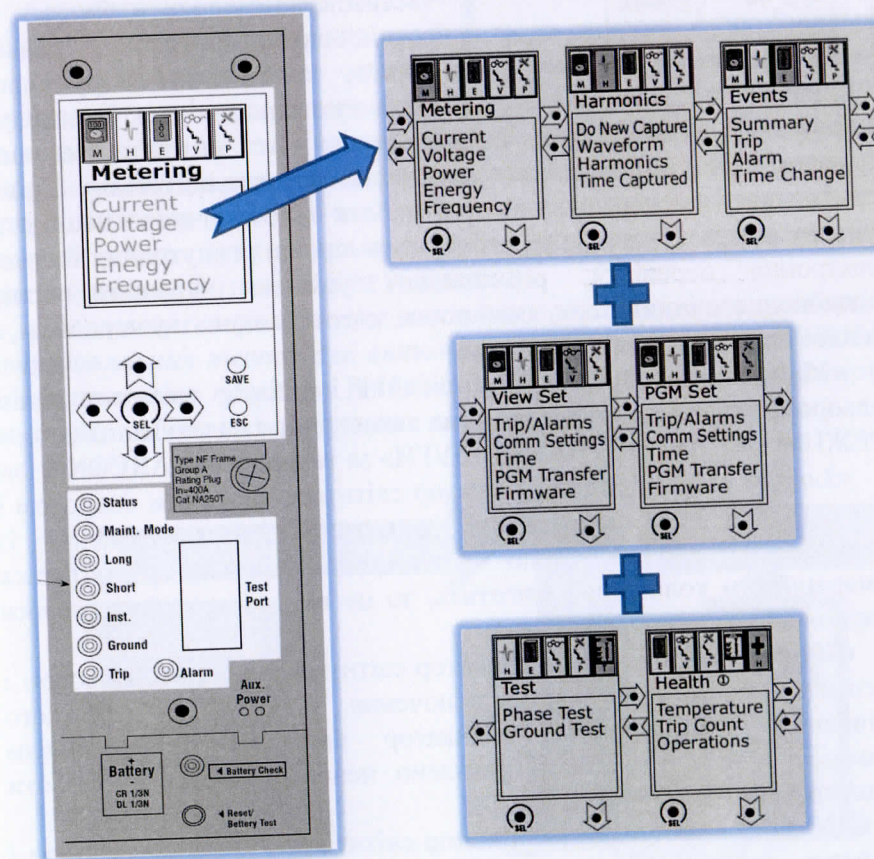
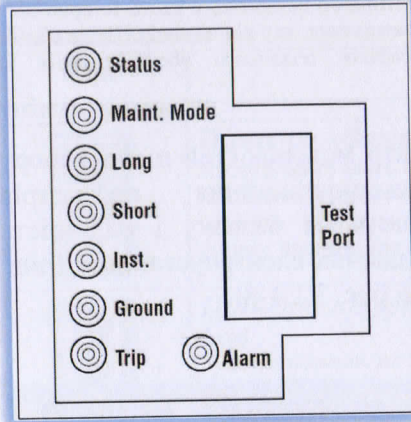


Рис. 3.1.4-8

Індикація режимів роботи та технічного стану автоматичного вимикача і розчіплювача



Здійснюється на окремій панелі індикації розчіплювача за допомогою наступних світлодіодних індикаторів (див. рис. 3.1.4-7).

«**Status**»: світлодіодний індикатор, який, коли розчіплювач справний і автоматичний вимикач працює у нормальному режимі роботи, миготить зеленим кольором з частотою 1 Гц. Якщо в розчіплювачі спрацював режим захисту від струмового перевантаження з тривалою

затримкою, світлодіодний індикатор починає миготіти зеленим кольором вдвічі швидше, ніж при індикації нормального стану. У разі коли виявлено ненормальний стан роботи автоматичного вимикача, приводу відключення або у разі, якщо не пройшла внутрішня тестова електронна перевірка, розчіплювач увімкне червоний колір світлодіодного індикатора, який почне миготіти спочатку червоним, а з часом і помаранчевим кольором.

«**Maintenance Mode**»: світлодіодний індикатор світиться синім кольором, якщо активована система захисту від спалахування дуги — «РЕЖИМ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДУГИ» за технологією ARCON®.

«**Long**»: світлодіодний індикатор світиться червоним кольором і миготить під час спрацювання захисту від перевантаження із тривалою затримкою. Якщо світлодіодний індикатор світиться помаранчевим кольором і миготить, то це вказує на те, що сталося відключення через перегрівання.

«**Short**»: світлодіодний індикатор світиться червоним кольором і миготить, якщо відбулося відключення захисту від короткого замикання. Світлодіодний індикатор світиться помаранчевим кольором і миготить, якщо виявлено ненормальний стан роботи автоматичного вимикача.

«**INST**»: світлодіодний індикатор світиться червоним кольором і миготить, якщо відбулося аварійне вимкнення, також вимкнення в режимі обслуговування спалаху дуги або відключення розчіплювача

струму. Світлодіодний індикатор світиться помаранчевим кольором і миготить, якщо виявлено електричні з'єднання з незадовільними характеристиками.

«**Ground (Earth) / Ground Alarm (Only)**» (optional): світлодіодний індикатор світиться червоним кольором і миготить, якщо сталося відключення заземлення від розчіплювача або відключення сигналізації щодо стану заземлення.

«**Trip**»: світлодіодний індикатор світиться червоним кольором щоразу, коли є умова для спрацювання вимикача від розчіплювача.

«**Alarm**»: світлодіодний індикатор світиться помаранчевим кольором щоразу, коли увімкнено будь-який із сигналів тривоги та наявні умови для спрацювання аварійної сигналізації.

Автоматичні вимикачі серії NRX із розчіплювачами Digitrip 1150i/1150 мають підвищену надійність та широкі функціональні можливості. Також вони мають зручну та ефективну систему візуалізації технічного стану і параметрів вимикача та сигналізації (величина струму, стан заземлення та перемикачання, можливість попередження про перевантаження, аварійний режим тощо) і можуть бути адаптовані до будь-яких яких застосувань, оскільки мають високий рівень функціональності щодо можливості автоматизації, програмування, сигналізації та комунікації.

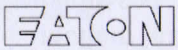
Додаткове портативне тестове обладнання з набором функціональних тестів для автоматичних вимикачів серії NRX із розчіплювачами Digitrip 1150i/1150. Універсальний портативний тестовий набір з живленням від батареї представлений на рис. 3.1.4-9).



Рис. 3.1.4-9

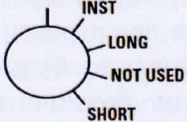
Даний тестовий набір забезпечує можливість швидкого та якісного виконання всіх необхідних функціональних тестів щодо визначення технічного стану вимикача, його елементів та систем захисту і заземлення.

Підключення тестера до розчіплювача вимикача здійснюється через відповідний порт – «TEST PORT», а необхідний варіант тесту, який треба виконати, обирають за допомогою перемикача з написом «Select Test», що розташований у верхньому правому куті лицевої панелі тестеру (див. рис. 3.1.4-10), на якій для зручності роботи користувача приведена коротка інструкція стосовно виконання кожного з можливих для цього приладу видів тестування.



**Functional Test Kit
For Series NRX with
Digitrip 520, 520M, 1150, 1150i**

Select Test
POWER UP



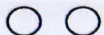
70C1056

Push to Test



Battery
Voltage

A B



Test Procedures: (brief instruction, for details check Ref I.L.5721B13)

1. a. Connect cable from Test Kit to Circuit Breaker
b. Note the Circuit Breaker settings at this time.
c. Make the following Circuit Breaker settings.
Long PU = 0.6, Long Time = 2, Short PU = 2, Inst = 2, GROUND = .25.
2. **Power Up and Test Settings:**
a. Position switch on test cable to "Phase".
b. Push Test Button, LEDs, A, B light, Status LED flashes. Unit should not trip.
c. Release Test Button.
3. **Instantaneous Trip:**
a. Position Select Test to INST. b. Inst LED should flash.
c. Push Test and release immediately after trip d. Reset breaker and trip unit.
4. **Short Delay Trip:**
a. Position Select Test to SHORT b. Short Time LED should flash
c. Push Test and release immediately after trip. d. Reset breaker and trip unit.
5. **Long Delay Pickup and Trip:**
a. Set Short Pickup and INST to 10x. e. Long Delay Trip in 3 to 35 seconds
b. Position Select Test to LONG. f. release test button.
c. Push Test and hold. f. Long Delay Trip LED should flash.
d. Status LED flashes at fast rate. e. Reset breaker and trip unit.
6. **Ground Fault Trip: (if applicable).**
a. Position switch on cable to Ground c. Trip and/or Ground Fault LED flashes.
b. Push Test and release immediately after trip. d. Reset breaker and trip unit.
7. **Return Digitrip settings to original condition**

Рис. 3.1.4-10

3.1.5. Розподільні системи з підвищеним рівнем захисту для мереж середньої напруги (3кВ – 35кВ)

Електротехнічна група «Eaton» пропонує широкий спектр сучасних розподільних пристроїв та щитового обладнання для електроенергетичних систем самого різного масштабу та призначення, які, за рахунок використання нових інноваційних технологій, забезпечують максимально високий рівень безпеки та надійності роботи розподільних систем в процесі їх експлуатації, мінімальні ризики щодо можливості травмування виробничого персоналу, високий рівень економічної ефективності та екологічної безпеки. Також ці розподільні пристрої мають розширенні функціональні та комунікаційні можливості, а компактність та модульний принцип їх побудови, за яким виконано більшість з цих розподільних пристроїв, значно спрощує монтаж та полегшує його обслуговування, налагоджування і підвищує ремонтпридатність.

Сучасні розподільні пристрої та щитове обладнання для електромереж середньої напруги (СН: 3... 35 кВ).

На рис. 3.1.5-1 (поз. 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8) представлено декілька основних видів таких пристроїв для електромереж середньої напруги, що використовуються на основних об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії (див. рис. 3.1.5-2).

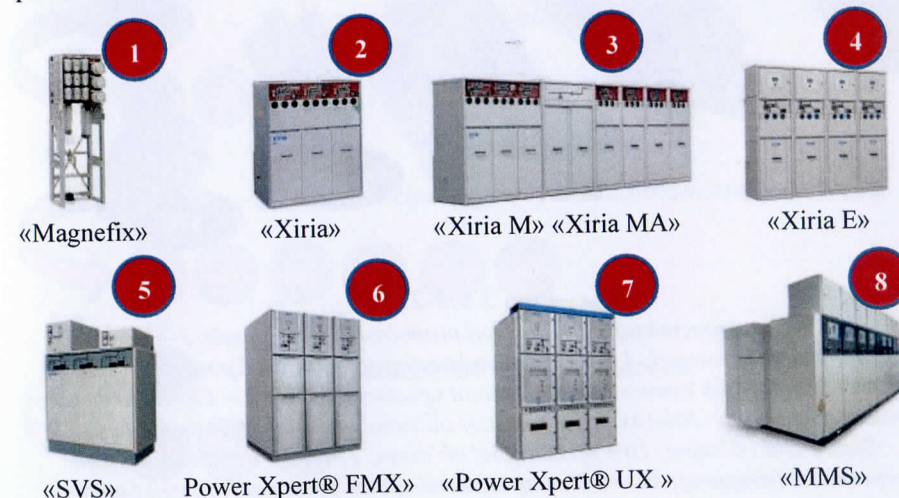


Рис. 3.1.5-1

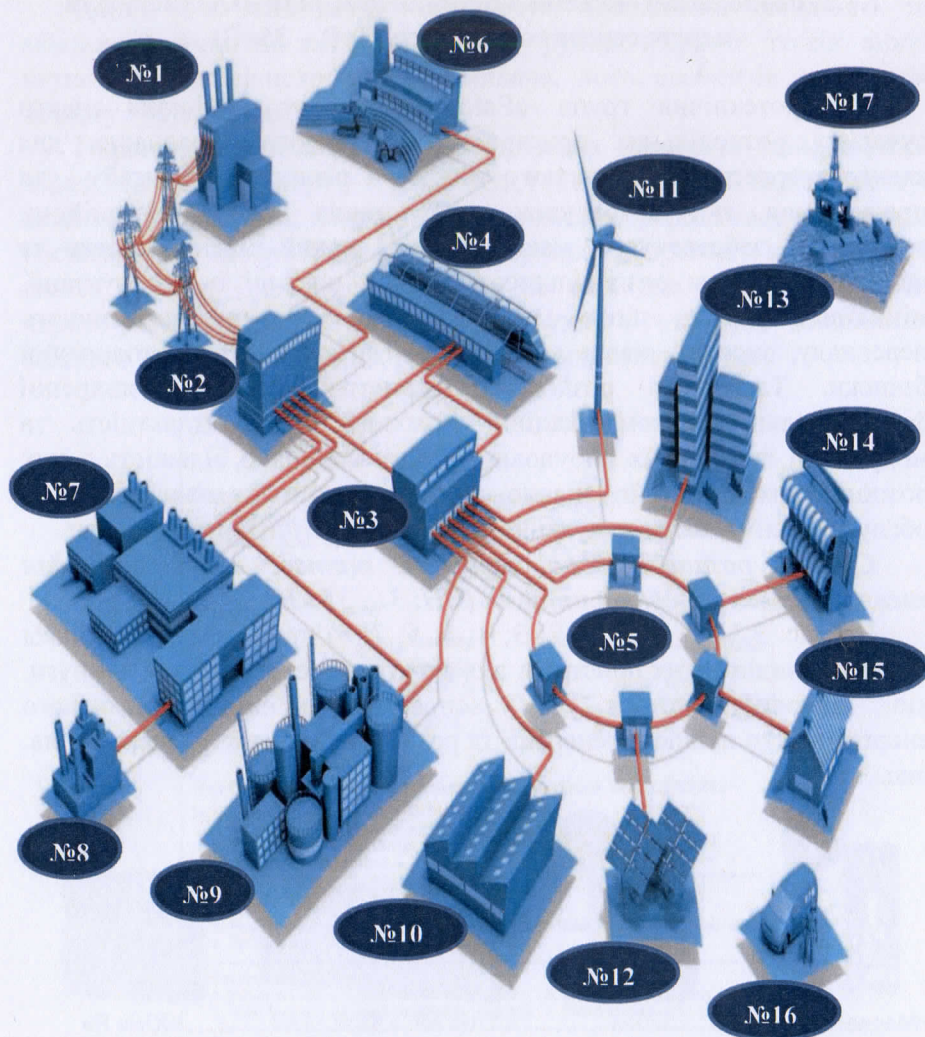
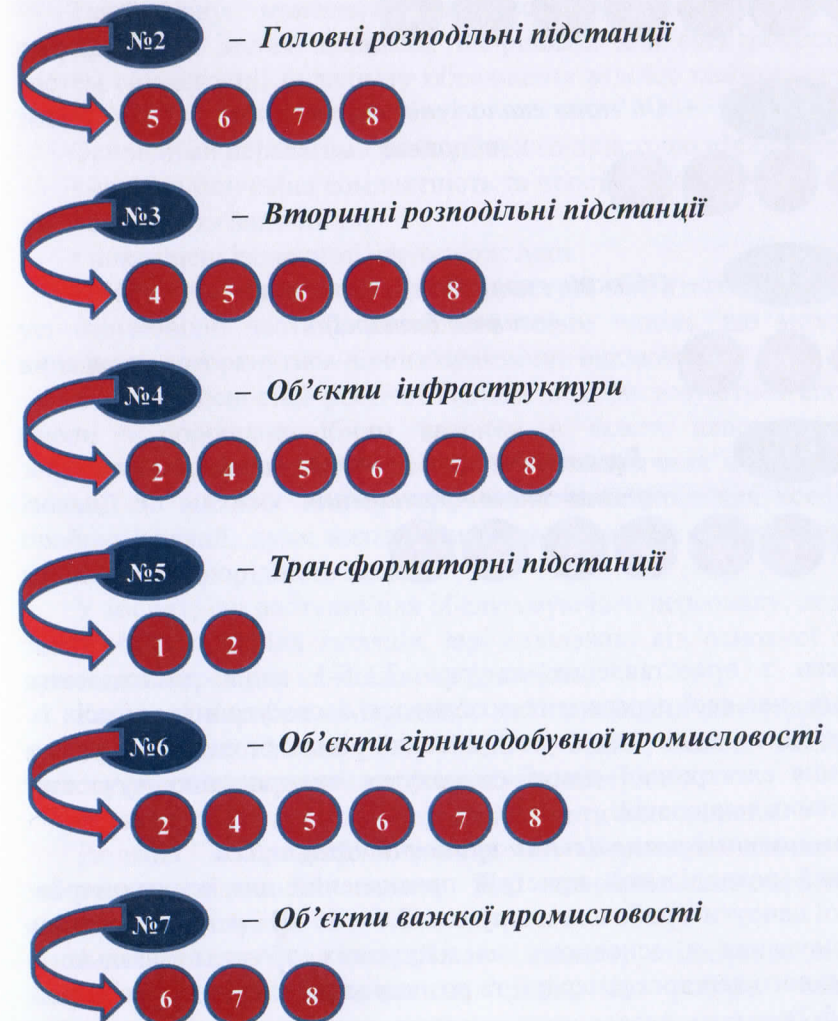
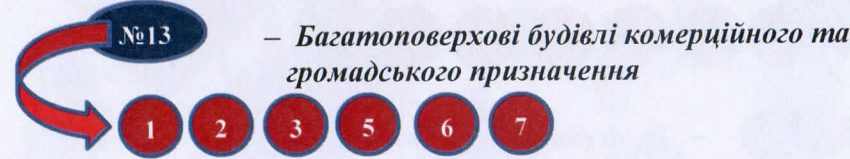
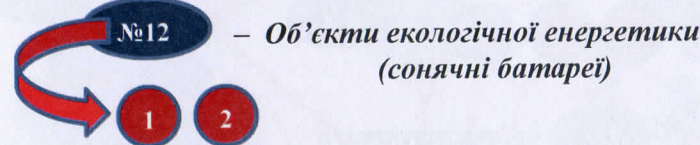
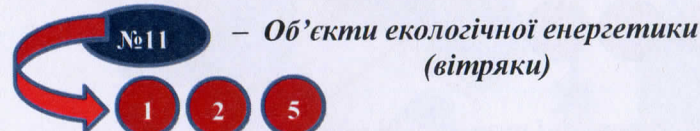
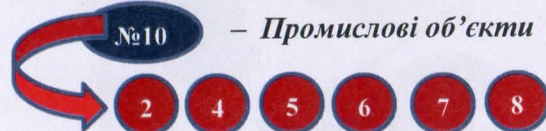
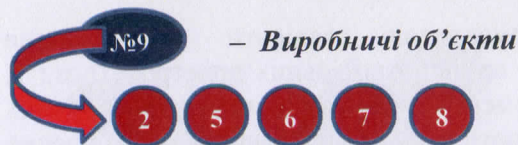


Рис. 3.1.5-2.

За №: 1 – Електростанції; 2 – Головні розподільні підстанції; 3 – Вторинні розподільні підстанції; 4 – Об'єкти інфраструктури; 5 – Трансформаторні підстанції; 6 – Об'єкти гірничодобувної промисловості; 7 – Об'єкти важкої промисловості; 8 – Відомчі (автономні) об'єкти генерація електроенергії; 9 – Виробничі об'єкти; 10 – промислові об'єкти; 11 – Об'єкти екологічної енергетики (вітряки); 12 – Об'єкти екологічної енергетики (сонячні батареї); 13 – Багатоповерхові будівлі комерційного призначення; 14 – Офіси та магазини; 15 – Житлові будівлі; 16 – Комплексні рішення та послуги

Нижче наведено рекомендовані варіанти використання представлених на рис. 3.1.5-1 видів розподільних пристроїв (поз.: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8) для електромереж середньої напруги на основних об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії (об'єкти: № 2; № 3; № 4, № 5; № 6; № 7; № 9; № 10; № 11; № 12; № 13 – див. рис. 3.1.5-2).

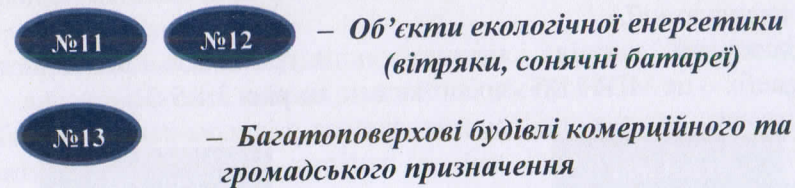




Кожен з представлених на рис. 3.1.5-1 видів розподільних пристроїв має свої переваги та особливості застосування, але всіх їх об'єднує одне – вони гарантують високий рівень безпеки та надійне постачання електричної енергії за рахунок використання сучасних інноваційних технологій.

1 Компактний розподільний пристрій «Magnefix».

Даний розподільний пристрій призначений для електромереж середньої напруги з робочою напругою 3,6 – 15 кВ і рекомендований до застосування в основному на наступних об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії (див. рис. 3.1.5-2):



Також існує можливість використання даного розподільного пристрою і в інших випадках, наприклад, для електропостачання систем сигналізації та захисту обладнання вздовж залізничних колій тощо.

- Основними перевагами розподільного пристрою «Magnefix» є:
- його надзвичайна компактність та простота конструкції;
 - безпека та надійність;
 - покращені ізоляційні характеристики.

«Magnefix» – це розподільний пристрій закритого типу, в якому усі струмовідні частини ізолювані таким чином, що можливість випадково доторкнутися до них практично виключена.

В якості основної робочої ізоляції використовуються епоксидні смоли з порошкоподібним кварцем в якості наповнювача. Це забезпечує: дуже низький коефіцієнт діелектричних втрат; стійкість ізоляції до високих температур; високі показники для коефіцієнту пробою ізоляції; дуже низьке поглинання вологи, високу механічну міцність та однорідність ізоляції.

У місцях, що доступні для обслуговуючого персоналу, додатково застосована подвійна ізоляція, яка незалежно від основної ізоляції проходить перевірку на ізолюючу здатність.

Кабельні коробки «Magnefix», які призначені для підключення високовольтних кабелів типу PILC і XLPE, також виконані із застосуванням високоякісних ізолюючих матеріалів.

- Захищеність від атмосферних і кліматичних впливів.

Ізоляція з епоксидної смоли із кварцевим наповнювачем забезпечує відмінний захист від зовнішніх атмосферних та кліматичних впливів.

Крім того, матеріал ізоляції має підвищену стійкість до вібрацій і ударів, а також практично не старіє, що робить «Magnefix» високонадійним пристроєм, який має дуже довгий життєвий цикл.

- Конструктивні особливості «Magnefix» та застосування блокуючих пристроїв повністю виключають можливість випадкового

заземлення шин при монтажі розподільного пристрою та подальшій його експлуатації.

Загальний вигляд існуючих типів розподільного пристрою «Magnefix – це MD4 і MF, представлено на рис. 3.1.5-3.

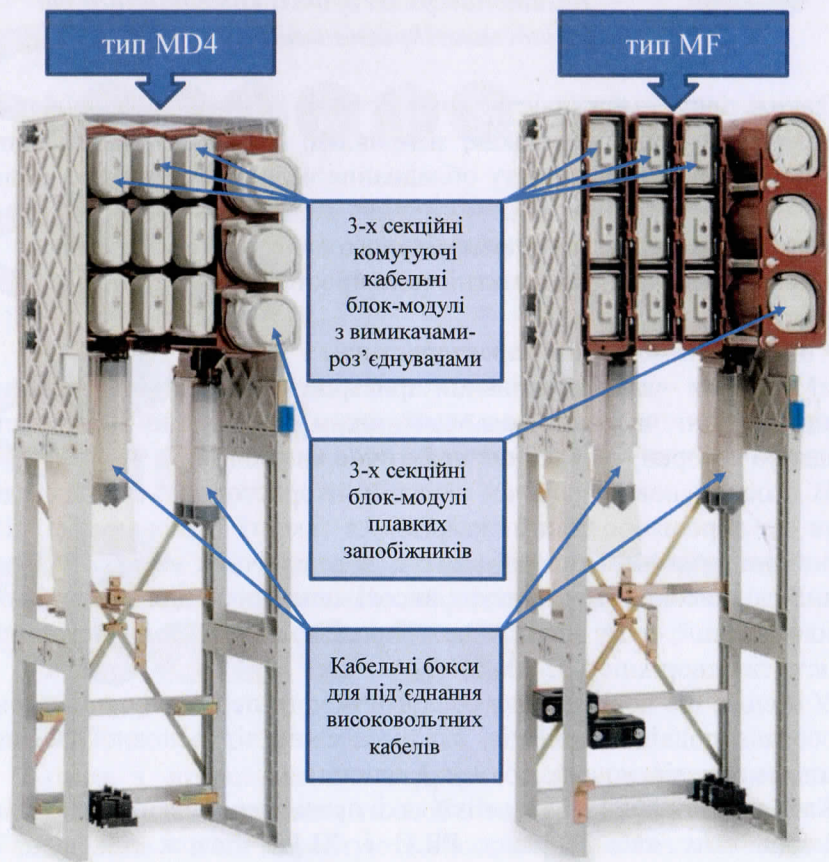


Рис. 3.1.5-3

«Magnefix» *тип MD4*

У складі базової «комірки» даного розподільного пристрою, зазвичай, використовуються наступні основні вузли (див. рис. 3.1.5-3):

- 3-х секційні (3-х фазні) кабельні блок-модулі з вбудованими вимикачами-роз'єднувачами і комутаційними ковпачками;

- 3-х секційні (3-х фазні) блок-модулі плавких запобіжників-роз'єднувачів;
- кабельні відсіки для під'єднання входних та вихідних високовольтних кабелів типу PILC або XLPE.

Кабельні блок-модулі з вимикачами-роз'єднувачами мають два варіанти виконання: 1 варіант – без використання плавких запобіжників; 2 варіант – з використанням плавких запобіжників в електричних колах підключення до трансформатору. Для кращого розуміння принципу їх роботи на рис. 3.1.4, а) – наведено поперечний переріз кабельного блок-модуля за 1 варіантом, а на рис. 3.1.4, б) – поперечний переріз кабельного блок-модуля за 2 варіантом і спрощена комутаційна схема його підключення.

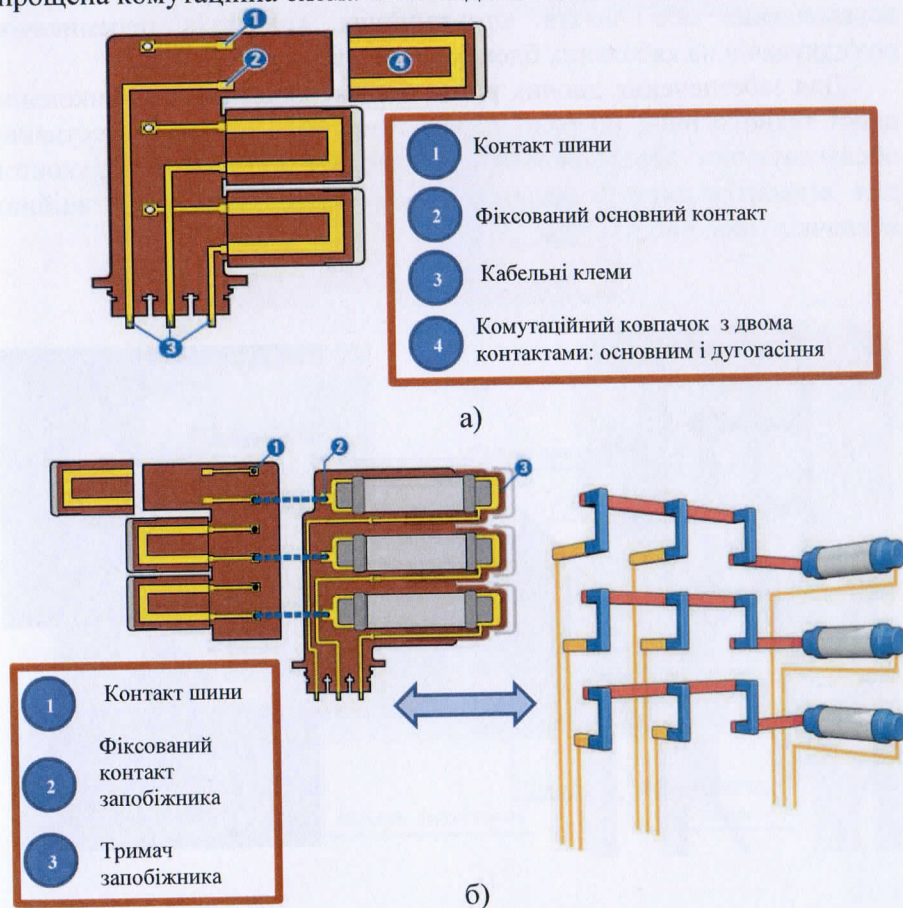


Рис. 3.1.5-4

Для забезпечення необхідного рівня безпеки при експлуатації розподільного обладнання «Magnefix» в конструкції 3-х секційного комутуючого кабельного блок-модуля з вимикачами-роз'єднувачами і плавкими запобіжниками передбачено механічне блокування між комутаційними ковпачками перемикачів-роз'єднувачів і тримачами запобіжників, що унеможливорює встановлення або зняття тримачів запобіжників до відповідного зняття комутаційних ковпачків перемикачів-роз'єднувачів. Таким чином, плавкі вставки можуть бути встановлені або зняті лише тоді, коли перемикачі-роз'єднувачі вимкнено.

Технологічний процес перемикання на щитовому розподільному обладнанні «Magnefix» (тип MD4) забезпечується шляхом встановлення або зняття комутаційних ковпачків перемикачів-роз'єднувачів на кабельних блоках-модулях.

Для забезпечення діючих вимог з електробезпеки при виконанні даної технологічної операції передбачене обов'язкове застосування обслуговуючим персоналом спеціалізованих операційних рукояток для відкриття/закриття (*Closing and opening*) цих комутаційних ковпачків (див. рис.3.1.5-5).

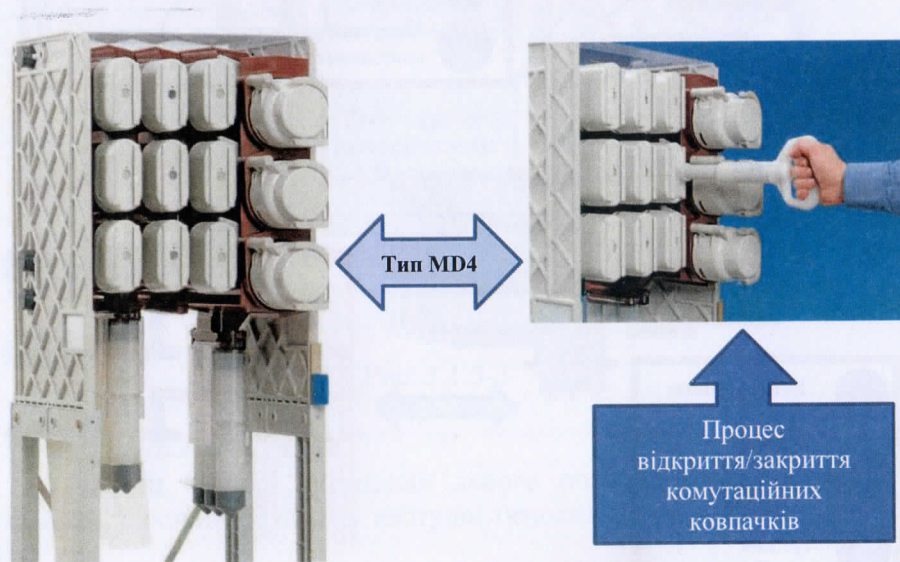
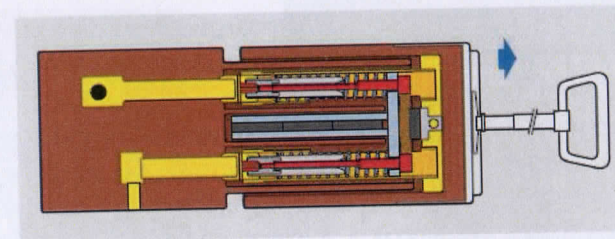
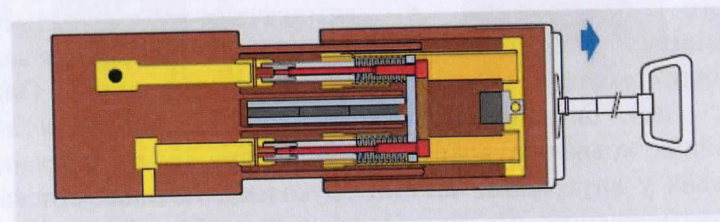


Рис.3.1.5-5

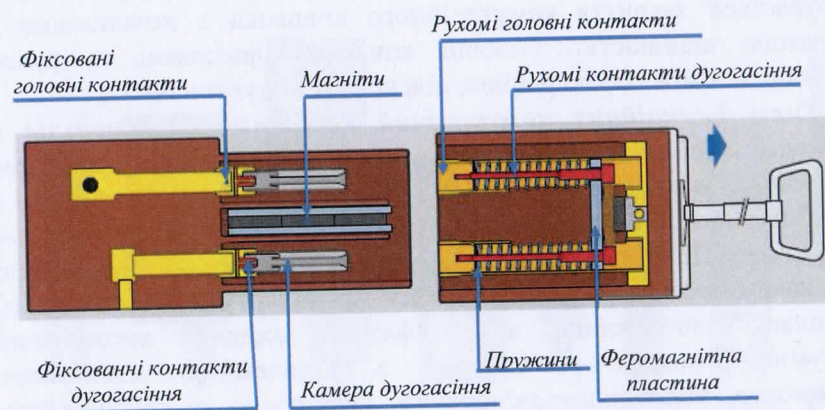
Технологічний процес вимкнення 3-х секційного комутуючого кабельного блок-модуля з вимикачами-роз'єднувачами із застосуванням операційної рукоятки для відкриття/закриття комутаційних ковпачків можна умовно поділити на 3 наступні етапи (див. рис. 3.1.5-6 а, б, в).



а)



б)



в)

Рис. 3.1.5-6

1 етап (рис. 3.1.5-6, а) – оператор тягне на себе операційну рукоятку для відкриття/закриття комутаційних ковпачків, при цьому пружини замикання, що розташовані у внутрішній частині корпусу комутаційного ковпачка, починають стискатися і накопичувати енергію за рахунок того, що феромагнітна пластина надійно утримується магнітом.

2 етап (рис. 3.1.5-6, б) – має місце розмикання головних контактів (фіксованих та рухомих) та продовжується накопичення пружинами енергії, необхідної для розмикання контактів дугогасіння.

3 етап (рис. 3.1.5-6, в) – при накопиченні пружинами енергії достатньої для відриву феромагнітної пластини від магніту має місце розмикання контактів дугогасіння (фіксованих та рухомих) і витягування рухомих контактів з дугогасильних камер з необхідною для цього швидкістю, яка не залежить від зусиль оператора.

Технологічний процес увімкнення 3-х секційного комутуючого кабельного блок-модуля з вимикачами-роз'єднувачами із застосуванням операційної рукоятки для відкриття/закриття комутаційних ковпачків виконується наступним чином. Оператор натискає на операційну рукоятку для відкриття/закриття комутаційних ковпачків вперед від себе, при цьому пружина, що розташована у внутрішній частині рукоятки, починає стискатися і накопичувати енергію до тих пір, поки її не буде достатньою для подолання блокуючого опору запобіжного виступу на фіксованій частині корпусу комутуючого кабельного блок-модуля, після чого відбувається закриття комутаційного ковпачка з незалежною від оператора швидкістю. Головні контакти (фіксовані та рухомі) замикаються між собою раніше, ніж контакти дугогасіння.

Типи 3-секційних комутуючих кабельних блок-модулів та можливі варіанти їх застосування при монтажі «комірки» розподільного пристрою *Magnefix* (тип MD4)

Кабельний блок-модуль із захисним 3-х фазним вакуумним вимикачем. Це 3-х секційний комутуючий кабельний блок-модуль з вимикачами-роз'єднувачами, в якому для захисту використовуються не плавкі запобіжники, а 3-х фазний захисний автоматичний вакуумний вимикач-роз'єднувач з незалежною електронною системою управління включений послідовно з комутаційними ковпачками цього блок-модуля (див. рис. 3.1.5-7). Вакуумний вимикач виконує лише одну захисну функцію – це відключення при струмових перевантаженнях та коротких замиканнях (КЗ).

**Примітки: 2. Після спрацювання захисного вакуумного вимикача-роз'єднувача його повторне включення можливе лише вручну і за умови видалення комунікаційних ковпачків кабельного блок-модуля.*

1. Цей блок комутації доступний лише в розподільному пристрої *Magnefix* (тип MD4).

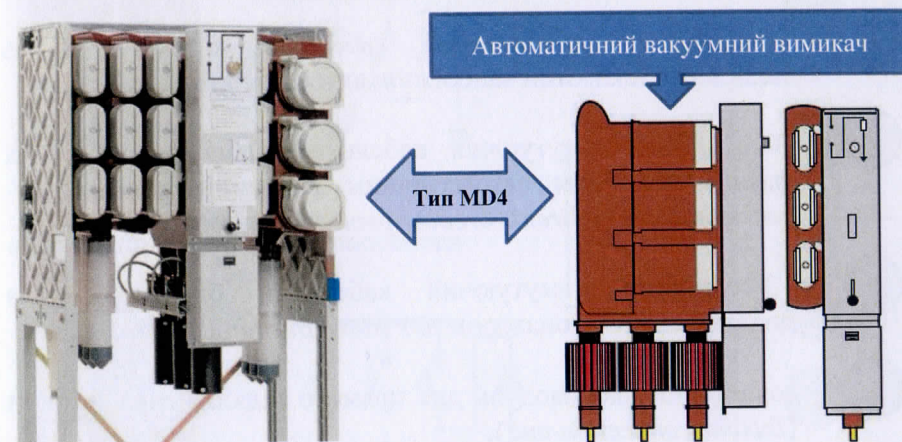


Рис. 3.1.5-7

Дана та всі інші існуючі модифікації основних комутуючих та додаткових допоміжних блок-модулів (вузлів) для розподільного пристрою «*Magnefix*» (тип MD4) приведені на рис. 3.1.5-8.

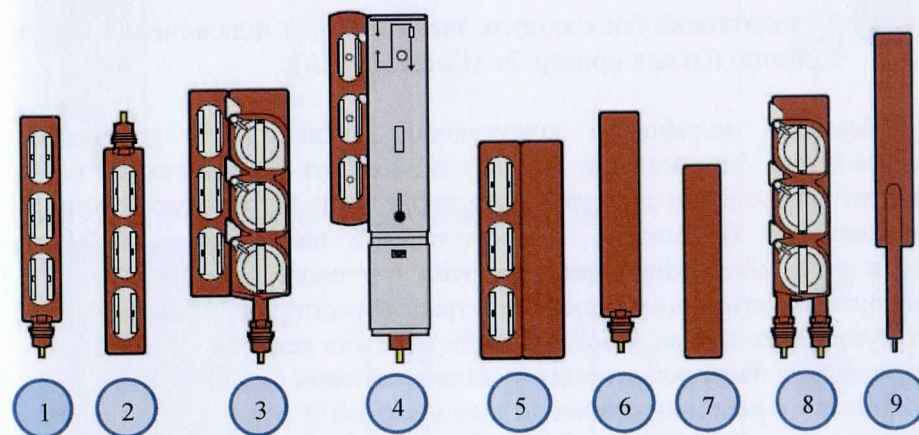


Рис. 3.1.5-8

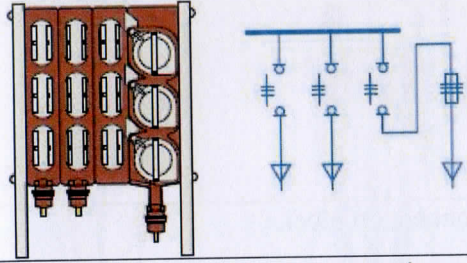
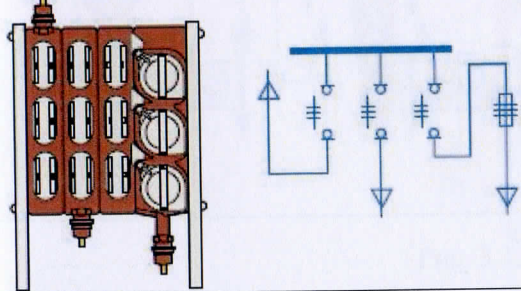
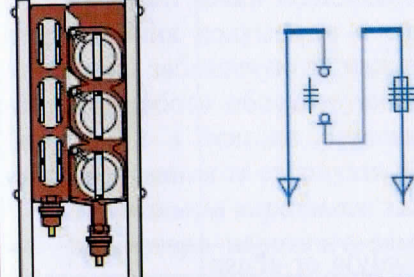
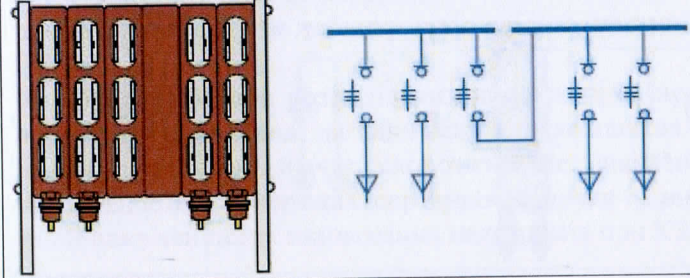
На цьому рисунку відображені наступні типи блок-модулів:

- 1 2 - 3-секційні комутуючі кабельні блок-модулі з нижнім та верхнім підключенням (*Cable unit / Cable unit for top connection*);
- 3 - 3-секційний комутуючий кабельний блок-модуль із захисними плавкими запобіжниками (*Fuse protected tee-off*);
- 4 - 3-секційний комутуючий кабельний блок-модуль із 3-х фазним захисним автоматичним вакуумним вимикачем роз'єднувачем (*Circuit-breaker protected tee-off*);
- 5 - 3-секційний комутуючий кабельний блок-модуль із додатковим секціонатором для шин (*Busbar sectionaliser*);
- 6 - додатковий блок-модуль для прямого підключення до шин (*Busbar connection unit*);
- 7 - додатковий блок-модуль для «сліпого» підключення (*Blind connection block*);
- 8 - автономний 3-х секційний блок-модуль запобіжників (*Stand-alone fuse unit*);
- 9 - додатковий блок-модуль зчеплення для підключення інших розподільних пристроїв (*Coupling unit*);

Існуючі модифікації комутуючих, захисних та додаткових допоміжних блок-модулів (вузлів) дозволяють реалізовувати на їх основі розподільні пристрої «Magnefix» (тип MD4) самого різного призначення. Наприклад, це можуть бути такі варіанти, як «Ring main unit» або «Ring main unit with top connection», які широко використовується на компактних трансформаторних підстанціях та комутаційних точках в розподільних мережах середньої напруги для під'єднання багатоквартирних будинків, офісних будинків тощо.

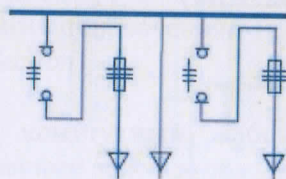
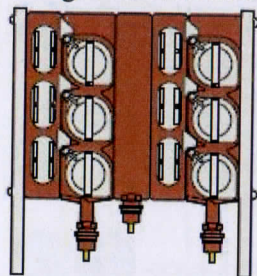
Деякі з рекомендованих «Eaton» варіантів реалізації «комірок» розподільних пристроїв «Magnefix» (тип MD4), побудованих на основі вище розглянутих блок-модулів приведені у таблиці 3.1.5-1.

Таблиця 3.1.5-1

Рекомендовані варіанти виконання «Magnefix» (тип MD4)	Застосовані блок-модулі
«Ring main unit» 	1 × 2 3 × 1
«Ring main unit with top connection» 	1 × 1 1 × 1 3 × 1
«Terminal station» 	3 × 1
«4-way switchboard with busbar sectionaliser unit» 	1 × 4 5 × 1

Продовження табл. 3.1.5-1

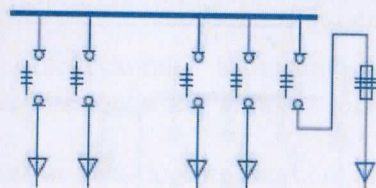
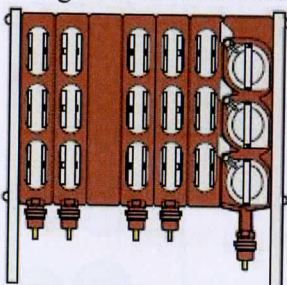
«Magnefix switchboard with busbar connection unit»



3 × 2

6 × 1

«Magnefix switchboard with blind connection block»

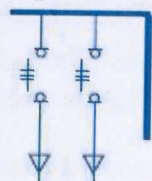
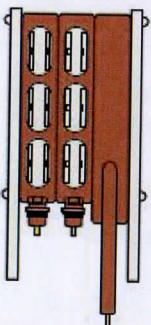


1 × 4

3 × 1

7 × 1

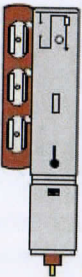
«Switchboard with coupling unit»



1 × 2

9 × 1

«Circuit-breaker protected tee-off (MD4 only)» or «Fuse unit with 6 cable terminals»



4 × 1

8 × 1

Кабельні з'єднання

Кабельні бокси блок-модулів розподільних пристроїв «Magnefix» розраховані на підключення кабелів типу PILC (див. рис. 3.1.5-9, а) і кабелів типу XLPE (див. рис. 3.1.5-9, б).

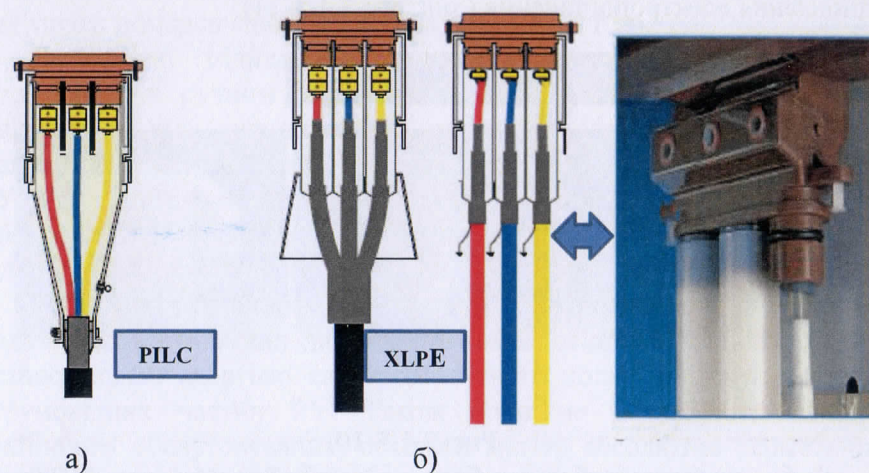


Рис. 3.1.5-9

Кабельні бокси відповідають всім вимогам діючих стандартів та нормативних документів в сфері електробезпеки. Їх конструктивні елементи забезпечують надійну ізоляцію струмовідних частин та безпеку роботи обслуговуючого персоналу у разі дотримання ними інструкцій з техніки безпеки при проведенні робіт з монтажу, обслуговування та експлуатації розподільних пристроїв «Magnefix».

Індикатори короткого замикання

Індикатори короткого замикання – це інструмент, який фіксує наявність коротких замикань (КЗ) в розподільній системі в залежності від величини та характеру зростання змінного магнітного поля промислової частоти поблизу струмовідних частин електроустановок (ЕУ).

Використання в розподільних пристроях «Magnefix» індикаторів короткого замикання, встановлених у ковпачках кабельних блок-модулів, дозволяє значно скоротити час виявлення та локалізації несправностей у мережах середньої напруги у випадках, коли має місце таке явище, як виникнення надструмів при КЗ.

Доступні дві версії таких індикаторів:

1 версія – з ручним скиданням показань індикатора у разі його спрацювання при виникненні КЗ (див. рис.3.1.5-10);

2 версія – це електронний індикатор з автоматичним скиданням показань індикатора після усунення причин виникнення КЗ та відновлення електропостачання (див. рис.3.1.5-11).



Рис. 3.1.5-10

а); б) – ковпачки кабельних блок-модулів (відповідно тип MD4 та тип MF) з індикаторами, які мають ручне скидання показань;
в) – магнітний пристрій для ручного скидання показань індикаторів.



Рис. 3.1.5-11

Ковпачки кабельних блок-модулів з електронними індикаторами, які забезпечують автоматичне скидання показань:
а) – тип MD4; б) – тип MF.

Дані індикатори працюють наступним чином: у разі, якщо величина струму, на яку встановлені індикатори, перевищена, то у вікні індикатора з ручним скиданням з'являється помаранчевий прапорець (див. рис. 3.1.5-10, а), а у вікні електронного індикатора з автоматичним скиданням загоряється світлодіодний індикатор, який має також помаранчевий колір (див. рис. 3.1.5-11, а).

Електронні індикатори з автоматичним скиданням, як і індикатори з ручним скиданням, реагують на наявність КЗ в залежності від величини та характеру зростання існуючого магнітного поля промислової частоти поблизу струмовідних частин ЕУ. Автоматичне скидання таких електронних індикаторів здійснюється лише за умови усунення причин виникнення КЗ та відновлення електропостачання в розподільній системі.

Подібні електронні індикатори не потребують використання додаткових автономних джерел живлення, оскільки вони живляться безпосередньо енергією електромагнітного поля, яке існує поблизу струмовідних частин ЕУ. Також вони не потребують ніякого технічного обслуговування, оскільки мають абсолютно герметичне виконання, що робить їх нечутливими до пилу та вологи.

«Magnefix» тип MF

Даний тип розподільного пристрою у порівнянні з типом MD4 може витримувати більш високі значення номінальних робочих струмів і максимально допустимих струмів короткого замикання, хоча за принципом своєї побудови і за основними технічними та експлуатаційними параметрами розподільний пристрій «Magnefix» (тип MF) дуже схожий з «Magnefix» (тип MD4).

Технологічний процес перемикання на щитовому розподільному обладнанні «Magnefix» (тип MF) також забезпечується шляхом відкриття/закриття комутаційних ковпачків на кабельних блок-модулях перемикачів-роз'єднувачів (див. рис. 3.1.5-12).

У той же час існують і деякі відмінності даного процесу для типу MF по відношенню до вже розглянутого типу MD4.

Так для здійснення технологічного процесу увімкнення 3-х секційних комутуючих кабельних блок-модулів на розподільному пристрої типу MF (див. рис.3.1.5-12, а) необхідно застосовувати спеціалізовану операційну рукоятку, яка призначена лише для закриття комутаційних ковпачків (див. рис.3.1.5-12, б). Що стосується технологічного процесу вимкнення 3-х секційних комутуючих кабельних блок-модулів на розподільному пристрої «Magnefix» (тип

MF), то даний процес необхідно здійснювати вже за допомогою висувних ручок на комутаційних ковпачках, які призначені саме для їх відкриття.

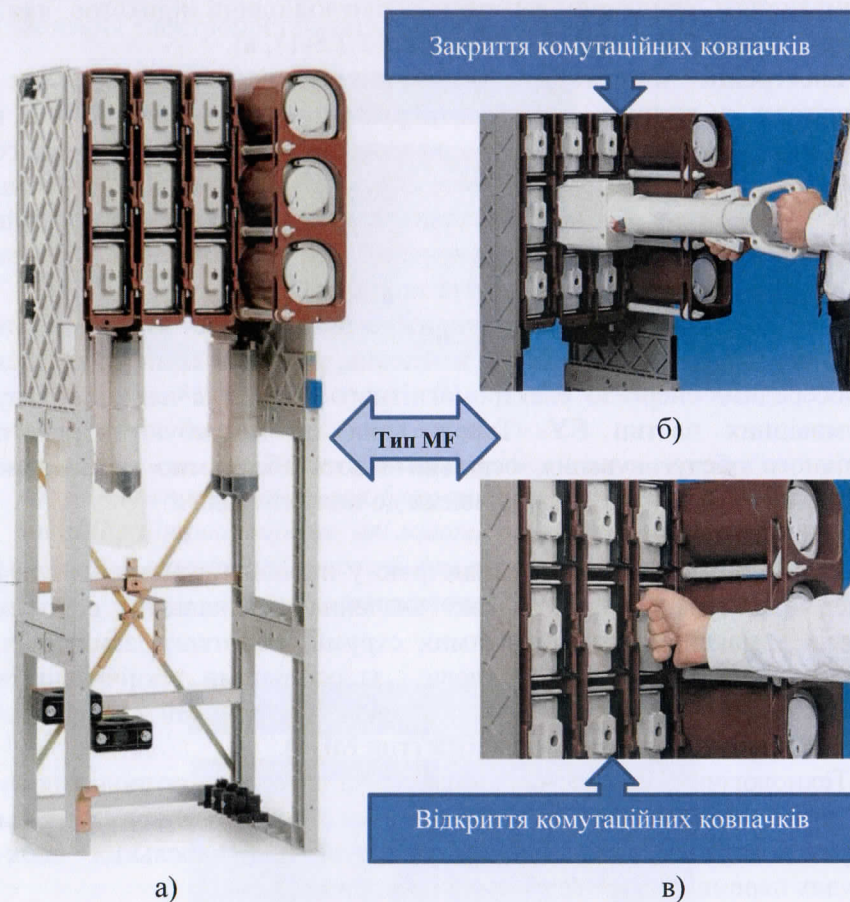


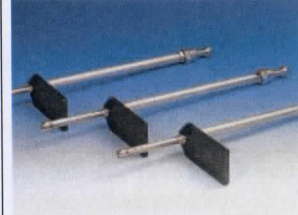
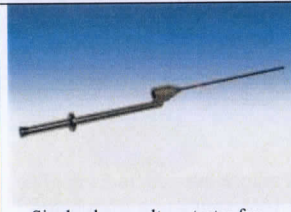
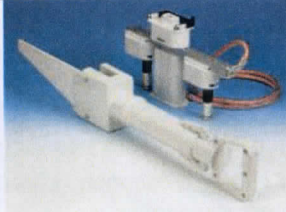
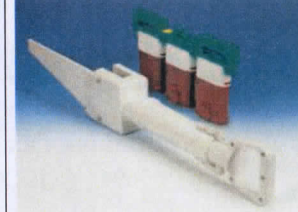
Рис. 3.1.5-12

Необхідно зазначити, що при виконанні обох цих технологічних операцій швидкість відкриття/закриття комутаційних ковпачків ні в якій мірі не залежить від оператора за рахунок використання в конструкціях кабельних блок-модулів та спеціалізованої операційної рукоятки відповідних контрольно-захисних механізмів пружинного типу.

Допоміжні захисні засоби та додаткові технологічні аксесуари. Їх використання дозволяє підвищити рівень безпеки та надійність роботи даного виду розподільних пристроїв, а також запобігає існуючим при експлуатації електрообладнання ризикам, забезпечує максимальну зручність налаштування заданих технічних параметрів розподільних систем, підвищує рівень захисту обслуговуючого персоналу.

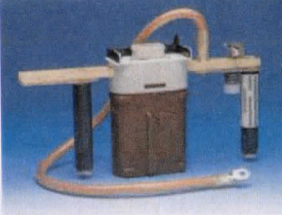
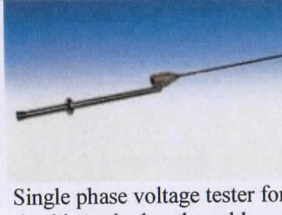
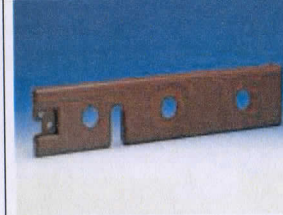
Допоміжні захисні засоби та додаткові технологічні аксесуари, рекомендовані «Eaton» до застосування, наведено в таблиці 3.1.5-2 («Magnefix», тип MD 4) і таблиці 3.1.5-3 («Magnefix», тип MF).

Таблиця 3.1.5-2

«Magnefix», тип MD 4		
		
Device for testing and measuring cables.	Earthing device (standard).	Earthing device for transformer cable with ball-shaped contact.
		
Single phase voltage tester for checking whether the cables or main busbar system are energized.	Earthing device with ball-shaped contact suitable for phase-sequence measuring	Protection cover for protecting the contacts on the inside of the fixed portions when the switch caps or fuse holders are removed.
		
Closing and opening handle.	Quick-acting earthing device for three-phase earthing.	Three-phase switching device.

Таблиця 3.1.5-3

«Magnefix», тип MF

		
Earthing device (standard).	Quick-acting earthing device for three-phase earthing.	Earthing device with ball-shaped contact.
		
Earthing device for transformer cable with ball-shaped contact.	Single phase voltage tester for checking whether the cables or main busbar system are energized.	Device for testing and measuring cables.
		
Closing handle.	Protection covers for protecting the contacts on the inside of the fixed portions when the switch caps or fuse holders are removed.	Padlockable interlocking plate to prevent a unit from being operated when not desired.

Відповідність КРП «Magnefix» вимогам стандартів IEC

Розподільні пристрої Magnefix (тип: MD4 та MF) відповідають всім вимогам діючих в сфері безпеки стандартів IEC, в тому числі:

- IEC 60694 / IEC62271-1 «Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards»;
- IEC 60056 / IEC62271-100 «High-voltage alternating-current circuit-breakers»;

- IEC 60129 / IEC62271-102 «Alternating current disconnectors and earthing switches»;
- IEC 60265 / IEC62271-103 «High-voltage switches»;
- IEC 60466 / IEC62271-201 «A.C. insulation-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV»;
- IEC 60529 «Degrees of protection provided by enclosures»;
- IEC 60185 / IEC60044-1 «Instrument transformers - Part 1: Current transformers».

2

Компактний розподільний пристрій «Xiria» (моноблок)

Даний малогабаритний розподільний пристрій призначений для електромереж середньої напруги з робочою напругою до 24 кВ і рекомендований до застосування в основному на наступних об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії (див. рис. 3.1.5-2):

№4

– Об'єкти інфраструктури

№5

– Трансформаторні підстанції

№6

– Об'єкти гірничодобувної промисловості

№9

– Виробничі об'єкти

№11

№12

– Об'єкти екологічної енергетики (вітряки, сонячні батареї)

№13

– Багатоповерхові будівлі комерційного та громадського призначення

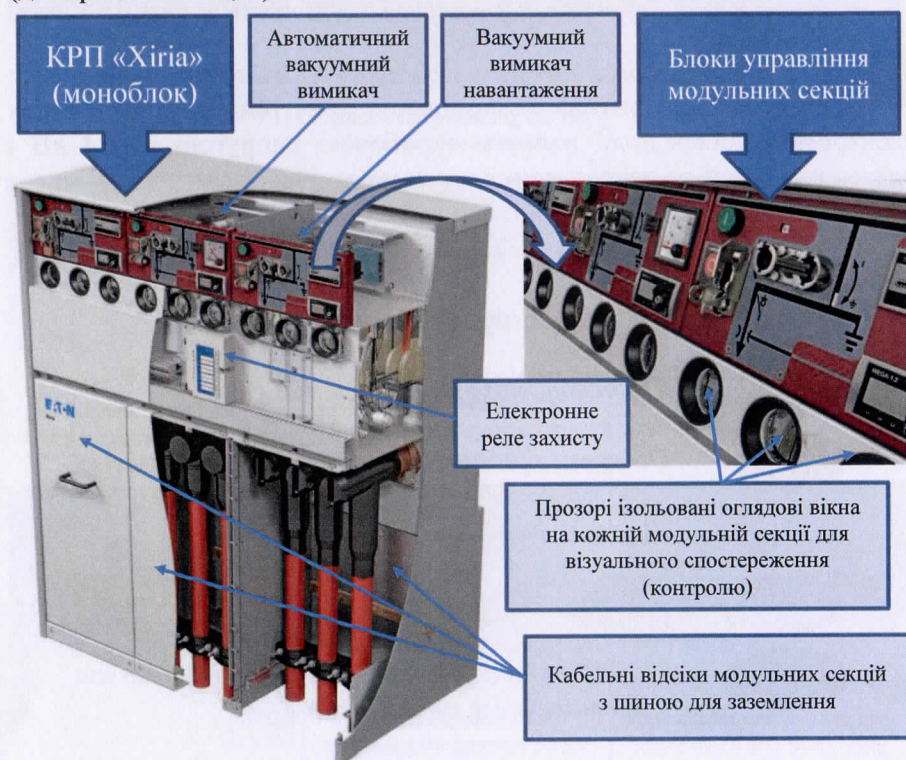
КРП «Xiria» (моноблок) має цілий ряд переваг, в першу чергу це:

- високий рівень експлуатаційної безпеки;
- вакуумна технологія перемикачів;
- не вимагає обслуговування;
- візуальний контроль стану перемикачів та заземлення;
- компактність;
- придатність до роботи із засобами автоматизації на підстанціях;
- екологічна безпека.

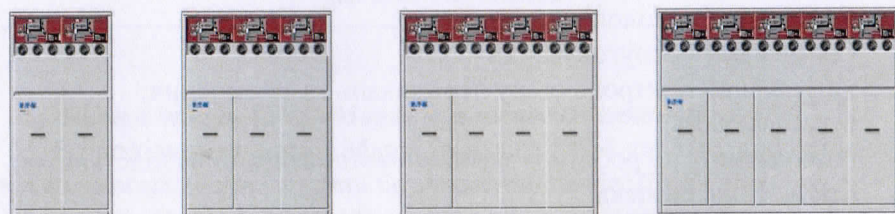
КРП «Xiria» – це нове покоління розподільних пристроїв від «Eaton Holec». Вони характеризуються високим рівнем експлуатаційної безпеки та придатні для використання в мережах з

напругою від 3,6 кВ до 24 кВ з номінальними робочими струмами до 630 А.

Додаткові модифікації основного 3-х секційного моноблоку КРП «Xiria», так званої «комірки» (див. рис. 3.1.5-13, а), можуть мати у своєму складі вже не три, а дві, чотири або п'ять модульних секцій (див. рис 3.1.5-13, б).



а)



×2

×3

×4

×5

б)

Рис. 3.1.5-13

Основна частина первинних ланцюгів та механізмів приводів в кожній із модульних секцій розміщені в повністю герметичному корпусі, який ідеально захищає їх від впливу навколишнього середовища (пилу, вологи тощо). У кожній із модульних секцій КРП «Xiria» передбачена можливість встановлення наступних основних функціональних блоків, це:

- блок вакуумного вимикача навантаження КРУ для введів кабельних ліній;
- блок вакуумного автоматичного вимикача для захисту трансформаторів та кабельних з'єднань.

Їх встановлення в модульні секції може бути виконано в будь-якій комбінації.

КРП «Xiria» – це дуже компактний, надійний та безпечний в експлуатації сучасний розподільний пристрій, спроектований з використанням новітніх інноваційних технологій. Він дуже простий у використанні та легко може бути модифікований під будь-які можливі зміни щодо розподілу електроенергії в діючій енергосистемі. У конструкції КРП «Xiria» передбачена можливість використання автоматичних вимикачів з електронними реле захисту, що значно підвищує надійність його роботи та існуючий рівень безпеки для обслуговуючого персоналу. Крім того, КРП «Xiria» допускає, у разі встановлення додаткового обладнання, можливість його використання і в автоматизованих розподільних мережах.

Рівень експлуатаційної безпеки. У конструкції даного виду розподільного пристрою забезпечений максимально високий рівень захисту обслуговуючого персоналу при проведенні робіт з монтажу та обслуговування високовольтних кабелів.

Коли мова заходить про безпеку обслуговуючого персоналу при проведенні експлуатаційних заходів, особливо у разі виконання робіт з високовольтними кабелями, життєво важливо забезпечити однозначно-гарантовану індикацію стану розподільного пристрою на момент виконання цих робіт, а також забезпечити можливість застосування відповідних захисних блокуючих пристроїв. Саме тому на передній панелі блока управління КРП «Xiria» передбачено використання прозорих ізолюваних вікон для візуального контролю за станом видимих з'єднань між кабельними лініями, шинами і заземленням (див. рис. 3.1.5-14 а, б), що встановлюються за допомогою перемикача стану КРП (див. рис. 3.1.5-15).

Управління та доступ до перемикачів стану КРП та вакуумних вимикачів навантаження кожної із його секцій здійснюється за допомогою спеціалізованого ключа-рукоятки через розташовані на передній панелі блоку управління КРП отвори у модулі доступу.

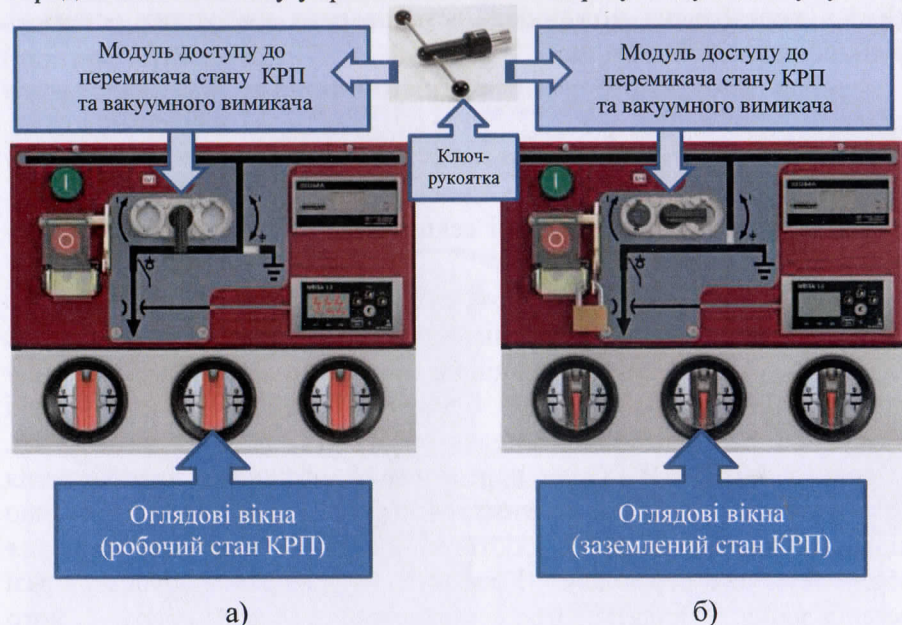
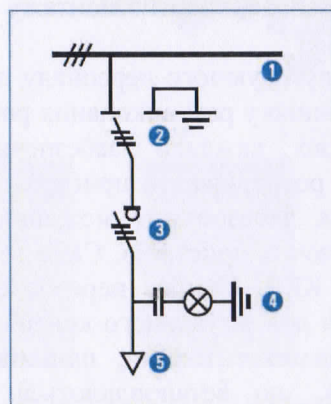


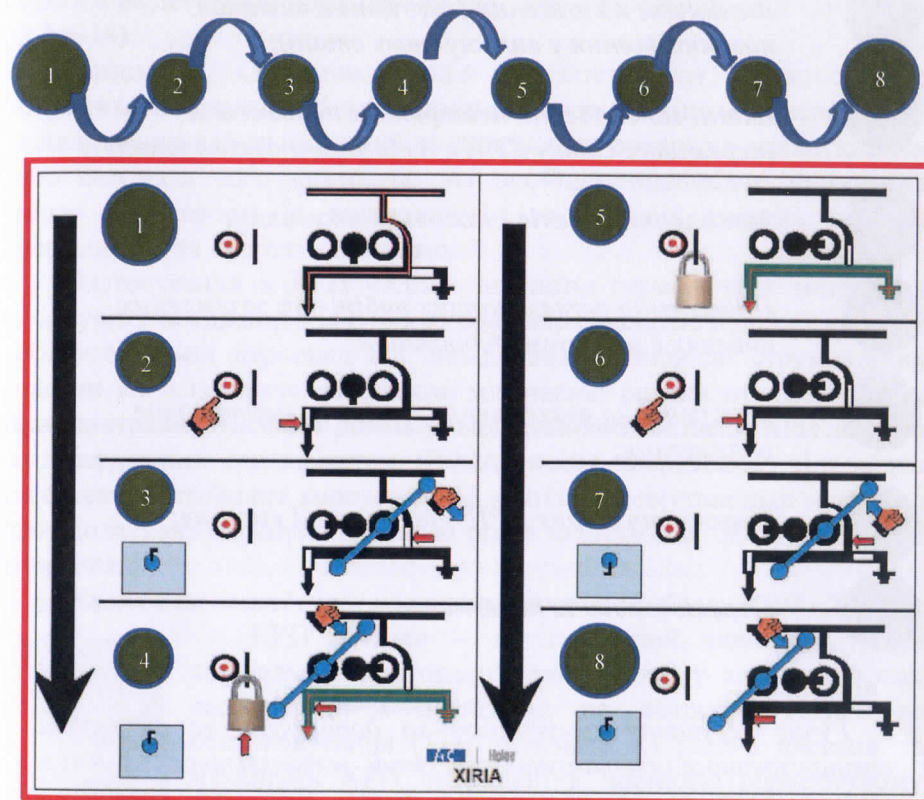
Рис. 3.1.5-14



- 1 - Система шин;
- 2 - Перемикач стану КРП (забезпечує роз'єднання кабелів і шин та заземлення кабелів);
- 3 - Вакуумний вимикач навантаження або автоматичний вимикач;
- 4 - Індикатор напруги;
- 5 - Кабельне підключення.

Рис. 3.1.5-15

На рис. 3.1.5-16, а – представлено алгоритм застосування ручного приводу керування комутаціями на панелі управління модульної секції КРП «Xiria» (див. рис. 3.1.5-14 та рис. 3.1.5-15), а на 3.1.5-16, б – допоміжні ключ-рукоятка та захисні блокуючі пристрої (навісний замок та ножницька запірна скоба).



а)



б)

Рис. 3.1.5-16

- 1 - Робоче положення;
- 2 - Вимкнуте положення (вакуумний вимикач навантаження у вимкненому стані);
- 3 - Шини відключенні, нейтральне положення (перемикач стану КРП в положенні «заземлення»);
- 4 - Заземлення кабелів і захисне блокування;
- 5 - Проведення регламентних робіт при заземлених кабелях і захисному блокуванні;
- 6 - Відключення «заземлення» кабелів, нейтральне положення;
- 7 - Перемикач стану КРП в положенні «шини»;
- 8 - Перехід у робоче положення.

**Примітки:*

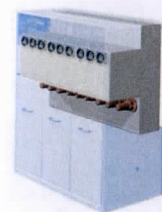
1. Ручне керування комутацією за допомогою спеціалізованого ключа-рукоятки, який вставляється в отвори модуля доступу до перемикача стану КРП та вакуумного вимикача навантаження на панелі управління модульної секції КРП «Xiria» (див. рис. 3.1.5-14, рис. 3.1.5-15 та рис. 3.1.5-16).
2. Розміщення ключа-рукоятки у лівому отворі і обертання його за годинниковою стрілкою призводить до увімкнення вакуумного вимикача навантаження.
3. Розміщення ключа-рукоятки у правому отворі та обертання за годинниковою стрілкою призводить до переходу перемикача стану КРП із «шинного» положення у «заземлене», а у разі обертання проти годинникової стрілки, навпаки – із «заземленого» положення у «шинне».

На передній панелі блока управління КРП «Xiria» розташовані і інші засоби контролю та індикації (наприклад, мнемосхема та індикатор напруги), а також відповідні органи керування та додаткові захисні блокуючі пристрої, які у разі необхідності можуть бути застосовані для запобігання можливим несанкціонованим діям як самого експлуатаційного персоналу, так і сторонніх осіб (див. рис. 3.1.5-14).

Замикання кабельних вводів на заземлювач за допомогою перемикача стану КРП здійснюється лише за умови попереднього відключення кабельних ліній за допомогою вимикача навантаження або автоматичного вимикача, які пройшли відповідне тестування щодо можливості їх використання за високих значень струмів замикань та коротких замикань.

Застосування в КРП «Xiria» повністю герметичних металевих корпусів в поєднанні з існуючою робочою ізоляцією надійно захищає обслуговуючий персонал від випадкових дотиків до струмовідних частин ЕУ і гарантує абсолютно мінімальні ризики отримання ним електротравм. Високий рівень експлуатаційної безпеки КРП «Xiria» підтверджений сертифікатом КЕМА, який передбачає відповідне тестування стійкості корпусу КРП «Xiria» до внутрішньої дуги, що дає додаткову гарантію високого рівня захисту для обслуговуючого персоналу.

Вимоги до технічного обслуговування моноблоку КРП «Xiria»



КРП «Xiria» – це секційний моноблок, який спеціально адаптований для роботи у важких умовах експлуатації і практично не потребує технічного обслуговування (ТО), оскільки всі робочі частини та механізми КРП розміщені в повністю герметичному металевому корпусі, який надійно захищає їх від попадання у внутрішню частину корпусу пилу, вологи та інших негативних впливів навколишнього середовища, які можуть негативно впливати на експлуатаційні характеристики даного технологічного обладнання. Механізми вимикачів в ньому розроблені з використанням мінімального числа деталей, що робить процес комутації максимально надійним, навіть після їх тривалого простою, що, як правило, дуже часто і відбувається на практиці. Також у механізмах КРП не використовуються мастильні матеріали, які можуть знизити рівень їх експлуатаційної надійності та безпеки. Все це суттєво скорочує кількість обов'язкових до виконання ТО, а

значить і необхідні експлуатаційні витрати. Можна констатувати, що КРП «Xiria», по суті, представляє собою практично «необслуговуємий» секційний монгоблок, який має високий рівень надійності та експлуатаційної безпеки.



Компактність

Моноблок КРП «Xiria» є одним з найменших у своєму класі (див. рис. 3.1.5-15). Високий рівень компактності – результат поєднання сучасних інноваційних технологій, що використовуються Eaton Holec (контроль електричного поля та літкої ізоляції, використання надзвичайно компактних вакуумних камер тощо). Компактність КРП «Xiria» дає істотну перевагу щодо економії простору як в нових будинках, так і при переобладнанні існуючих трансформаторних підстанцій.



Готовність до використання в розподільних системах з автоматизованими системами управління



Конструкцією моноблоку КРП «Xiria» передбачена можливість встановлення додаткових модулів систем автоматизації, контролю та сигналізації, а також необхідного комунікаційного обладнання. «Eaton Holec» пропонує різні варіанти встановлення таких систем, залежно від необхідного рівня комунікації, контролю та сигналізації. Завдяки модульній конструкції, елементи цих систем, за необхідності, можуть бути швидко та легко додані до існуючого обладнання моноблоку КРП «Xiria», що забезпечує можливість його подальшої модернізації та удосконалення для використання в розподільних системах з автоматизованими системами управління.



Екологічна безпека



Будь-яка розподільна мережа, та її складові повинні задовольняти вимогам безпеки та експлуатаційної надійності, в тому числі і у сфері екологічної безпеки. Саме тому технологічний процес виробництва КРП «Xiria» передбачає використання виключно екологічно чистих матеріалів. Основне ізолююче середовище – чисте зневоднене повітря, основне середовище для дуго гасіння – це вакуум. Таким

чином, виконуються всі офіційно діючі вимоги з екологічних норм, визначені Директивами та Технічними Регламентами ЄС для електричного та електронного обладнання щодо забезпечення мінімального впливу на оточуюче середовище. Що стосується утилізації КРП «Xiria», то даний пристрій легко демонтується наприкінці свого життєвого циклу, а застосовані у ньому матеріали можуть бути в подальшому повторно використані, що значно полегшує процес утилізації, а також дозволяє уникнути надмірних витрат та податків за забруднення навколишнього середовища, коли пристрій виведено з експлуатації. КРП «Xiria» максимальна адаптована до цього процесу. Надійність та екологічність стають в наш час все більше значимими і саме тому повторне використання матеріалів прийнято «Eaton Holec» за відправну точку при розробці нових модифікацій моноблоку КРП «Xiria».



Як вже було сказано раніше, моноблоки КРП «Xiria» можуть використовуватися на компактних трансформаторних підстанціях для розподілу електроенергії, на підстанціях комунальних господарств та у промисловості. Також вони ідеально підходять для використання в системах децентралізованого виробництва електроенергії, наприклад, таких як вітрові електростанції.

Моноблок КРП «Xiria» відповідає вимогам наступних міжнародних стандартів:

IEC 62271-1 «High-voltage switchgear and controlgear - Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear».

IEC 62271-200 «High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV»

IEC 62271-304 «Classification of indoor enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV related to the use in special service conditions with respect to condensation and pollution»

IEC 62271-100 «High-voltage alternating-current circuit-breakers»

IEC 62271-103 «Alternating current switches for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV»

IEC 62271-102 «Alternating current disconnectors and earthing switches»

IEC 60529 «Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)»

IEC 61869-2 «Additional requirements for current transformers»

IEC 61869-3 «Additional requirements for inductive voltage transformers»

EN 50181 «Plug-in type bushings above 1 kV up to 52 kV and from 250 A to 2,50 kA for equipment other than liquid filled transformers».

Класифікація у відповідності до IEC 62271-200:

Втрата працездатності LSC 2B

Клас розділення PM

Внутрішня дуга IAC AFL 20/16 kA-1с.

3 Компактні розподільні пристрої «Xiria-M» та «Xiria-MA»

КРП «Xiria-M» та «Xiria-MA» (див. рис. 3.1.5-17) являють собою подальшу удосконалену модифікацію КРП «Xiria» і розраховані на роботу при напругах до 20 кВ (Xiria-M) та при напругах від 6 до 10 кВ (Xiria-MA).

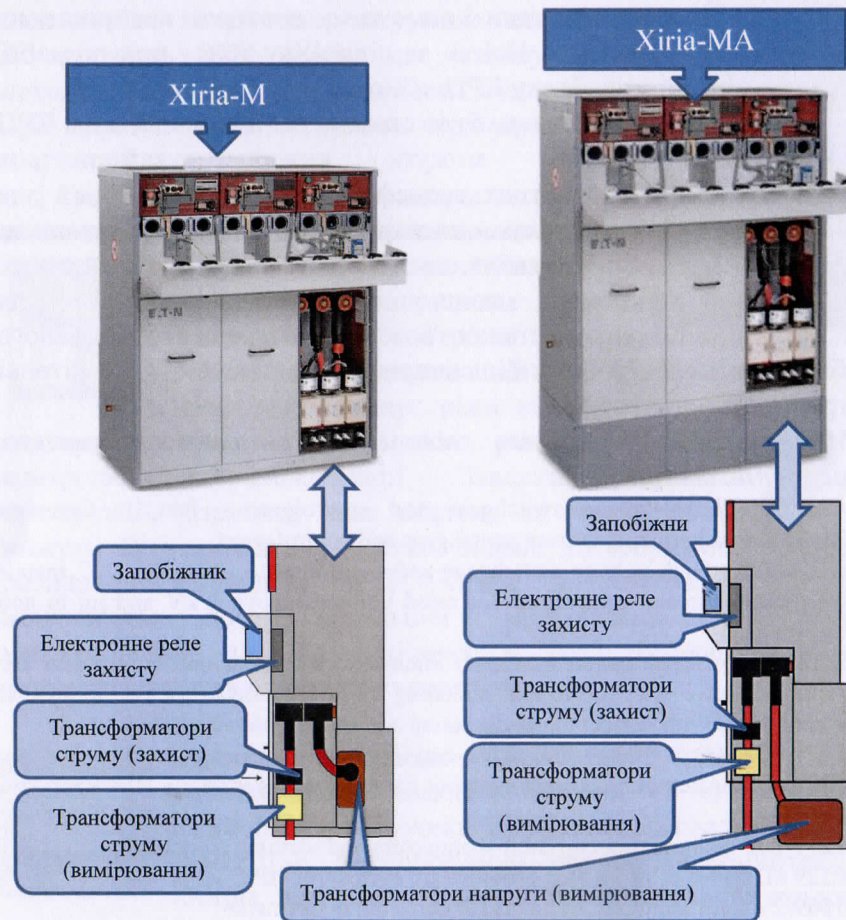


Рис.3.1.5-17

На відміну від КРП «Xiria», вони мають більш розширенні функціональні можливості за рахунок використання в їх конструкціях крім електронних реле захисту та запобіжників додаткових захисних трансформаторів струму, а також вимірювальних трансформаторів струму та напруги для обліку електроенергії.

Для цього виду КРП вимірювальні трансформатори струму для обліку електроенергії, а також додаткові захисні трансформатори струму передбачено встановлювати в крайній правій модульній секції КРП безпосередньо в кабельних відсіках навколо первинних кабелів, а вимірювальні трансформатори напруги для обліку електроенергії у задній нижній частині корпусу КРП (див. рис.3.1.5-17).

Також до складу КРП «Xiria-M» може входити і окрема додаткова вимірювальна панель у моноблочному виконанні з розташованими у її відсіках вимірювальними трансформаторами для обліку електроенергії (див. рис. 3.1.5-18).

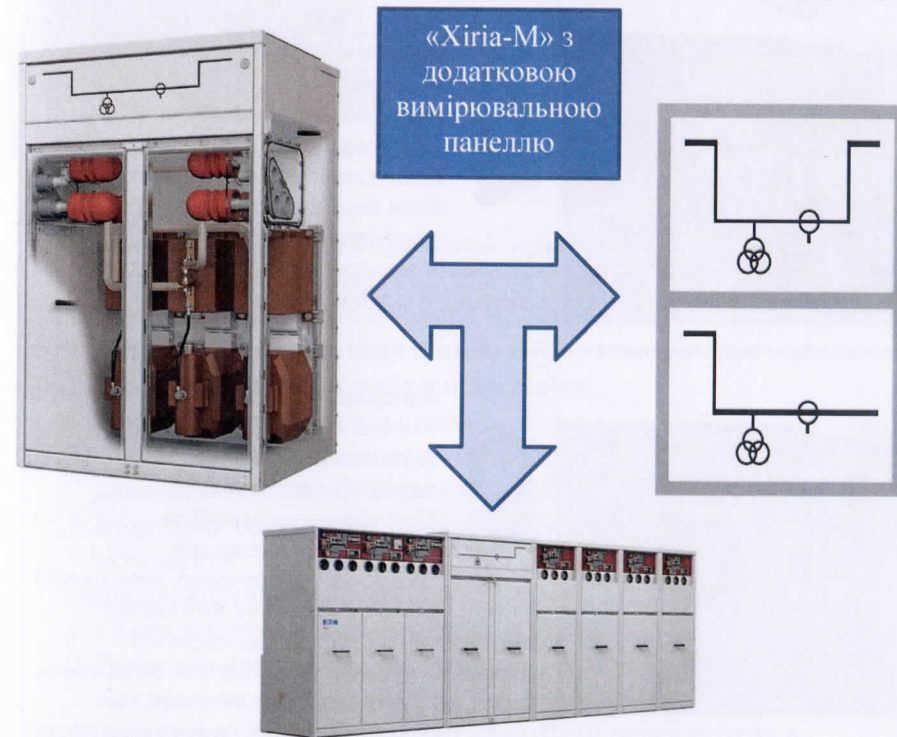


Рис. 3.1.5-18

КРП «Xiria-M» із додатковою вимірювальною панеллю рекомендовано до застосування переважно на таких об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії (див. рис. 3.1.5-2), як:

№13

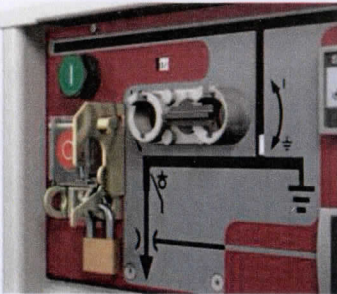
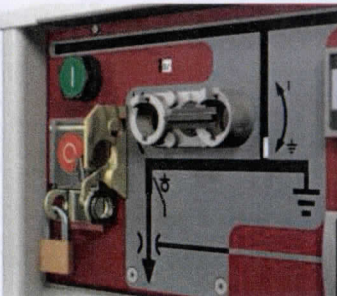
– Багатоповерхові будівлі комерційного та громадського призначення

Застосування додаткових захисних блокуючих пристроїв на панелі управління КРП «Xiria», «Xiria-M» та «Xiria-MA»

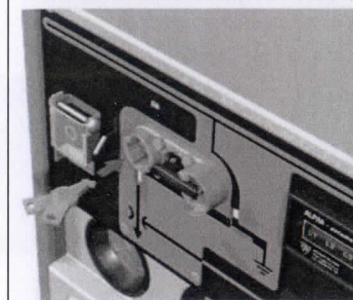
Запірні блокування

Застосовані в даних видах КРП запірні блокування органів управління приведені в таблиці 3.1.5-4.

Таблиця 3.1.5-4

Запірні блокування	Опис
	 Активне заземлене положення перемикач стану КРП або вимикача навантаження може бути заблоковано навісним замком. Це блокування може бути застосовано, коли перемикач стану КРП у «заземленому» положенні, вакуумний вимикач «УВІМКН», та двері кабельного відсіку зачинені.
	 Блокування навісним замком кнопки «OFF» («ВІМК») автоматичного вимикача чи вимикача навантаження. Це блокування запобігає несанкціонованому або мимовільному ручному вимкненню автоматичного вимикача чи вимикача навантаження. Кришку над кнопкою вимкнення не може бути піднято, доки замок блокує доступ. Однак відключення, що ініціюється захисним реле, за його наявності, залишається можливим.

Продовження табл. 3.1.5-4

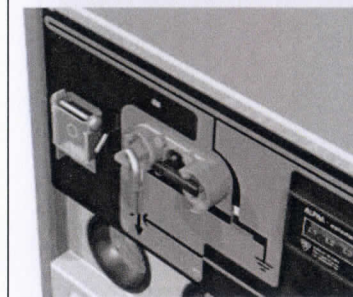


Блокування положення «OFF» («ВІКН») автоматичного вимикача чи вимикача навантаження. Це блокування може бути застосовано при знаходженні перемикача стану КРП у «шинному» чи «заземленому» положеннях. Здійснюється за допомогою



окремого приладдя (ножницька запірної скоба), яка розміщується в отворі модуля доступу

до рукоятки вакуумного вимикача і остаточно блокується за допомогою навісного замка.



Додатковий захисний замковий пристрій «Castell»

Встановлюється за дверях кабельного відсіку (див. рис. 3.1.5-19). Порядок замикавання/блокування модульної секції КРП:

1. Переключити модульну секцію КРП у положення «заземлено».
2. Зняти передні двері кабельного відсіку.
3. Вийняти ключ із замка Castell.
4. Двері кабельного відсіку не можуть бути встановлені назад доки ключ вийнятий із замка Castell.
5. Модульна секція КРП не може бути переключена у сервісне положення.

Порядок відмикання/розблокування модульної секції КРП:

1. Переключити модульну секцію КРП у положення «заземлено».
2. Вставити ключ у замок Castell.
3. Встановити передні двері кабельного відсіку.
3. Модульна секція КРП тепер може бути переключена в сервісне положення.

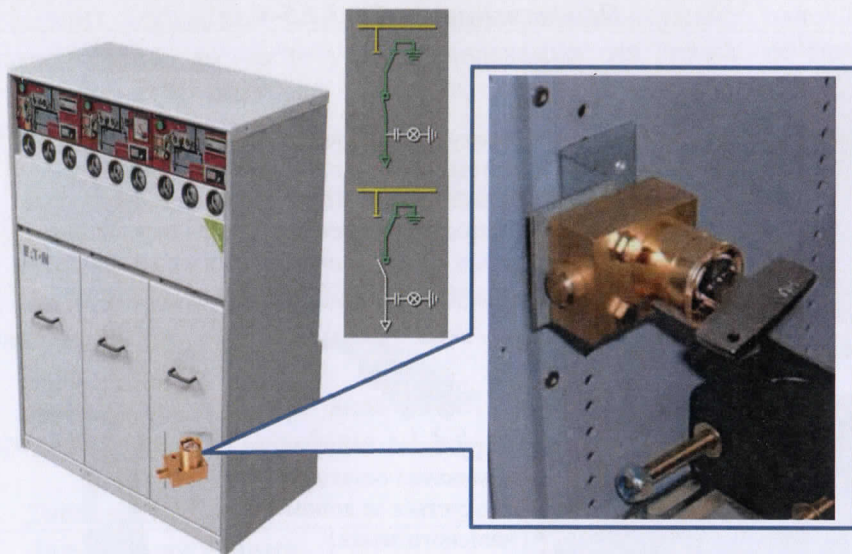


Рис. 3.1.5-19

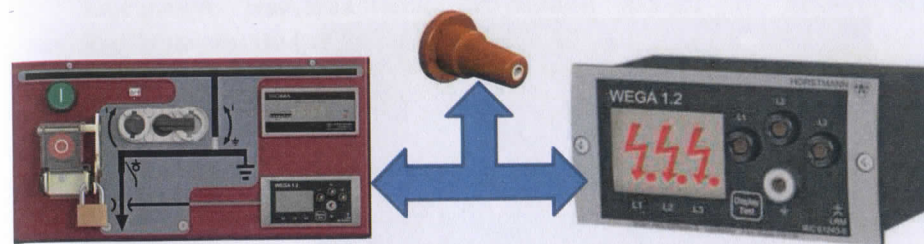
Система контролю напруги

Панель управління кожної модульної секції в КРП «Xiria», «Xiria-M» та «Xiria-MA» обладнана детектором напруги (див. рис. 3.1.5-20, а), який підключений з використанням внутрішньої проводки до ємнісних датчиків, встановлених усередині кабельних конусів. Детектор показує наявність напруги на всіх трьох фазах головного кабелю, підключеного до модульної секції КРП. Дана вбудована система контролю напруги (Horstmann: тип «WEGA 1.2») використовується у постійному режимі.

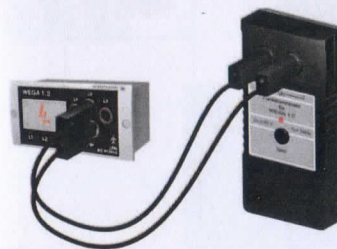
Поява на індикаторі «стрілки» означає наявність напруги (індикація спрацює у діапазоні $0,1 \dots 0,45 U_n$), а поява «точки» свідчить про те, що струм, який протікає через систему контролю, відповідає діючим вимогам для вбудованих систем контролю напруги (VDS) згідно VDE 0682, частина 415. Таким чином, здійснюється постійний моніторинг робочого стану КРП, що робить проведення його тестування під час експлуатації не обов'язковим. Відсутність будь яких символів на індикаторі означає, що КРП знаходиться у стані із вимкненими або від'єднаними полюсами.

У разі необхідності, дисплей детектора може бути попередньо частково протестований за допомогою п'єзо-кнопки на передній

панелі, а повне його тестування може бути виконано за допомогою спеціалізованого функціонального тестера (див. рис. 3.1.5-20, б).



а)



б)



в)

Рис. 3.1.5-20

Також у разі необхідності, можливо виконати порівняння фаз за допомогою зовнішнього міжфазного компаратора (наприклад, «WEGA» або «ORION 3.0» виробництва Horstmann), який може бути підключений до землі та тестової точки (система LRM). Дані тестові точки можуть бути доступні лише після зняття захисної кришки.

Системи захисту:

Модуль захисту «TLF» (Технічна специфікація ENA 12-6 випуск 1:1973). Даний модуль (див. рис. 3.1.5-21) являє собою блок запобіжників із затримкою спрацювання для використання з розчіплювачами на трансформаторах струму в автоматичних вимикачах. Захист запобіжниками із затримкою це розвиток знаменитого Клівлендського принципу відключення. У такій схемі короткі замикання у фазах і замикання на землю визначаються низьковольтними запобіжниками, які, в свою чергу, викликають команду аварійного вимикання за допомогою патентованої

електронної схеми. Це альтернатива для стандартного електронного реле захисту типу WIC1.

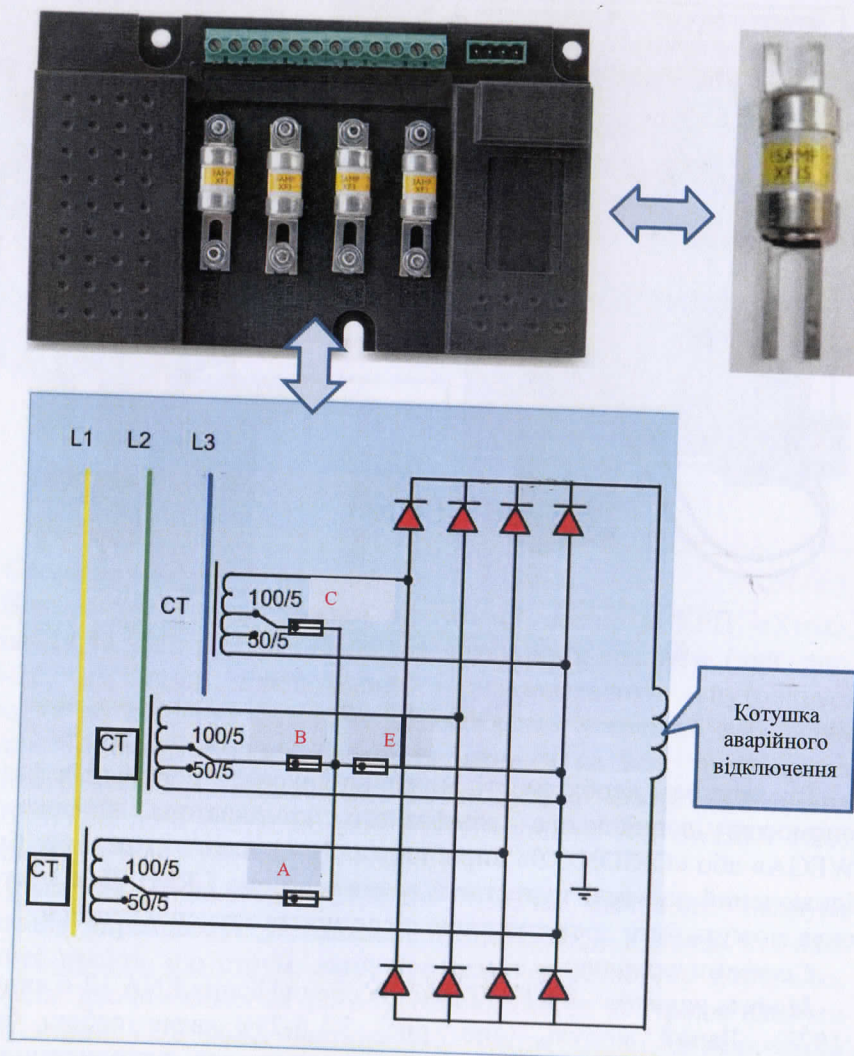


Рис. 3.1.5-21

*Примітки:

1. Запобіжники А, В, С – захист від короткого замикання;
2. Запобіжник Е – захист від замикання на землю.
3. Якщо функція захисту не потрібна, запобіжник можна замінити на перемичку.

Автоматичний вакуумний вимикач з ручним приводом і вбудованим реле захисту (тип: WIC1 та WIB1)

Забезпечує максимальний струмовий захист та захист від замикання на землю (див. рис. 3.1.5-22).

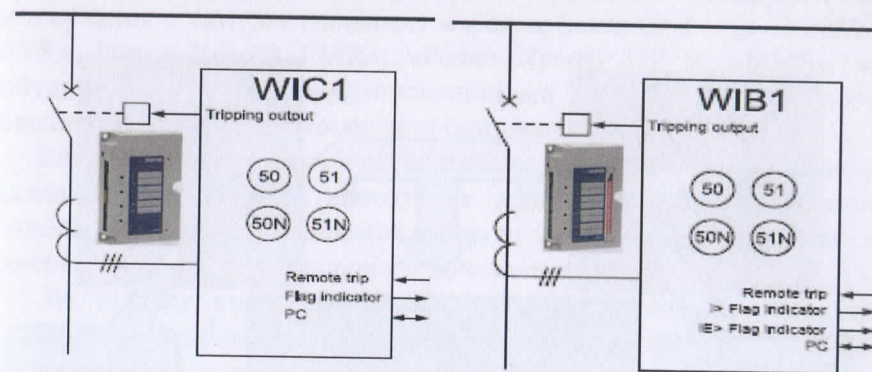


Рис. 3.1.5-22

Індикатор аварійного відключення

Додатково до реле захисту також може бути встановлений індикатор аварійного вимкнення, який має ручне скидання і монтується на панелі управління модульної секції в КРП «Xiria», «Xiria-M» та «Xiria-MA» (див. рис. 3.1.5-23).

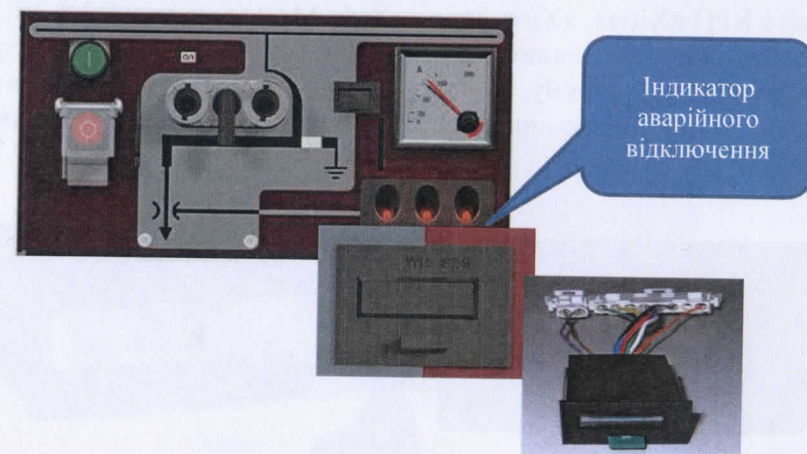


Рис. 3.1.5-23

Також, у разі необхідності, автоматичний вимикач може бути додатково оснащений амперметром (див. рис. 3.1.5-24), розташованим на передній панелі управління і підключеним до трансформатору струму в кабельному відсіку. Вимірювання сили струму можливе на фазі L2 і тільки коли підключено однофазні кабелі.

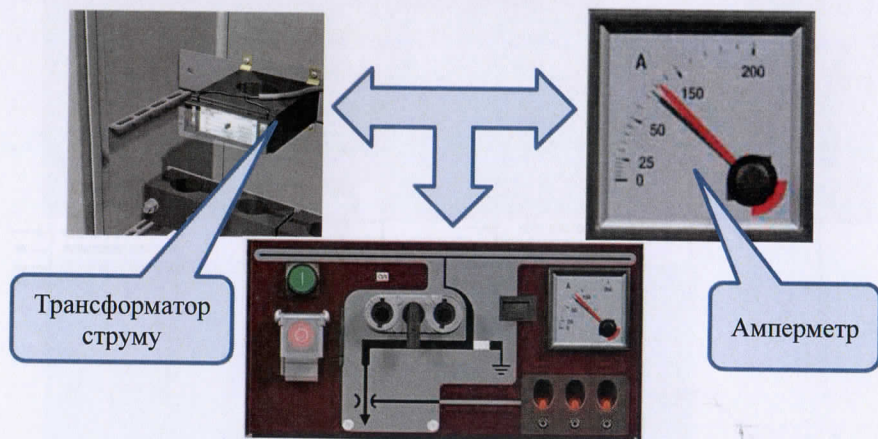


Рис. 3.1.5-24

Індикатор короткого замикання

Цей індикатор встановлюється на панелі управління модульної секції в КРП «Xiria», «Xiria-M» та «Xiria-MA» (див. рис. 3.1.5-25). Він підключений за допомогою внутрішньої проводки до трьох трансформаторів струму, встановлених на конусах високовольтних кабелів, і відображає наявність струму короткого замикання по кожній із фаз.

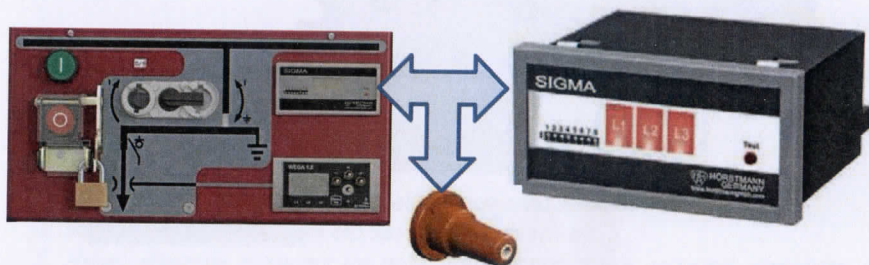


Рис. 3.1.5-25

3.1.6. Розподільні пристрої модульного типу для «інтелектуальних» мереж Smart Grid

Електротехнічна група «Eaton» пропонує широкий спектр модульних розподільних пристроїв середньої напруги для застосування в «інтелектуальних» мережах Smart Grid – це «Xiria E», «SVS», Power Xpert® FMX», «Power Xpert® UX », «MMS», які побудовані за сучасними інноваційними технологіями і мають покращені показники з екологічної безпеки.

Використання цих розподільних пристроїв забезпечує підвищення рівня ефективності та надійності роботи існуючих розподільних систем середньої напруги на діючих підстанціях як комерційного, так і промислового призначення.

На відміну від вже розглянутих у попередньому підрозділі посібника розподільних пристроїв «Magnefix», «Xiria» та «Xiria M», які лише у разі встановлення відповідного додаткового обладнання допускають можливість їх застосування в «інтелектуальних» мережах Smart Grid, вище перелічені види розподільних пристроїв вже визначально спроектовані саме для роботи в таких «інтелектуальних» розподільних мережах.

Розподільний пристрій модульного типу «Xiria E»

4 Це одна з останніх розробок електротехнічної групи «Eaton», яка була спроектована на основі модернізованих моноблоків розподільних пристроїв «Xiria» та «Xiria M» (див. рис. 3.1.6-1).



Рис.3.1.6-1

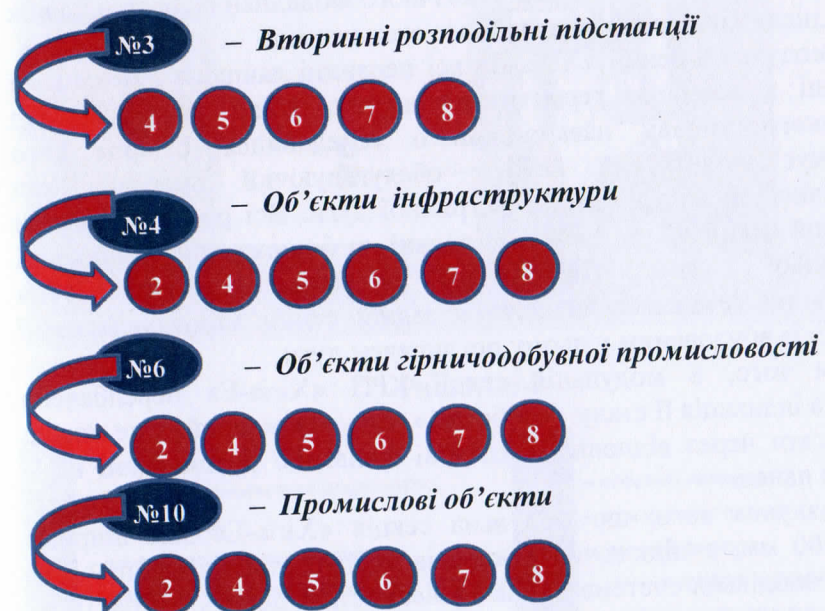
У зв'язку з тим, що окремі розподільні моноблоки «Xiria» не можуть бути з'єднані між собою, а також обмежені існуючою кількістю секцій (максимум 5 на один моноблок), додатково, з метою розширення функціональних можливостей розподільних систем комерційного та промислового призначення, була розроблена уніфікована модульна секція «Xiria-E» (або так звана «комірка»). На відмінну від моноблоків «Xiria», конструкція даної модульної секції забезпечує можливість під'єднання до неї таких же самих модульних секцій у будь-якій кількості (див. рис. 3.1.6-2), що надає можливість практично необмеженого розширення розподільної системи без будь-яких суттєвих додаткових витрат на її модернізацію.



Рис. 3.1.6-2

Вимірювальні трансформатори для обліку електроенергії можуть вбудовуватися або у стандартну модульну секцію розподільного пристрою «Xiria-E», або, у разі потреби, в окрему додаткову уніфіковану вимірювальну панель «Xiria-M», яка передбачає можливість її використання сумісно з модульними секціями «Xiria-E».

Розподільний пристрій модульного типу «Xiria-E» має максимально високий рівень безпеки та надійності і може бути легко адаптований до роботи в «інтелектуальних» мережах будь-якого типу. Він призначений для роботи в електромережах середньої напруги (робоча напруга до 24 кВ), має зручну для експлуатації уніфіковану комірчасту структуру і рекомендований до застосування переважно на наступних об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії (див. рис. 3.1.5-2):



У модульній секції розподільного пристрою «Xiria-E» використовуються вакуумні вимикачі, які не потребують обслуговування (сертифікована кількість комутацій таких вимикачів становить не менше 30 000 циклів). Застосована високоякісна твердотільна робоча ізоляція струмовідних частин, яка виготовлена з

використанням матеріалів, що мають не тільки відмінні ізоляційні властивості, а й покращенні теплові характеристики. Крім того, конструктивні особливості цієї робочої ізоляції забезпечують такий рівень електричного поля, за якого існує лише мінімальний ризик виникнення внутрішньої дуги.

За рахунок використання екологічно безпечних технологій з використанням вакуумних вимикачів та твердотільної ізоляції модульна секція «Xiria-E» відноситься до екологічно чистого обладнання. Застосування даних технологій є альтернативою тим технологіям, які передбачають використання в обладнанні розподільних систем елегазу (SF6) як ізолюючого середовища. Крім того, застосування цих технологій дозволяє не тільки істотно знизити існуючі експлуатаційні витрати, оскільки у цьому разі немає необхідності в перевірці тиску газу та проведення інших додаткових регламентних робіт, а й також виключити необхідність проведення спеціалізованої утилізації технологічного обладнання розподільних систем після закінчення терміну його експлуатації.

У модульній секції «Xiria-E» всі первинні ланцюги і механізми поміщені в повністю герметичний корпус, який захищає їх від негативного впливу навколишнього середовища, і крім того забезпечує додатковий захист обслуговуючий персонал від небезпечної дії внутрішньої електричної дуги. Всі робочі елементи модульній секції «Xiria-E» протестовані на безпеку при виникненні внутрішньої дуги. Передбачена можливість встановлення додаткового металевого каналу на задній стінці модульної секції «Xiria-E» із вбудованим у ньому поглиначем дуги.

Крім того, в модульній секції КРП «Xiria-E» передбачена візуальна індикація її стану («робочий» або «заземлений»), це можна спостерігати через відповідні оглядові вікна, що розташовані на її передній панелі.

За рахунок того, що модульна секція «Xiria-E» має ширину всього 500 мм, а підключення кабелів здійснюється з фронту цієї секції, розподільна система «Xiria-E» вважається досить компактною і зручною в обслуговуванні, і може бути встановлена навіть в обмеженому просторі.

Базова конструкція модульної секції «Xiria-E» з автоматичним вимикачем

Основною особливістю модульної секції «Xiria-E» (див. рис. 3.1.6-3) є те, що вона може бути легко доповнена однією або

декількома такими ж секціями для забезпечення необхідних параметрів розподільної системи, при цьому ця система може бути побудована за будь-якою довільною комбінацією та послідовністю розташування секцій.

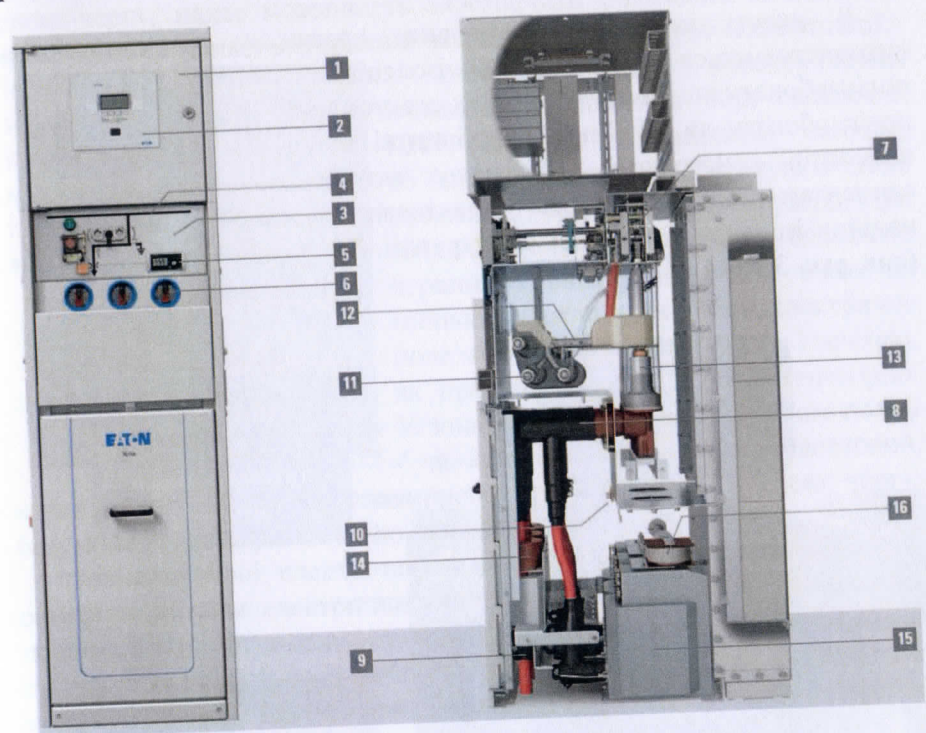


Рис. 3.1.6-3

- | | |
|----------|--|
| № | |
| 1 | — відсік низьковольтний апаратури; |
| 2 | — захисне реле; |
| 3 | — панель управління з механічним приводом для автоматичного вимикача та двопозиційного перемикача стану КРП; |
| 4 | — мнемосхема; |
| 5 | — система індикації напруги; |
| 6 | — оглядові вікна; |
| 7 | — механічний привід; |
| 8 | — кабельні конуси; |

- | | |
|----------|--|
| № | |
| 9 | — кабельні затискачі; |
| 10 | — заземлююча шина; |
| 11 | — головні шини; |
| 12 | — двопозиційний перемикач стану КРП («робочий» та «заземлений»); |
| 13 | — вакуумна камера; |
| 14 | — трансформатори струму; |
| 15 | — трансформатори напруги (ТН); |
| 16 | — котушка та резистор для захисту ТН від ферорезонансу. |

Захист від внутрішньої дуги

У КРП «Xiria-E» передбачено застосування твердотільної ізоляції струмовідних частин, вакуумної технології, контролю електричного поля, а також захист трансформаторів напруги від ферорезонансу.

В якості ізоляції струмовідних частин у КРП «Xiria-E» використовується високоякісний ізоляційний матеріал на основі полікарбонату та термопластичних еластомерів (ТРЕ). Використання полікарбонату та ТРЕ при виробництві твердотільних ізоляційних елементів конструкції КРП надає можливість надавати цим елементам таку форму, яка гарантовано забезпечує одночасно і надійну ізоляцію, і міцність конструкції, і оптимальне охолодження (див. рис. 3.1.6-4).

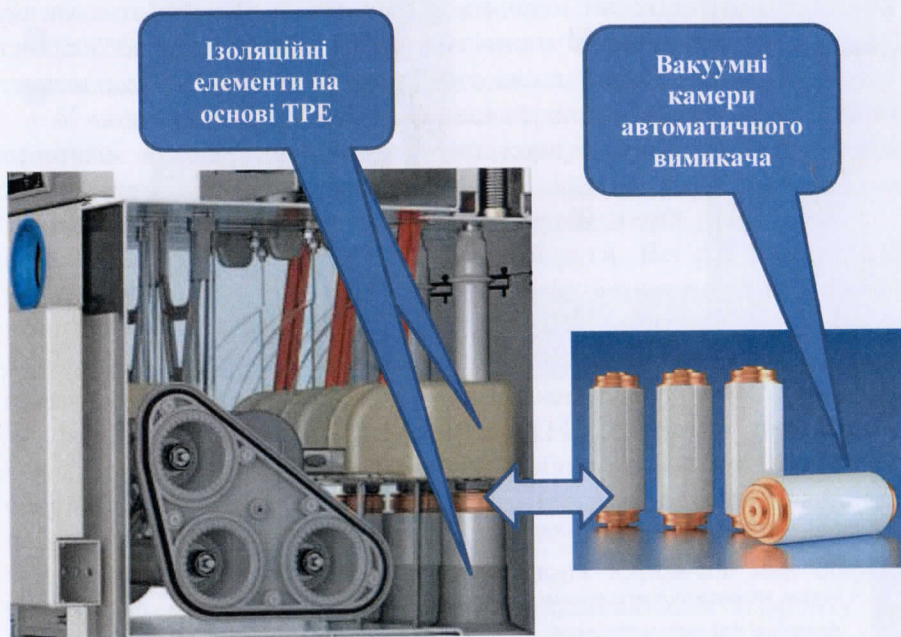
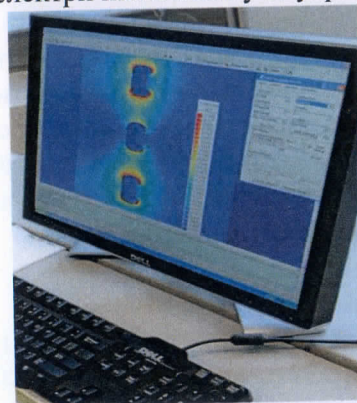


Рис. 3.1.6-4

Запропоновані електротехнічною групою «Eaton» інноваційні технології дозволяють вбудовувати провідники та вакуумні камери вимикачів безпосередньо в литі частини ізоляційних елементів конструкції, форми яких оптимізовано за таким параметрами, як

надійність ізоляції, міцність конструкції, а також здатність до охолодження. Застосування цих технологій надає можливість створювати оптимальні з точки зору розподілу електричного поля форми та конструкції всіх основних ізоляційних елементів, що, в свою чергу, надає можливість забезпечити оптимальний контроль електричного поля у внутрішній частині КРП при його експлуатації.



Розробка та конструювання ізоляційних елементів всіх складових КРП вимагає проведення значних об'ємів досліджень та розрахунків щодо оптимізації їх форм та конструкцій. При звичайній формі ізоляційних елементів первинних електричних кіл, таких як головні шини та провідники, електричне поле між фазами та між фазою і землею, як правило, розподілено нерівномірно. У зонах із сильним електричним полем будь-який пробій, навіть частковий, може викликати процес лавинного пробію, а це, в свою чергу, безумовно може призвести до виникнення електричної дуги.

Запропоновані електротехнічною групою «Eaton» технології в сфері управління електричним полем та проведені фундаментальні дослідження і отриманні знання в цій сфері, дозволили створити сучасні компактні конструкції КРП, які дозволяють максимально знизити ризики виникнення внутрішньої електричної дуги та забезпечити високий рівень експлуатаційної безпеки КРП.

Вакуумні камери, які використовуються в двопозиційних перемикачах та в автоматичних вимикачах КРП «Xiria-E» (див. рис. 3.1.6-4) виконані за інноваційними технологіями. Сама камера являє собою керамічний циліндр, в якому розташовані нерухомий та рухомий контакти. Рух контакту в умовах вакууму здійснюється за допомогою мембран. Екран навколо контактів запобігає забрудненню ізоляторів парами металу, що виникають під час переривання струму. Цей екран також забезпечує необхідний розподіл потенціалу навколо ізолятора. Технологія «дифузного» процесу гасіння дуги, що використовується, дозволяє отримувати під час розмикання струму не одну, а одразу велику кількість паралельних дуг між контактами (розсіяний ряд дуг). Ця технологія характеризується дуже низькою напругою дуги і коротким часом її існування, що значно зменшує

енергію дуги під час розмикання, і таким чином мінімізує зношування контактів у вакуумній камері, яке по суті практично майже відсутнє. Завдяки цьому, такі вакуумні камери не вимагають обслуговування та сертифіковані на більш ніж 3×10^4 робочих циклів при номінальних значеннях робочих струмів. Все це дозволяє забезпечити максимально високі експлуатаційні показники КРП «Xirga-E» (надійність, компактність, безпека).

Додатковим заходом щодо захисту від внутрішньої дуги є захист трансформаторів напруги від ферорезонансу, який може викликати пошкодження трансформаторів напруги і, в результаті, привести до виникнення дуги в розподільчому пристрої. Здійснюється такий захист завдяки встановленню додаткових резисторів та котушок в електричних колах трансформаторів напруги (див. рис. 3.1.6-3).

Основні компоненти КРП

Вакуумний автоматичний вимикач

Вакуумний автоматичний вимикач використовує простий і надійний пружинний механізм для управління вакуумною камерою (див. рис. 3.1.6-5, а). Механізм містить невелику кількість рухомих частин і не використовує мастильні матеріали. Він розташований у герметичному відсіку корпусу модульної секції КРП і не потребує обслуговування протягом всього терміну експлуатації.

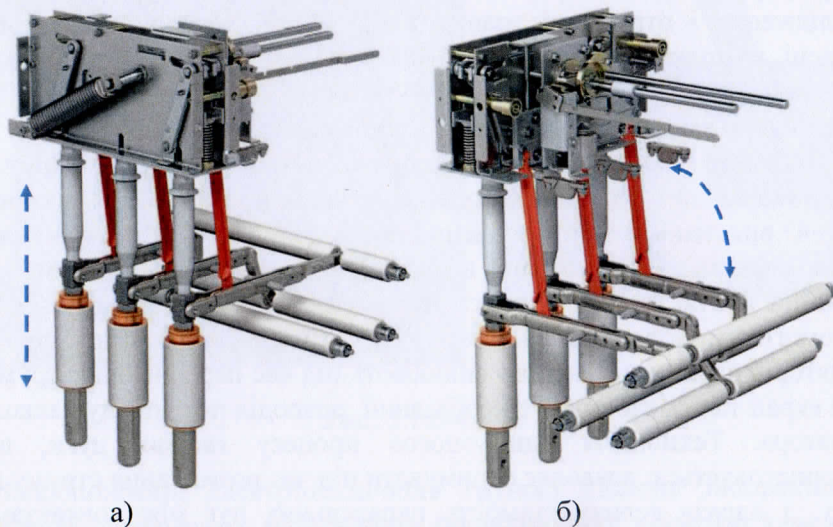


Рис. 3.1.6-5

Основні особливості даної конструкції автоматичного вимикача:

- немає необхідності у застосуванні елегазу (SF_6);
- простий, компактний та надійний пружинний механізм;
- не потребує застосування мастильних матеріалів;
- розміщується в герметичному відсіку корпусу модульної секції КРП;
- передбачена можливість ручного управління або управління за допомогою електроприводу;
- забезпечена можливість індикації положення комутуючих елементів за допомогою мнемосхеми та за допомогою візуальної індикації через оглядові вікна;
- має додаткові контакти для сигналізації положення «Розімкнено/Замкнуто».

Двопозиційний перемикач стану КРП

Двопозиційний перемикач, розташований у тому ж герметичному відсіку корпусу модульної секції КРП, що і автоматичний вимикач (див. рис. 3.1.6-5, б). Перемикання двопозиційного перемикача стану КРП здійснюється за допомогою трьох рухомих штанг, які або з'єднані із силовими шинами або із заземлюючою шиною. Двопозиційний перемикач стану КРП механічно заблоковано з автоматичним вимикачем. Це зроблено для того, щоб ним можна було користуватися лише тоді, коли вакуумний вимикач знаходиться у положенні «Розімкнуто».

Основні особливості конструкції двопозиційного перемикача стану КРП:

- ручне перемикання між двома положеннями стану КРП: «Робочий» або «Заземлений»;
- не потребує обслуговування;
- розміщується у герметичному відсіку корпусу модульної секції КРП;
- має додаткові контакти для сигналізації стану КРП: «Робочий» або «Заземлений»;
- забезпечена можливість індикації положення комутуючих елементів за допомогою мнемосхеми та за допомогою візуальної індикації через оглядові вікна;
- здійснене механічне блокування з вакуумним вимикачем.

Силові шини

Силові шини розташовані у тому ж самому відсіку герметичного корпусу, що й вакуумний вимикач та двопозиційний перемикач, і для

запобігання можливості появи внутрішньої дуги всі вони мають пофазну ізоляцію (див. рис. 3.1.6-6).

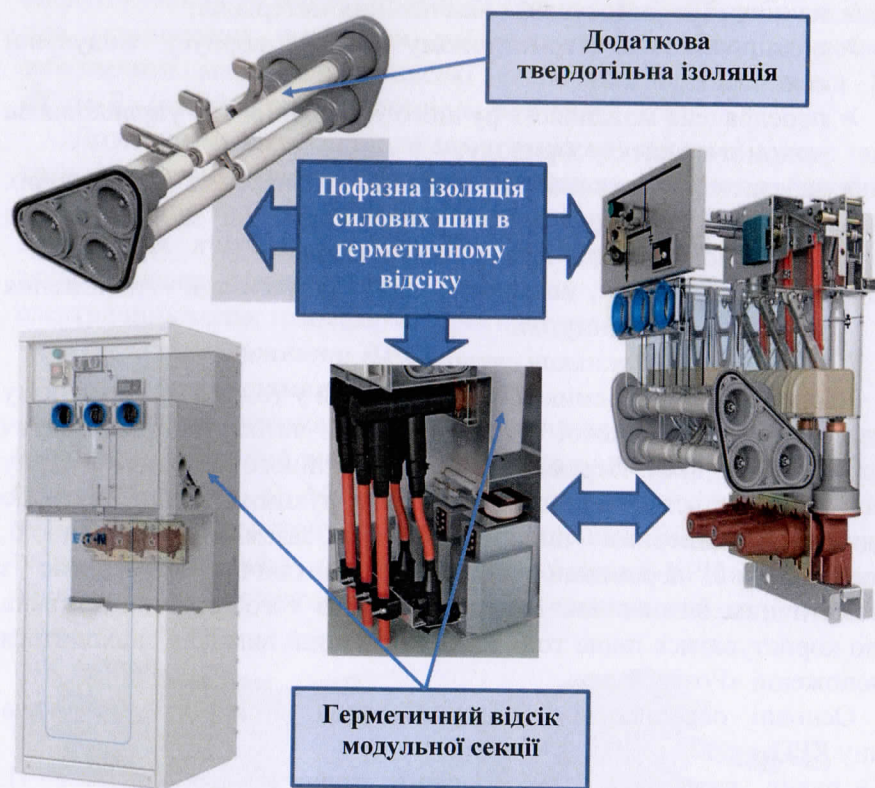


Рис. 3.1.6-6

Основні особливості конструкції силових шин:

- пофазна ізоляція;
- наявність повітряної і додаткової твердотільної ізоляції;
- розташування у герметичному корпусі;
- надійність та простота конструкції;
- максимально спрощене приєднання силових шин інших модульних секцій КРП.

Контроль внутрішньої дуги та існуючі системи захисту

Внутрішня дуга в розподільному пристрої, зазвичай, супроводжується цілою низкою дуже небезпечних та шкідливих

факторів. У першу чергу, це утворення газів та надмірне різке підвищення їх тиску з подальшим вихлопом назовні, а також поява полум'я та диму.

Завдяки особливостям конструкції модульної секції та застосуванню технологій вакуумної та твердотільної ізоляції, КРП «Xiria-E» має мінімальний вплив на навколишню середовище у разі виникнення внутрішньої дуги.

Вплив внутрішньої дуги може бути двояким – це внутрішній вплив у самому розподільному пристрої, а також зовнішній вплив на оточуюче середовище. Надмірний тиск, викликаний внутрішньою дугою в стандартному розподільному пристрої, може бути виведений з нього за допомогою скидного каналу тиску. Цей канал зазвичай є додатковим відсіком, який значно збільшує загальні розміри розподільного пристрою. Також може бути встановлений складний і, зазвичай, достатньо коштовний дуговий канал, який виводить небезпечні фактори дуги назовні, наприклад, у сусіднє приміщення.

Для підвищення рівня безпеки експлуатації КРП серії «Xiria», їх конструкції були розроблені таким чином, щоб значно зменшити обидва ці впливи. На рис. 3.1.3.6-7 приведені рекомендовані електротехнічною групою «Eaton» можливі варіанти виконання систем контролю та захисту від внутрішньої дуги.

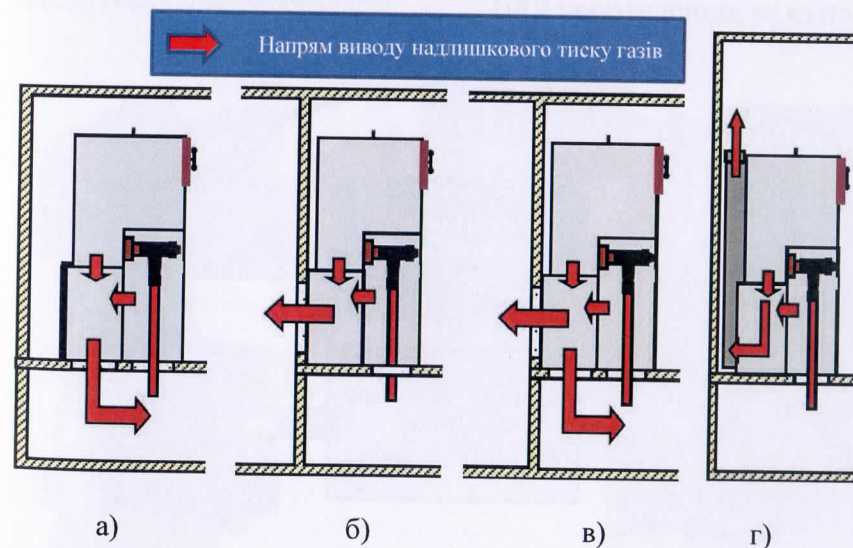


Рис. 3.1.6.-7

1 варіант (рис. 3.1.6.-7, а) – відсутність задніх дугових каналів, задня сторона закрита панеллю, дуговий канал доступний під фальш-підлогою;

2 варіант (рис. 3.1.6.-7, б) – відсутність дугового каналу під фальш-полом; задній дуговий канал доступний у суміжному приміщенні;

3 варіант (рис. 3.1.6.-7, в) – задній дуговий канал доступний у суміжному приміщенні, дуговий канал доступний під фальш-підлогою;

4 варіант (рис. 3.1.6.-7, г) – немає дугового каналу під фальш-полом та в суміжному приміщенні, гасіння дуги через задній канал та адсорбентний лабіринт.

КРП серії «Xiria» були розроблені відповідно до загальних рекомендацій IEC 62271-200 щодо запобіганню появи небезпек для обслуговуючого персоналу під час дугового розряду у щитовому обладнанні розподільних систем. Ці пристрої забезпечені відкидними кришками або захисними мембранами для скидання тиску у разі вихлопів з нижньої та/або задньої сторони КРП. Також додатково можуть бути встановлені дугостійкі кабельні відсіки, а у разі, коли в будівлі недоступні дугові канали, то КРП можуть бути оснащені додатковим, поглинаючим тиск каналом (див. рис.3.1.6-8), який монтується на задній частині КРП.



Рис. 3.1.6-8

Додатковий канал поглинає надмірний тиск вихлопу газів дуги, чим значно зменшує як внутрішній вплив дуги у відсіку головних шин, так і зовнішній вплив дуги на навколишнє середовище, в якому працює обслуговуючий персонал. Поглинаючі керамічні блоки з еквівалентною поглинаючою поверхнею 9 м^2 значно зменшують не тільки тиск вихлопу газів, а й можливий вихід вогню.

Також в КРП «Xiria-E», завдяки застосуванню пофазної ізоляції, практично виключені ризики виникнення дуги при міжфазних коротких замиканнях, що, безумовно, також сприяє зменшенню як внутрішнього, так і зовнішнього впливу дуги, оскільки її виникнення у цьому разі можливо лише при однофазних коротких замиканнях.

Візуальний контроль за положенням робочих елементів комутуючих пристроїв КРП

Застосування оглядових вікон на панелі управління КРП «Xiria-E» (див. рис. 3.1.6-9) дозволяє обслуговуючому персоналу безпосередньо здійснювати візуальний контроль фактичного положення робочих елементів комутуючих пристроїв КРП (перемикача стану КРП та автоматичного вимикача) та перевіряти наявність або відсутність заземлення. Застосування такої візуальної індикації значно підвищує рівень експлуатаційної безпеки КРП і сприяє мінімізації ризиків щодо отримання електротравм обслуговуючим персоналом.

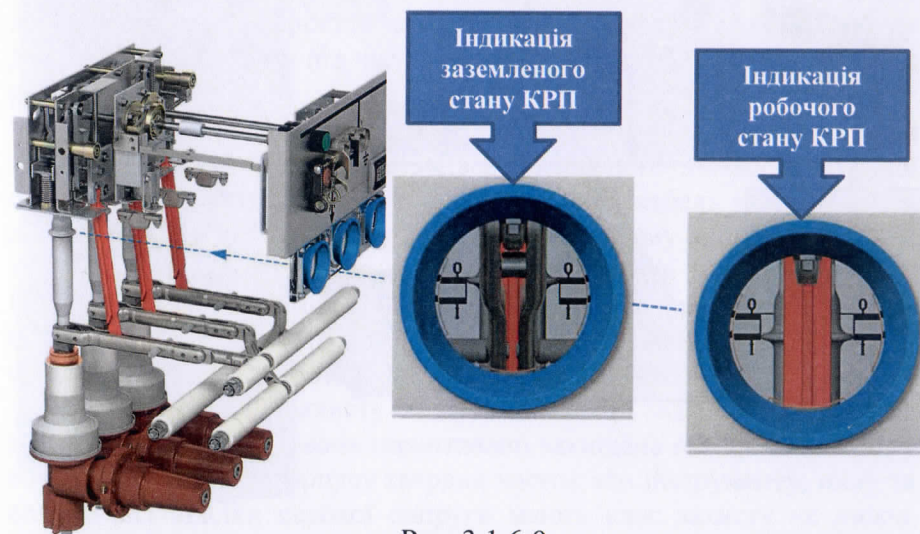


Рис. 3.1.6-9

Системи управління, контролю, захисту та сигналізації

Обладнання даних систем розміщується у відсіку низької напруги модульної секції КРП «Xiria-E» (див. рис.3.1.6-10). Цей відсік повністю відокремлений і має власні дверцята для доступу. На панелі управління модульної секції розташовані органи керування, мнемосхема, модуль доступу до ручного управління перемикачем стану КРП і автоматичним вимикачем за допомогою спеціалізованого ключа-рукоятки, а також, в залежності від обраної конфігурації КРП, пристрої визначення та вимірювання напруги, струму тощо. Кожна модульна секція «Xiria-E» в обов'язковому порядку обладнана стандартною системою індикації напруги згідно з вимогами IEC 61243-5.

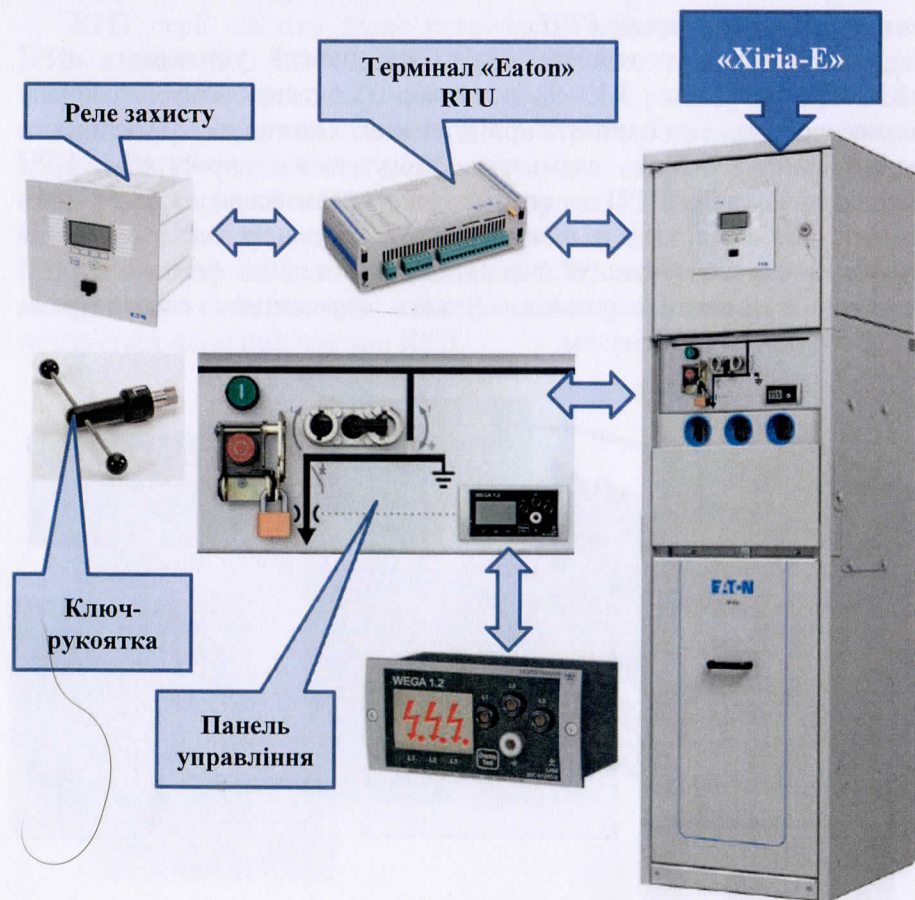


Рис. 3.1.6-10

Дистанційне управління, контроль, захист та сигналізація

Застосування ІТ-технологій у системах управління, контролю, захисту та сигналізації КРП «Xiria-E» забезпечують можливість:

- дистанційного управління та контролю параметрів;
- дистанційної сигналізації та захисту;
- застосування в «інтелектуальних» мережах Smart Grid.

В якості обладнання для дистанційного управління, контролю, захисту та сигналізації, а також дистанційного зв'язку з діючими системами автоматизації в «інтелектуальних» мережах SmartGrid використовується термінал «Eaton» RTU, який встановлюється у відсік низької напруги (див. рис. 3.1.6-10). Застосування даного обладнання сумісно з КРП «Xiria-E» є чудовим рішенням для поточних та майбутніх застосувань SmartGrid.

Блокуючі пристрої захисту

Використані в конструкції модульної секції КРП «Xiria-E» механічні та електричні пристрої блокування і системи захисту виключають можливість помилкових дій персоналу (оператора) під час монтажу, налагоджування та експлуатації КРП. Наприклад, їх застосування гарантовано виключає можливість комутації перемикача стану КРП, якщо автоматичний вакуумний вимикач знаходиться в положенні «Увімкнено». Усі механічні блокування влаштовані так, що вони безпосередньо блокують робочі елементи комутаційних пристроїв, а також гарантовано виключають можливість помилкових дій персоналу та несанкціонованого доступу до органів управління під час виконання монтажних та регламентних робіт.

Перемикач КРП у робоче становище можливе тільки при закритому кабельному відсіку. Двері кабельного відсіку модульної секції можуть бути відкриті тільки тоді, коли кабель заземлений за допомогою перемикача стану КРП. Тільки у цьому випадку можливо зняти двері для тестування кабелю. Переключити модульну секцію КРП у робоче положення при знятих дверях кабельного відсіку неможливо, для цього потрібно попередньо встановити їх на місце і обов'язково закрити кабельний відсік модульної секції.

Що стосується захисту модульної секції КРП «Xiria-E» від зовнішніх впливів, то вона гарантовано захищена від проникнення у внутрішню частину корпусу твердих часток або інструменту, пилу та вологи (всі відсіки високої напруги мають клас захисту не нижче IP55).

Варіанти виконання панелей щитового обладнання «Xiria-E»

Для забезпечення розширених функціональних можливостей діючих розподільних систем середньої напруги та забезпечення необхідного рівня їх експлуатаційної безпеки, електротехнічна група «Eaton» розробила широкий спектр можливих варіантів виконання панелей щитового обладнання «Xiria-E». Основний варіант виконання панелі з автоматичним вакуумним вимикачем, а також варіант окремої панелі для вимірювання та обліку приведені на рис. 3.1.6-11, а інші можливі варіанти на рис. 3.1.6-12.

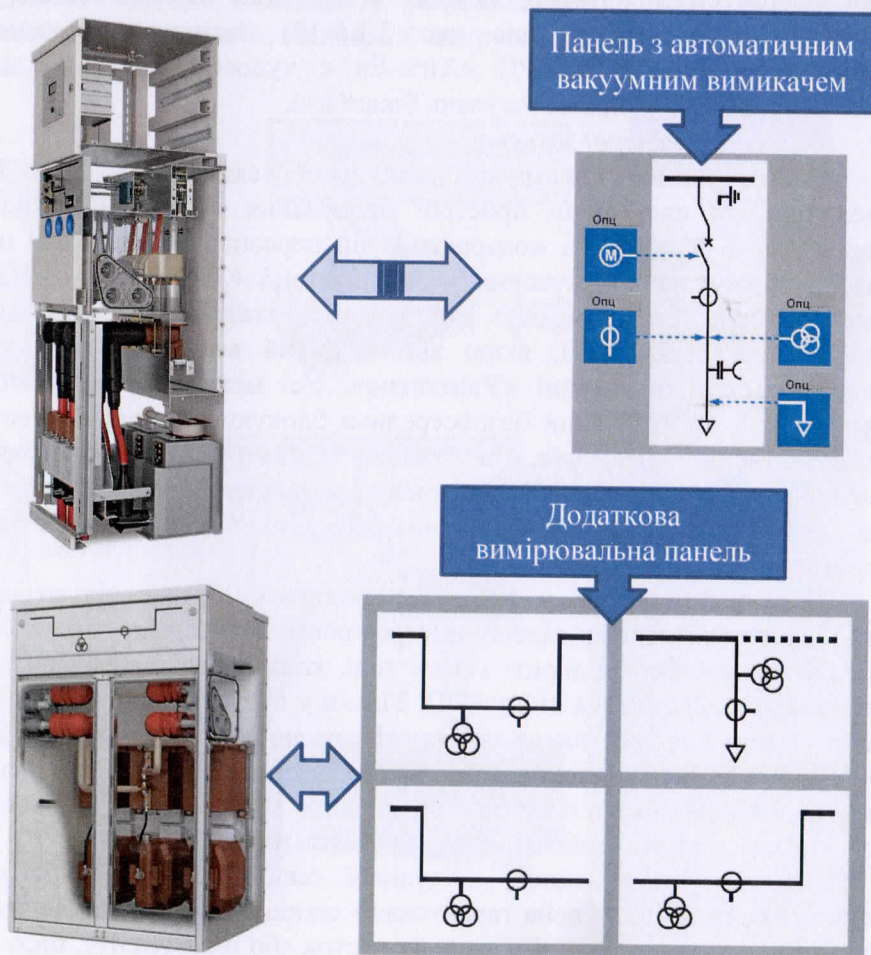
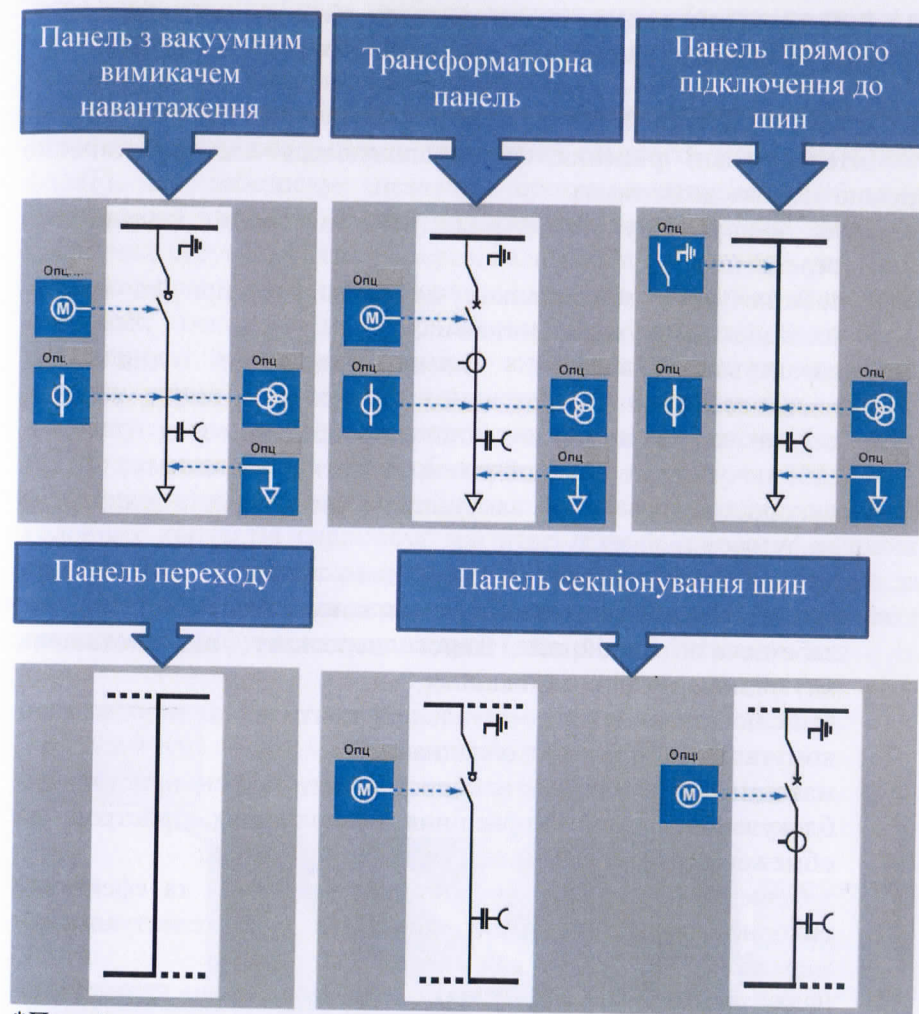
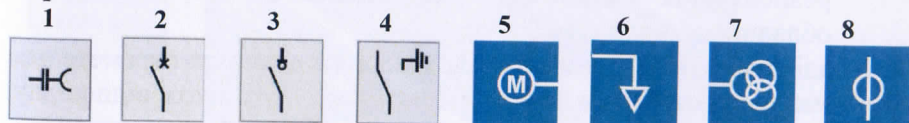


Рис. 3.1.6-11



*Примітки:



1 – автоматичний вимикач; 2 – вимикач навантаження; 3 – двопозиційний перемикач; 4 – управління мотор-приводом; 5 – другий кабель; 6 – ємнісний датчик напруги; 7 – трансформатор напруги; 8 – трансформатор струму.

*Синім кольором помічено обладнання, яке встановлюється лише як додаткова опція.

Рис. 3.1.6-12

3.1.7. Новітні інноваційні конструктивні рішення та технології в сфері безпеки експлуатації розподільних систем середньої напруги

Інтелектуальні рішення, які пропонуються електротехнічною групою «Eaton» дозволяють:

- не використовувати елегаз (SF_6) в якості ізоляційного середовища;
- забезпечувати максимально компактні розміри та високу надійність вакуумних вимикачів;
- гарантувати високий рівень надійності під'єднань високовольних кабелів та їх живлення, а також високий ступінь захисту кабельних ліній та трансформаторів;
- забезпечувати необхідний рівень селективного захисту;
- використовувати у вакуумних вимикачах технологію дифузного гасіння дуги;
- здійснювати контроль електричного поля та мінімізувати ризики виникнення перенапруг при комутаціях;
- забезпечити надійний захист персоналу від можливих внутрішніх дугових замикань;
- здійснювати надійний візуальний контроль за положенням комутаційних елементів обладнання;
- максимально ефективно використовувати захисні пристрої для блокування органів управління розподільних пристроїв та обмеження доступу персоналу у небезпечні зони;
- забезпечувати надійне дистанційне управління та ефективне використання розподільних пристроїв в «інтелектуальних» мережах;
- налаштовувати та зчитувати параметри реле захисту в розподільних пристроях за допомогою комп'ютерного обладнання;
- здійснювати ефективний контроль за робочими параметрами напруг та струмів в розподільних системах, а також відповідну індикацію коротких замикань;
- вести тарифний облік електроенергії тощо.

Конструктивні рішення та технології, які використовуються у розподільних пристроях «Eaton» для мереж середньої напруги гарантують максимально високий рівень безпеки для обслуговуючого

персоналу та надійність роботи діючих розподільних систем і їх екологічну безпеку.

Інноваційні вакуумні камери (AMF)

Вимикачі розподільних пристроїв серії «Xiria» оснащуються інноваційними вакуумними камерами осьового магнітного поля (AMF), що забезпечує незначну ерозію контактів та відмінну розмикаючу здатність як при низьких, так і при високих значеннях аварійних струмів. Незначна ерозія контактів робить цей тип камер особливо придатними для використання у герметичних та невисувних системах, оскільки при їх застосуванні, відпадає потреба у необхідності періодичної заміни вимикачів протягом існуючого терміну служби розподільних пристроїв, що, безумовно, значно покращує експлуатаційні характеристики останніх і робить їх такими, що не вимагають будь-якого обслуговування.

Присутність підковоподібного залізного шару всередині головних контактів спрямовує магнітне поле в осьовому напрямку між контактами під час розриву струму короткого замикання, що дає можливість здійснювати переривання струму короткого замикання за технологією дифузного гасіння дуги (див. рис.3.1.7-1).

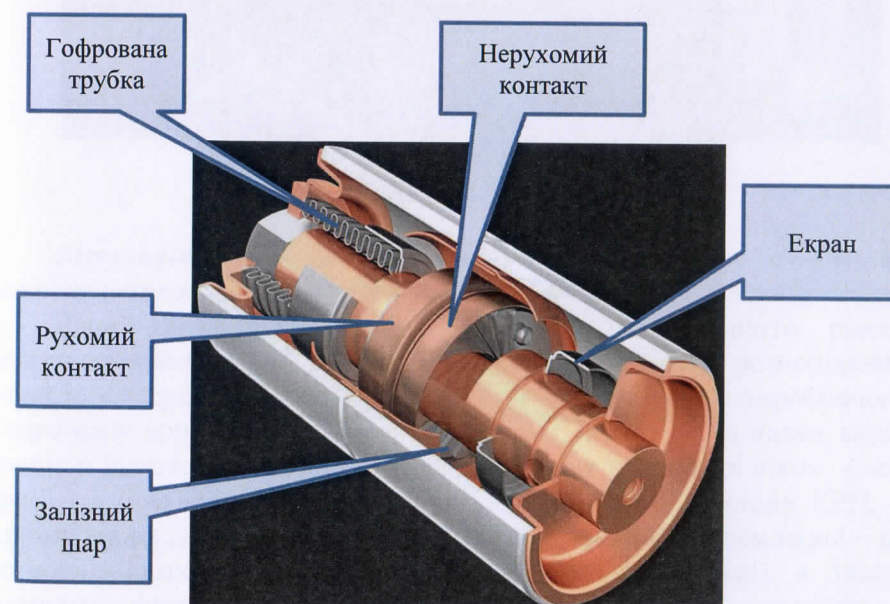
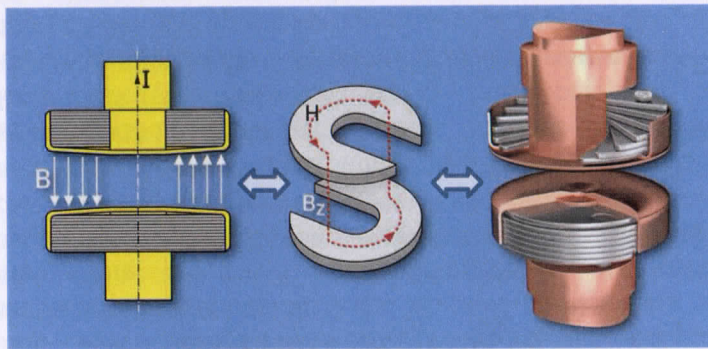
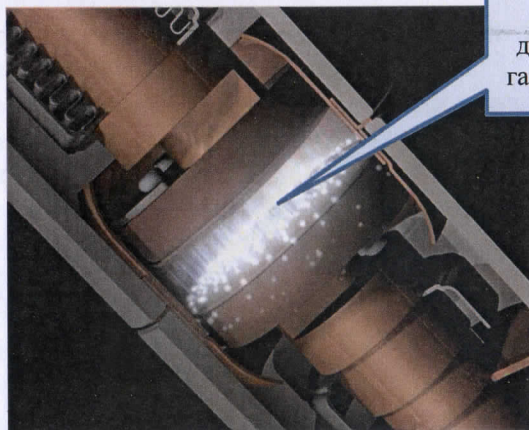


Рис. 3.1.7-1

Поверхня головних контактів виконана зі сплаву міді та хрому, що запобігає виникненню перенапруги при комутації, а магнітне поле, що спрямоване в осьовому напрямку завдяки застосуванню підковоподібного залізного шару (див. рис. 3.1.7-2, а), сприяє процесу розподілу енергії дуги на безліч низько-енергетичних розрядів (див. рис. 3.1.7-2, б).



а)



б)

Рис. 3.1.7-2

Застосування у вимикачах розподільних пристроїв вакуумних камер осьового магнітного поля (AMF) дозволяє забезпечити:

- понад 30 000 комутацій при номінальних значеннях струмів;
- не менше 100 комутацій при протіканні аварійних струмів;
- відсутність перенапруг при комутації.

Вакуумні технології, як альтернатива застосування в якості ізоляційного середовища елегазу (SF_6)

Не використання у вакуумних камерах (див. рис. 3.1.7-3) елегазу (SF_6) в якості ізоляційного середовища дозволяє:

- покращити ремонтпридатність вимикачів;
- відмовитися від постійного контролю робочого тиску елегазу та необхідності періодичної його дозаправки;
- забезпечити більш високий рівень експлуатаційної надійності вимикачів;
- виключається необхідність проведення спеціалізованого виду утилізації в кінці їх життєвого циклу (Київський протокол);
- розширити діапазон робочих температур;
- підвищити рівень безпеки експлуатаційного персоналу.



Рис. 3.1.7-3

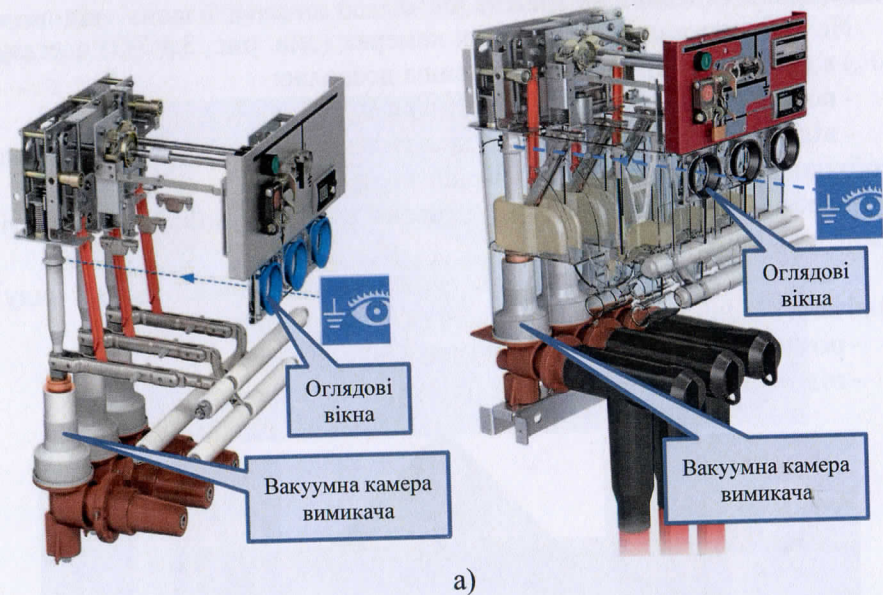
Візуальний контроль за положенням робочих елементів комутуючих пристроїв КРП серії «Xiria»

Даний вид контролю дозволяє значно підвищити рівень експлуатаційної безпеки існуючих модифікацій розподільних пристроїв серії «Xiria» і гарантує мінімальні ризики для виробничого персоналу при проведенні монтажних, регламентних та інших видів робіт в процесі їх експлуатації. Застосування оглядових вікон (див. рис. 3.1.7-4) дозволяє провести візуальний контроль стану КРП, в якому він на даний момент знаходиться (робочий або заземлений – це основні; вимкнений або нейтральний – це допоміжні), а також оцінити фактичне положення його комутуючих елементів і перевірити наявність або відсутність заземлення. Для всіх існуючих

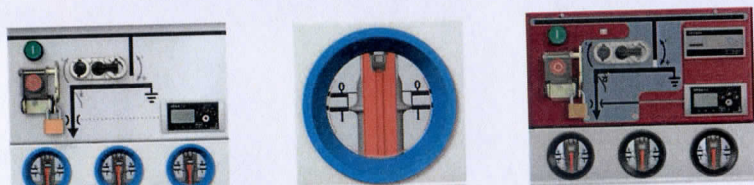
модифікацій КРП «Хірія», візуальна індикація робочого, заземленого та інших станів КРП є ідентичною (див. рис. 3.1.7-4, б).

Робочий стан КРП

Заземлений стан КРП



Індикація заземленого стану КРП



Індикація робочого стану КРП

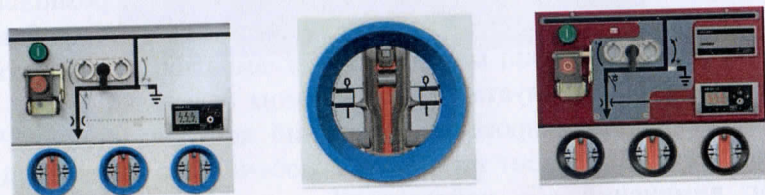


Рис. 3.1.7.4

Діючі алгоритми встановлення робочого, вимкненого, нейтрального або заземленого стану КРП шляхом зміни режимів роботи комутуючих пристроїв (перемикача стану КРП та вакуумного вимикача) і їх взаємозв'язок з індикацією на мнемосхемі панелі управління КРП, фактичним положенням комутуючих елементів перемикача стану КРП та вакуумного вимикача, а також візуальною індикацією, яка здійснюється за допомогою оглядових вікон, приведений на рис. 3.1.7-5.

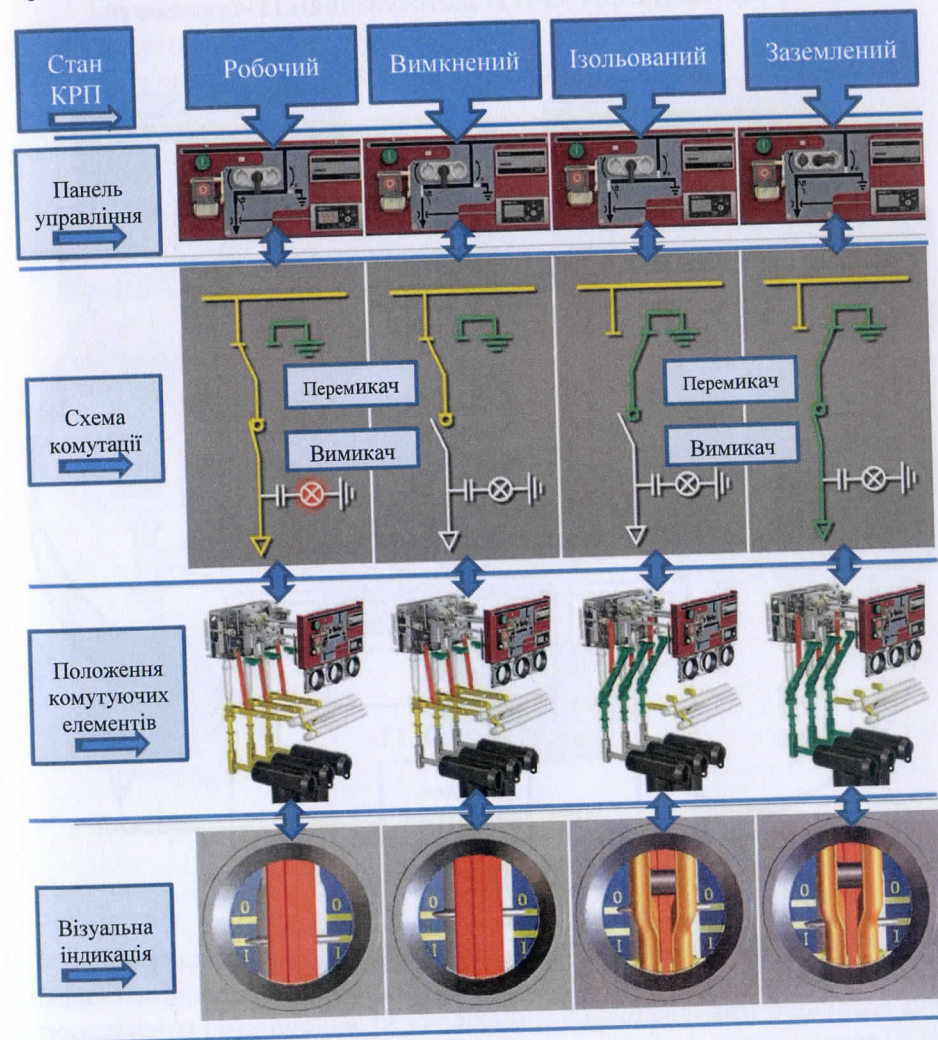


Рис. 3.1.7-5

Дистанційне управління, контроль, захист та сигналізація

ІТ-технології, які використанні в системах управління, контролю, захисту та сигналізації КРП серії «Xiria» забезпечують можливість (див. рис.3.1.7-6):

- дистанційного управління та контролю параметрів;
- дистанційної сигналізації та захисту;
- застосування в «інтелектуальних» мережах Smart Grid;
- проведення процесу налагоджування, контролю та діагностики робочих параметрів КРП із застосуванням ІТ-технологій.

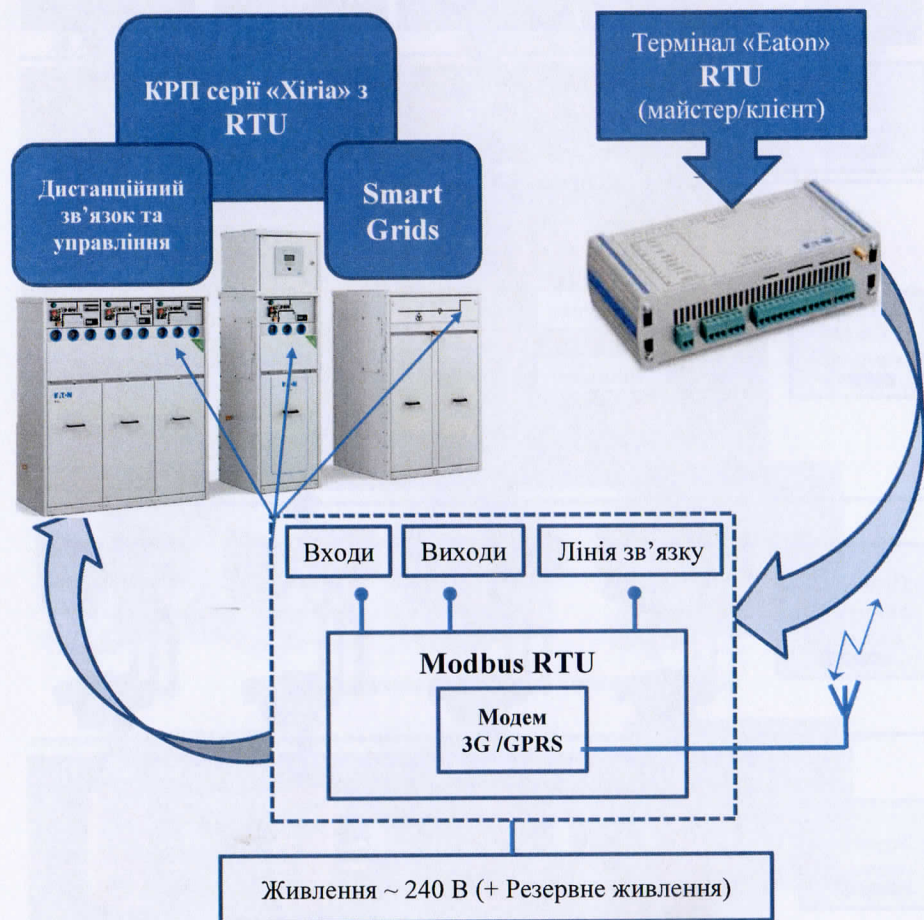


Рис. 3.1.7-6

Термінал «Eaton» RTU, як і все інше додаткове устаткування для дистанційного зв'язку з діючими системами автоматизації, встановлюється у відсіках низької напруги КРП.

Функціональне призначення віддаленого терміналу «Eaton» RTU (Modbus RTU майстер/клієнт) із вбудованим модемом 3G/GPRS (див. рис. 3.1.7-7), це:

- дистанційний захист та управління;
- дистанційне вимірювання напруги і струму та визначення його напрямку;
- дистанційна індикація стану КРП;
- забезпечення надійного зв'язку (стандарти IEC 61850 та IEC 60870-5-104).

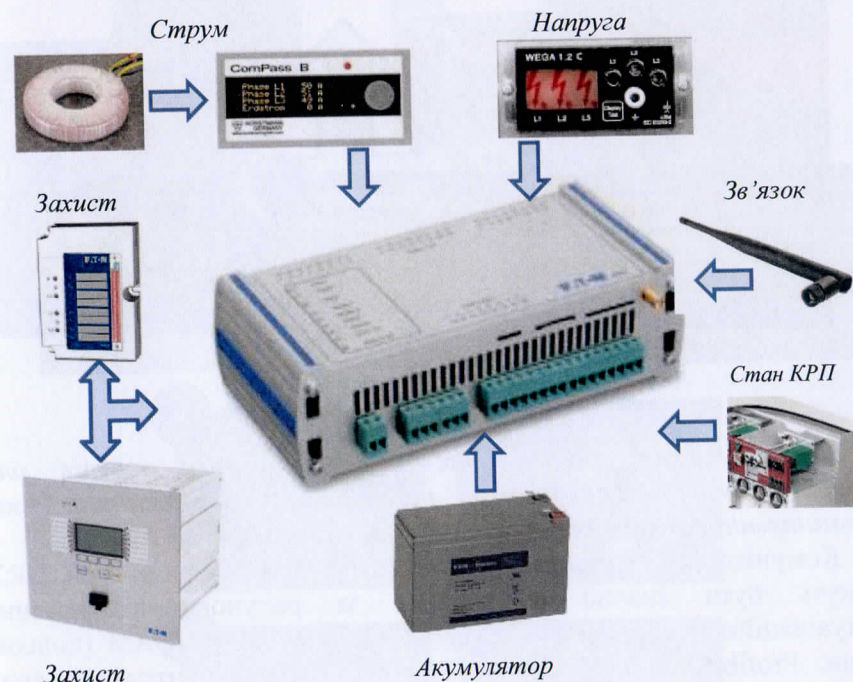


Рис. 3.1.7-7

Дана система дистанційного управління та контролю має максимально просту конфігурацію, забезпечує можливість подальшого розширення та уніфікації і є оптимальним рішенням для забезпечення ефективної роботи «інтелектуальних» мереж Smart Grid.

Проведення процесу налагоджування, контролю та діагностики робочих параметрів КРП серії «Xiria», а також його складових (наприклад захисного реле – див. рис. 3.1.7-8) може бути виконаний із застосуванням комп'ютерної техніки як безпосередньо на КРП, так і дистанційно.

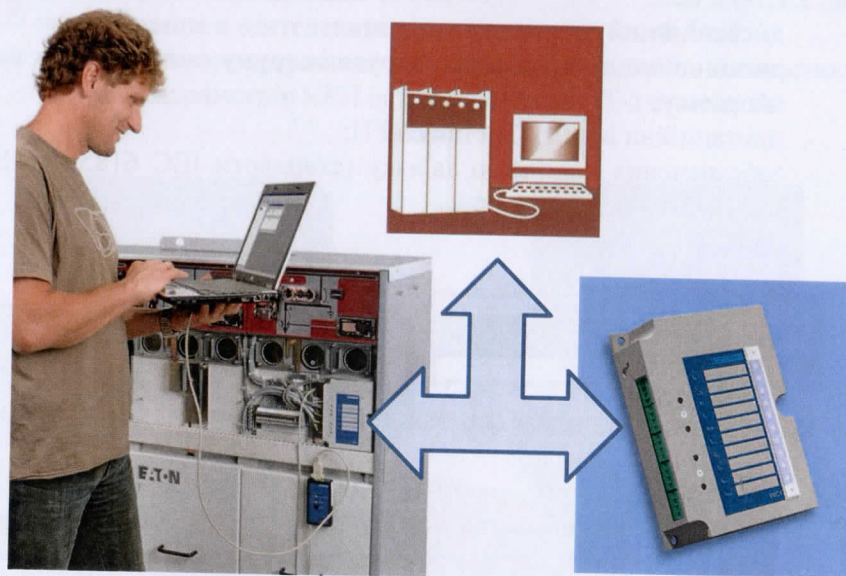


Рис. 3.1.7-8

Використання допоміжних комунікаційних модулів для дистанційного управління, контролю, діагностики та налаштування параметрів автоматичних вимикачів КРП

Комунікаційні можливості автоматичних вимикачів серії NRX можуть бути значно розширені за рахунок використання комунікаційних модулів PCAM, MCAM, ECAM та ICAM (польові шини: Profibus-DP / ModBus / Ethernet, INCOM), інтерфейс яких дозволяє не тільки передавати необхідну інформацію, а й отримувати відповідні команди для дистанційного управління, налаштування та діагностики параметрів вимикачів.

У разі необхідності, комунікаційні модулі PCAM, MCAM та ECAM та ICAM завжди можна підключити до автоматичного вимикача серії NRX, встановивши їх на DIN-рейку касети роз'ємів ланцюгів управління (на рис. 3.1.7-9 приведений покроковий процес

встановлення комунікаційного модуля ECAM (Ethernet) на DIN-рейку касети роз'ємів ланцюгів управління автоматичного вимикача серії NRX IZMX40).

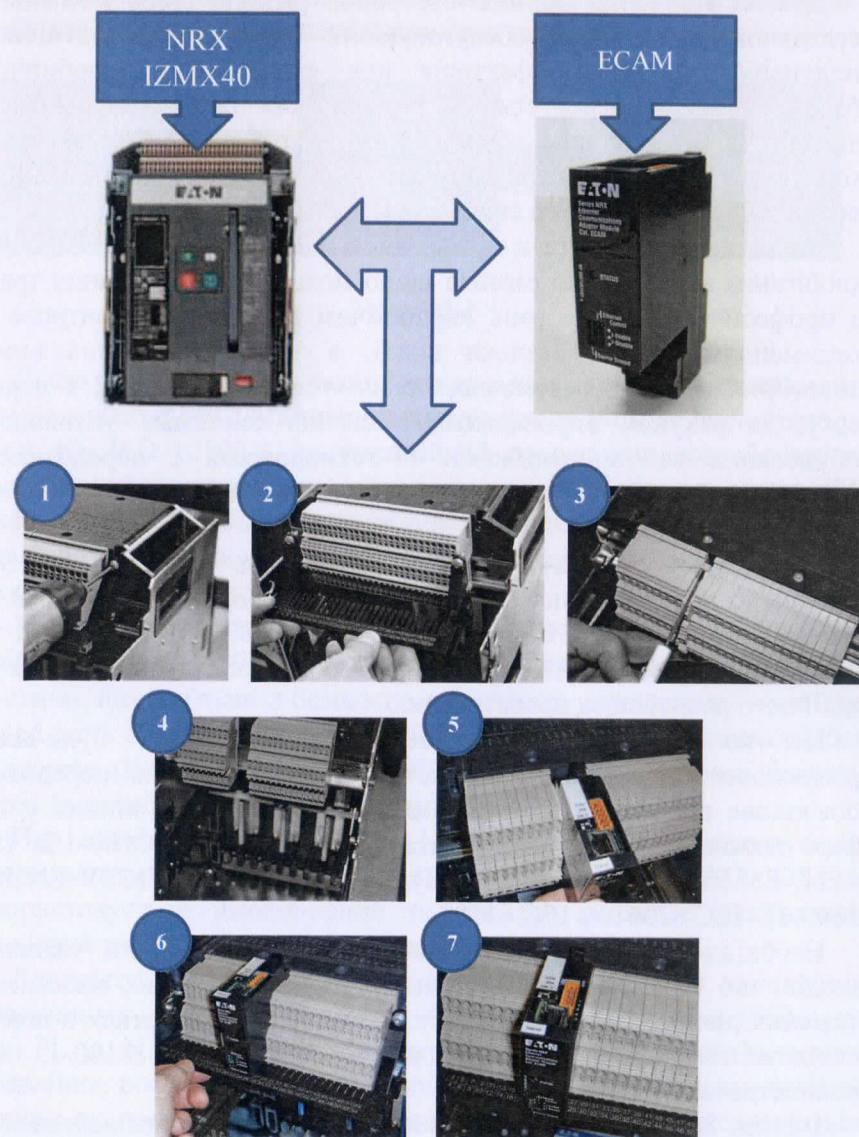


Рис.3.1.7-9

3.2. Вимоги безпеки до систем управління промисловим обладнанням

Для забезпечення прийнятних рівнів ризиків щодо можливого негативного впливу на обслуговуючий персонал небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації виробничого обладнання електроенергетичних підприємств та організацій діючі системи управління цим обладнанням мають незалежно від умов експлуатації гарантовано виконувати необхідні функції безпеки та контролю протягом усього свого життєвого циклу.

На підприємствах та в організаціях електроенергетичної галузі запобігання виникненню ризиків щодо можливості отримання травм та професійних захворювань виробничим персоналом, контроль за дотриманням правил безпеки праці, а також виконання вимог екологічної безпеки, безумовно, повинно забезпечуватися, в першу чергу, за рахунок впровадження новітніх систем управління, побудованих за інноваційними ІТ-технологіями і передбачають можливість їх використання в автоматизованих «інтелектуальних мережах» Smart Grid.

Як свідчить сучасний міжнародний досвід, на даний час вже постали до впровадження спеціальні новітні нормативні вимоги до безпеки промислового обладнання, які мають бути враховані не тільки при безпосередній експлуатації даного обладнання, а вже на стадії його розробки та проектування.

На тепер процес розробки та проектування будь-якого промислового обладнання та систем його управління передбачає обов'язкове виконання вимог: Directive 2006/42/EC і чинних у цій сфері технічних регламентів і стандартів EN ISO 12100-1/2, ISO 14121, EN 954-1 (ДСТУ EN 954-1), EN ISO 13849-1 (ДСТУ EN ISO 13849-1), IEC 62061 та IEC 61508.

Необхідно зазначити, що застосування відповідних захисних заходів, що використовуються для усунення існуючих небезпек і зниження рівнів можливих ризиків, повинно здійснюватися в певній послідовності відповідно до вимог EN ISO 12100-1, що проілюстровано на рисунку 3.2-1.

1 етап. Запобігання небезпекам: усунення існуючих небезпек та зниження рівнів можливих ризиків за рахунок відповідних конструктивних заходів на етапі розробки та проектування.

2 етап. Захист від небезпек: зниження рівнів можливих ризиків за рахунок введення необхідних захисних заходів.

3 етап. Визначення (виявлення) інших джерел небезпек: зниження рівнів можливих ризиків за рахунок надання додаткової необхідної інформації (попереджень) про залишкові ризики.

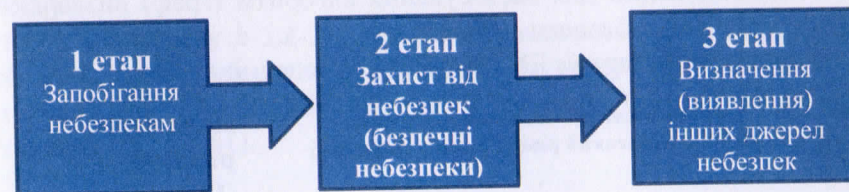


Рис. 3.2-1

Якщо остаточний результат 1 етапу «Запобігання небезпекам» не веде до достатнього зниження рівнів можливих ризиків відповідно до вимог EN ISO 12100-1, то ітераційний процес при розробленні та проектуванні промислового обладнання відповідно до вимог ISO 13849-1 або IEC 62061 має бути використаний також і на 2 етапі – «Безпечні небезпеки». Оцінювання існуючих ризиків здійснюється відповідно до стандарту ISO 14121.

Ті частини систем управління промисловим обладнанням, які вирішують завдання безпеки, визначені в міжнародних стандартах, як «частини, що пов'язані з безпекою в системах управління» – «safety-related parts of control systems» (SRP/CS). Відповідно до вимог обох стандартів (ISO 13849-1 та IEC 62061) необхідні функції безпеки мають бути забезпечені саме за рахунок SRP/CS.

На відміну від EN 954-1, в якому використовувався детерміністський (якісний) підхід, у стандарті EN ISO 13849-1 використовується ймовірнісний підхід, що дозволяє реалізувати кількісний розгляд показників безпеки.

Для того, щоб класифікувати рівні безпеки систем управління обладнанням застосовується п'ять значень рівнів безпеки (РБ) – це рівні PL (a, b, c, d, e), які залежать від здатності елементів систем управління, пов'язаних із забезпеченням безпеки, виконувати функції безпеки в передбачених обставинах. Ці рівні характеризуються відповідними значеннями середнього часу напрацювання до настання небезпечної відмови (MTTF_d) або ймовірністю небезпечної відмови за годину (PFH_d).

Рівень безпеки (РБ) PL «а» забезпечує найнижчий внесок функцій управління у зниження ризику, а рівень PL «е» – найвищий. Остаточна перевірка всіх захисних заходів, що забезпечують надійне виконання передбачених функцій безпеки (ФБ), є обов'язковою складовою частиною EN ISO 13849-2.

Рекомендований для застосування алгоритм (граф) визначення необхідного рівня безпеки (РБ) PL (а, b, c, d, e) промислового обладнання за стандартом EN ISO 13849 наведений на рис. 3.2-2.

Рівень «а» - найнижчий рівень ризику (low risk)
Рівень «е» - найбільш високий рівень ризику (high risk)

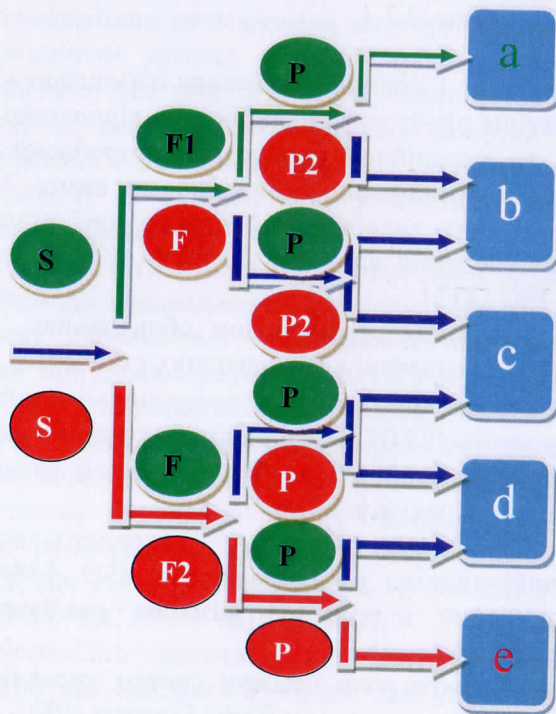


Рис. 3.2-2

Для стандарту IEC 62061, який по суті є альтернативою стандарту ISO 13849-1, рівень функціональної безпеки систем управління обладнанням визначається трьома рівнями повноти безпеки (РПБ) SIL – «Safety Integrity» (1, 2, 3). РПБ встановлюють вимоги до

Параметри ризику:
(Risk parameters):
S - тяжкість травми
S1 незначні (звичайні викивні травми)
S2 серйозні (як правило, невикликові травми)
F – частота і/або схильність до небезпеки
F1 – рідко, не дуже часто і/або короточасна дія
F2 – часто, скоріше безперервно і/або довгострокова дія
P – можливість уникнути небезпеки або обмеження завданої шкоди
P1 – можливо за певних умов
P2 – навряд чи можливо

повноти безпеки електричних, електронних і програмованих електронних систем управління, що пов'язані з безпекою (ПБЕСУ), а також вимоги щодо їх здатності виконувати функції безпеки в передбачених обставинах. Ці дискретні рівні характеризуються відповідними значеннями ймовірності небезпечної відмови за годину (PFH_d).

На рисунку 3.2-3 наведено взаємозв'язок ймовірності небезпечної відмови за годину (PFH_d) із рівнем безпеки (РБ) PL (стандарт EN ISO 13849) та рівнем повноти безпеки (РПБ) SIL (стандарт IEC 62061).

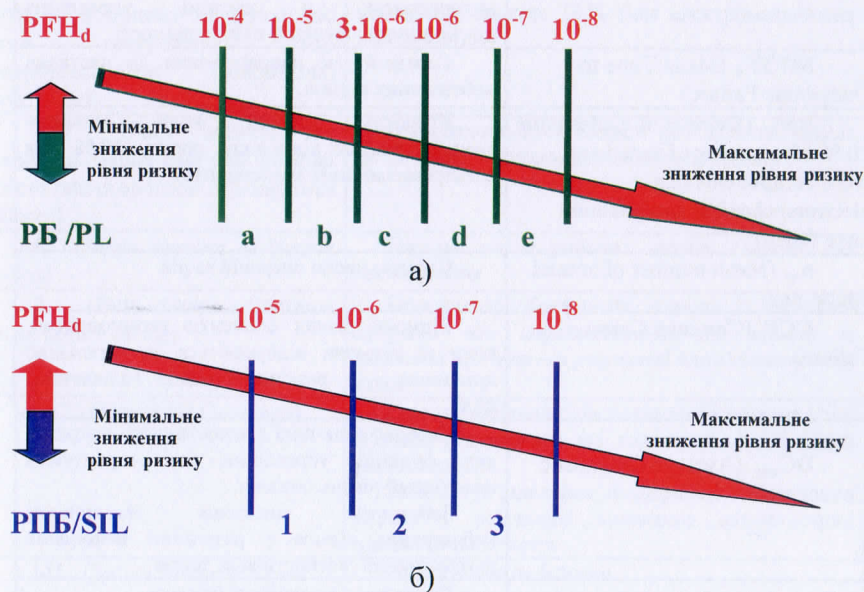


Рис. 3.2-3

Для будь-якої пов'язаної з безпекою системи управління (ПБСУ) повинні бути визначені наступні показники (параметри), що пов'язані з безпекою частин (елементів) обладнання та систем управління з урахуванням відмовостійкості апаратних засобів і застосованих у системі управління діагностичних функцій та їх надійності. Для стандарту EN ISO 13849 це: **Structure/category**; **MTTF_d**; **B10_d**; **n_{op}**; **CCF**; **DC_{avg}**; **PL**; **T10_d** (див. табл. 3.2-1), а для

стандарту IEC 62061: **Structure/subsystem (SS) architecture; PFH_d; B10; λ_d/λ ; C; β ; DC; SIL** (див. табл. 3.2-2).

Таблиця 3.2-1. Параметри (показники) безпеки (Safety parameters) згідно з EN ISO 13849-1

Параметри (показники) безпеки	Опис
Structure /category (Cat)/	Структурні вимоги (Категорія) Класифікація, що пов'язана з безпекою частин (елементів) обладнання і системи управління та визначається з урахуванням відмовостійкості апаратних засобів і використаних в системі управління діагностичних функцій та їх надійності
MTTF_d (Mean Time to Dangerous Failure)	Середній час напрацювання до настання небезпечних відмов.
B10_d (Number of cycles until 10 % of a number of tested and worn components (e.g. electromechanical components) have failed)	Кількість циклів, коли кількість компонентів, що відмовили, досягає 10 % (для електромеханічних компонентів)
n_{op} (Mean number of annual operations)	Середнє число операцій за рік
CCF (Common Cause Failure)	Відмови різних елементів (компонентів), коли ці відмови відбуваються за загальною причиною – в результаті однієї (одиночної) події
DC_{avg} (Average Diagnostic Coverage)	Середня величина діагностичного покриття тих функцій управління, які гарантують необхідний рівень безпеки. Забезпечує зниження ймовірності небезпечних відмов у результаті виконання автоматичних діагностичних тестів.
PL (Performance Level)	Рівень експлуатаційної безпеки. Дискретний рівень, який використовується для визначення здатності частин (елементів) обладнання, пов'язаних з виконанням функцій безпеки системою управління, забезпечувати при передбачуваних умовах необхідний рівень безпеки. Класифікація від PLa (найвища ймовірність відмови) до PLе (низька ймовірність відмови).
T10_d (Operating time, time of use of the safety-related control function)	Середній час роботи, пов'язаний із забезпеченням функцій безпеки і контролю в системі управління (це час, протягом якого 10 % компонентів мають небезпечні відмови)

Таблиця 3.2-2 – Параметри (показники) безпеки (Safety parameters) згідно з IEC 62061

Параметри (показники) безпеки	Опис
Structure /subsystem (SS) architecture/	Структурні вимоги (архітектура підсистем). Класифікація підсистем, що виконують функції управління і пов'язані з безпекою та які мають архітектуру відповідно до IEC 62061 і виконані з урахуванням вимог до відмовостійкості апаратних засобів і використаних діагностичних функцій та їх надійності
PFH_d (Average probability of dangerous failure per hour)	Ймовірність небезпечних відмов за годину
B10 (Number of cycles until 10 % of a number of tested and worn components (e.g. electromechanical components) have failed)	Число циклів, коли кількість компонентів, що відмовили, досягає 10 % (для електромеханічних компонентів)
λ_d/λ (Ratio between the dangerous failure rate and the total failure rate proportion of dangerous failures)	Відношення інтенсивності небезпечних відмов до загальної інтенсивності відмов за годину
C (Mean number of hourly cycles)	Середнє число робочих циклів, заданих для застосування
β (Beta factor. Common cause failure factor)	Бета-фактор. Коефіцієнт відмови із загальної причини або сприйнятливості до відмов із загальної причини – в результаті однієї (одиночної) події
DC (Diagnostic Coverage)	Середня величина діагностичного покриття тих функцій управління, які гарантують необхідний рівень безпеки. Забезпечує зниження ймовірності небезпечних відмов у результаті виконання автоматичних діагностичних тестів
SIL (Safety Integrity Level)	Рівень повноти безпеки. Показник рівня функції безпеки, пов'язаної з безпекою електричних компонентів системи управління машиною. (Три рівня – 1, 2 і 3). SIL1 (найнижчий рівень), SIL3 (найвищий рівень) безпеки

На рисунку 3.2-4, з урахуванням існуючого взаємозв'язку стандарту IEC 62061 з іншими стандартами, представлено рекомендований загальний алгоритм його застосування при проведенні оцінки можливих ризиків і подальшого проектування електричних, електронних та програмованих електронних систем управління промисловим обладнанням.



Рис. 3.2-4

Застосування обох стандартів, як EN ISO 13849-1, так і IEC 62061 передбачає виконання відповідних важливих вимог щодо забезпечення безпеки в залежності від технології, що використовується для реалізації пов'язаних з безпекою функцій управління обладнанням (див. табл. 3.2-3).

Таблиця 3.2-3. Сфери застосування стандартів ISO 62061 и IEC 13849-1

Варіант	Технологія реалізації зв'язаної (их) з безпекою функції (ій) управління	ISO 13849-1	IEC 62061
A	Неелектрична, наприклад, гідравліка	«X»	Не охоплює
B	Електромеханічна, наприклад, реле або нескладні електронні пристрої	Обмежено встановленими архітектурами (див. Примітка 1) і до РБ = PL _e	Усі архітектури і до РПБ = SIL 3
C	Складні електронні пристрої, наприклад, програмовані	Обмежено встановленими архітектурами (див. Примітка 1) і до РБ = PL _d	Усі архітектури і до РПБ = SIL 3
D	A у поєднанні із B	Обмежено встановленими архітектурами (див. Примітка 1) і до РБ = PL _e	«X» (див. Примітка 3)
E	C у поєднанні із B	Обмежено встановленими архітектурами (див. Примітка 1) і до РБ = PL _d	Усі архітектури і до РПБ = SIL 3
F	C у поєднанні із A Або C у поєднанні із A і B	«X» (див. Примітка 2)	«X» (див. Примітка 3)

Позначка «X» - означає, що дану технологію регламентує стандарт, зазначений в заголовку колонки таблиці.

*Примітки:

1. Встановлені архітектури визначені в EN ISO 13849-1, додаток B, де наданий спрощений підхід для квантифікації рівня безпеки (РБ) PL. РБ - рівень необхідного мінімального зниження ризику.
2. Для складних електронних пристроїв використовують встановлені архітектури до РБ = PL_d згідно EN ISO 13849-1 або будь-які архітектури згідно IEC 62061.
3. Елементи, що засновані на неелектричній технології, відповідно до EN ISO 13849-1 використовують в якості підсистем.

Згідно вимог EN ISO 13849-1 (див. табл. 3.2-1) структури (архітектури) елементів системи управління, що пов'язані з безпекою, визначаються в залежності від вибраної категорії:

• **Категорія В – базова категорія** (структура на рис. 3.2-5).

Елементи системи управління, що пов'язані з безпекою, повинні бути, як мінімум, розроблені та сконструйовані відповідно до сучасного рівня техніки і повинні протистояти очікуванім зовнішнім впливам.

• **Категорія 1** (структура на рис. 3.2-5).

Елементи системи управління, що пов'язані з безпекою, повинні бути розроблені і сконструйовані з використанням перевірених компонентів і надійних принципів безпеки.

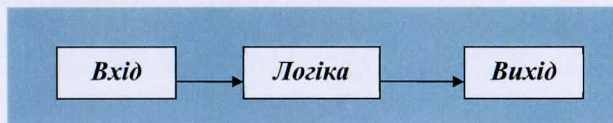


Рис. 3.2-5. Структура для базової категорій В та категорії 1 (одноканальна)

• **Категорія 2** (структура на рис. 3.2-6).

Функції елементів системи управління, які пов'язані з безпекою, повинні періодично контролюватися (тестування, діагностика) з відповідними часовими інтервалами. Як правило, тестування (діагностика) здійснюється періодично під час роботи з урахуванням аналізу існуючих ризиків. Тестування (діагностика) може здійснюватися автоматично або вручну, але обов'язково при кожному запуску і, бажано, перед виникненням можливої небезпечної ситуації.

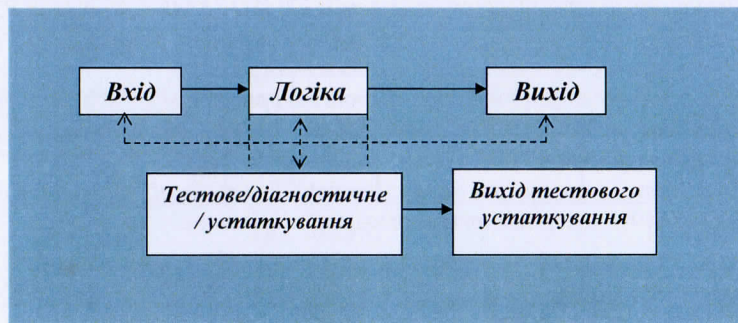


Рис. 3.2-6. Структура для категорії 2 (одноканальна контрольована)

• **Категорія 3** (структура на рис. 3.2-7).

Одна відмова а елементах системи управління, що пов'язані з безпекою, не призводить до втрати функції безпеки всієї системи. В той же час, оскільки в системі управління не використовується функція самоконтролю і тому не всі несправності можуть бути виявлені, то накопичення таких невиявлених несправностей все ж таки може з часом викликати небезпечну ситуацію.

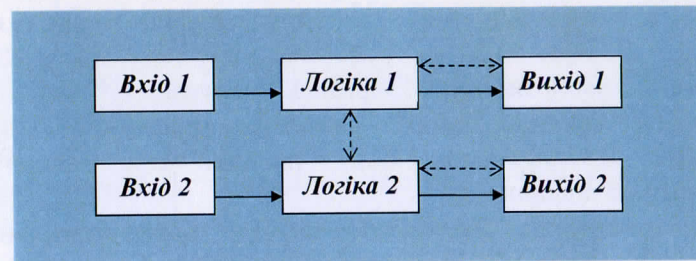


Рис.3.2-7. Структура для категорії 3 (двоканальна без функції самоконтролю)

• **Категорія 4** (структура на рис. 3.2-8).

Одна відмова в елементах системи управління, що пов'язані з безпекою, не призводить до втрати функції безпеки всієї системи. При використанні функції самоконтролю ця несправність повинна бути виявлена негайно або до виникнення наступної потенційної небезпеки. Якщо це неможливо, то повинні бути забезпечені умови, при яких накопичення несправностей не повинно призводити до втрати функції безпеки всієї системи управління.

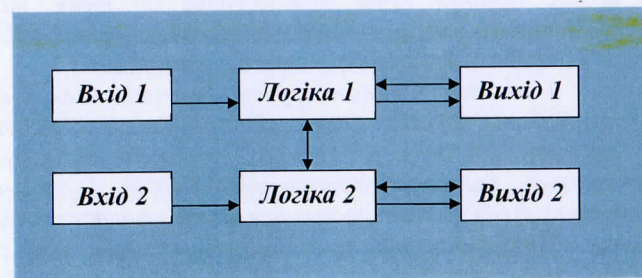


Рис. 3.2-8. Структура для категорії 4 (двоканальна із функцією самоконтролю)

3.2.1. Функції безпеки та їх реалізація в діючих системах управління

Пов'язанні з безпекою системи управління промисловим обладнанням повинні забезпечувати, у залежності від умов їх експлуатації, виконання необхідних функцій безпеки (ФБ). Наприклад, це можуть бути такі ФБ, як аварійне відключення, запобігання непередбаченого запуску обладнання (повторних перезапусків), контроль з'ємних захисних бар'єрів (огорожень) з блокуванням або без нього, контроль відкритих зон небезпеки, використання двопозиційних органів керування тощо. Саме виконання цих функцій безпеки системою управління і гарантує забезпечення прийнятних рівнів ризиків при експлуатації промислового обладнання.

Згідно стандартів IEC 62061 та IEC 61508 при розробці структури (архітектури) ПБЕСУ, кожна пов'язана з безпекою функція управління (ПБФУ), яка зазначена в специфікації вимог до безпеки ПБЕСУ, повинна бути структурно декомпована до рівня функціональних блоків, наприклад так, як це показано на рис. 3.2.1-1.

Необхідно, щоб така структура була документально оформлена і включала:

- її опис;
- вимоги до безпеки (як функціональні вимоги, так і вимоги до повноти безпеки) для кожного функціонального блоку;
- визначення входів і виходів кожного блоку.

* Примітки:

1. Процес декомпозиції дозволяє сформувати структуру функціональних блоків, яка повністю описує функціональні вимоги і вимоги до повноти безпеки ПБФУ. Цей процес повинен бути застосований до рівня, що дозволяє встановити функціональні вимоги і вимоги до повноти безпеки для кожного функціонального блоку, який буде реалізований в підсистемі.

2. На входах і виходах кожного функціонального блоку може бути інформація, що підлягає обробці (наприклад, про швидкість, положення, режим роботи тощо).

3. Функціональні блоки представляють ПБФУ і не включають діагностичні функції ПБЕСУ (для досягнення цілей стандарту IEC 62061-1 діагностичні функції розглядаються як окремі, що можуть мати структуру, відмінну від ПБЕСУ).

При розробці та проектування ПБЕСУ необхідно, щоб початкова концепція її архітектури була створена відповідно до структури функціональних блоків.

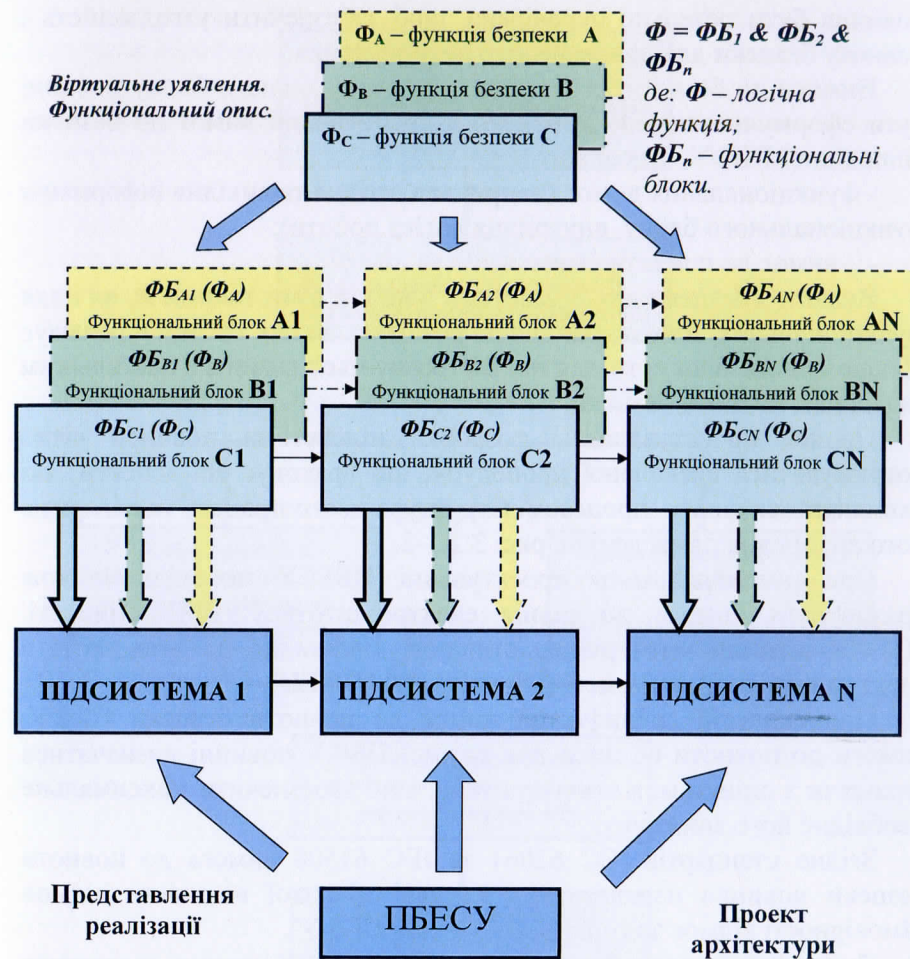


Рис. 3.2.1-1. Декомпована до рівня функціональних блоків структура (архітектура) ПБЕСУ

Кожен функціональний блок повинен бути реалізований відповідної підсистемою в архітектурі ПБЕСУ (одна підсистема може реалізовувати в собі більше одного функціонального блоку).

Кожна підсистема і реалізовані в ній функціональні блоки повинні бути чітко визначені. Необхідно, щоб архітектура ПБФУ була документально оформлена, а її підсистеми і їх взаємозв'язок були детально описані в специфікації вимог до системи безпеки, яка

повинна бути ретельно перевірена, щоб забезпечити узгодженість і повноту безпеки для призначеного використання.

Вимоги до безпеки для кожного функціонального блоку повинні бути сформульовані, як зазначено в специфікації вимог до безпеки відповідної ПБФУ, стосовно:

- функціональних вимог (наприклад, вхідна та вихідна інформація функціонального блоку, внутрішня логіка роботи);
- вимог до повноти безпеки.

Вимоги з безпеки для підсистеми повинні бути такими ж, як і для функціональних блоків, які вона реалізує. Якщо система реалізує більше одного блоку, то для неї застосовується вимога з найбільшим значенням повноти безпеки.

Процес проектування і розробки підсистеми повинен чітко дотримуватися визначеної процедури, що враховує всі аспекти, які охоплюються даним процесом. Структура цього процесу та алгоритм його виконання приведені на рис. 3.2.1-2.

При розробленні та проектуванні ПБЕСУ необхідно також враховувати вимоги до рівнів електромагнітної (ЕМ) стійкості. ПБЕСУ повинні мати рівень стійкості відповідно до стандартів з електромагнітної сумісності (Directive 2014/30/EU).

При складанні специфікації вимог до повноти безпеки ПБФУ, вимоги до повноти безпеки для кожної ПБФУ повинні визначатися виходячи з оцінки можливого ризику, щоб забезпечити максимальне необхідне його зниження.

Згідно стандартів ІЕС 62061 та ІЕС 61508 вимога до повноти безпеки повинна надаватися у вигляді цільової величини відмов (ймовірності відмов за годину для кожної ПБФУ).

Вимоги до повноти безпеки для кожної ПБФУ повинні задаватися в термінах РПБ відповідно до таблиці 3.2.1-1.

Таблиця 3.2.1-1. Рівні повноти безпеки. Цільові величини відмов

Рівень повноти безпеки (РПБ)	Імовірність небезпечних відмов за годину (PFH _D)
3	$\geq 10^{-8} - <10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7} - <10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6} - <10^{-5}$

* Примітка: Якщо необхідна повнота безпеки ПБФУ менше, ніж РПБ 1, то, як мінімум, вимоги категорії В (стандарт ISO 13849-1) повинні бути забезпечені.

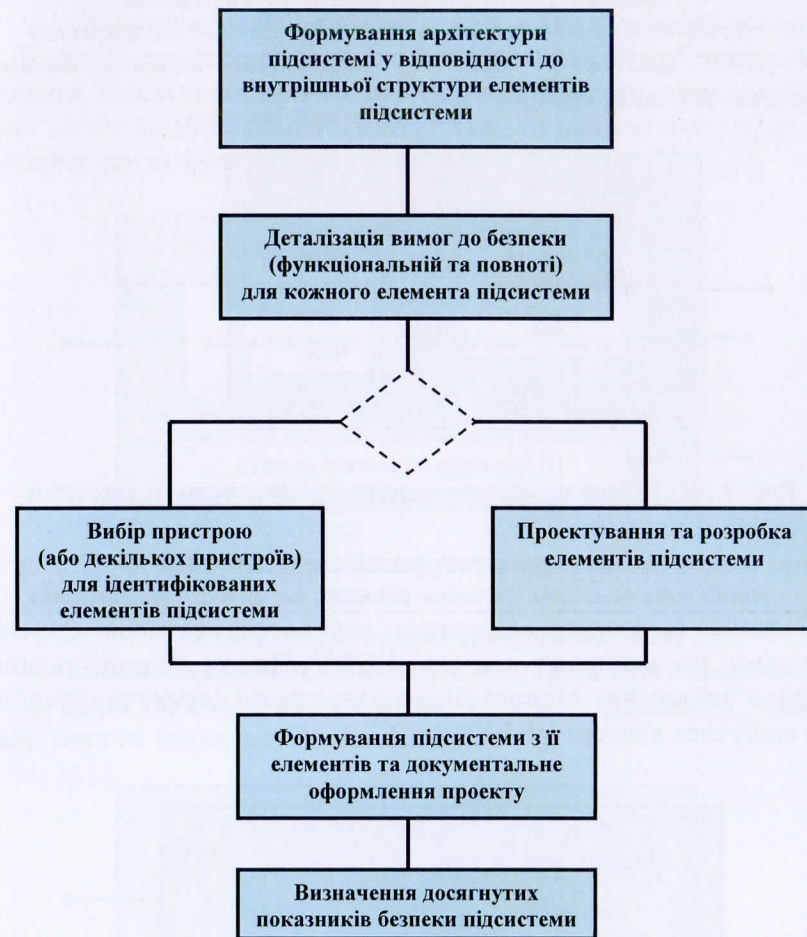


Рис. 3.2.1-2. Структура процесу проектування і розробки підсистеми та алгоритм його виконання

Згідно із стандартом ІЕС 62061 структури (архітектури) систем управління машин і механізмів, які пов'язані з безпекою, визначаються базовими архітектурами підсистем, що входять до складу ПБЕСУ і можуть мати наступні типи: А, В, С і D (див. відповідно рис. 3.2.1-3 – рис. 3.2.1-6).

* Примітка: На рис.3 – рис.6 приведені логічні представлення архітектур підсистем, типи А,В,С і D, які не повинні розглядатися як їх фізична реалізація.

Базова архітектура підсистеми, тип А

(стійкість до відмов дорівнює нулю, без функції діагностики)

У даній архітектурі будь-яка небезпечна відмова елемента підсистеми викликає відмову ПБФУ.

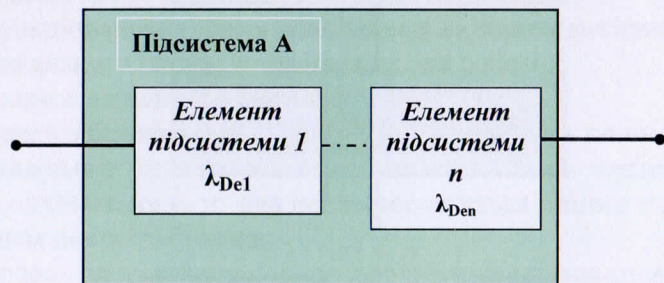


Рис. 3.2.1-3. Логічне представлення архітектури підсистеми

Базова архітектура підсистеми, тип В

(стійкість до відмов дорівнює одиниці, без функції діагностики)

У даній архітектурі одиночна небезпечна відмова елемента підсистеми не викликає відмови ПБФУ. Таким чином, повинна відбутися небезпечна відмова більш ніж одного елемента перш, ніж може відбутися відмова ПБФУ.

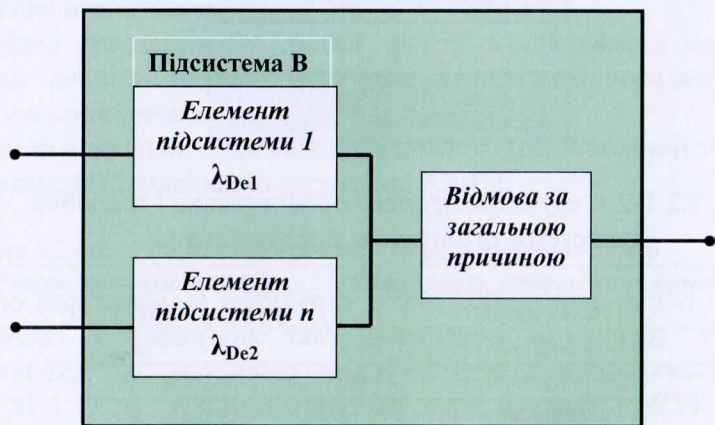


Рис. 3.2.1-4. Логічне представлення архітектури підсистеми типу В

Базова архітектура підсистеми, тип С

(стійкість до відмов дорівнює нулю, з функцією діагностики)

У даній архітектурі будь-який не виявлений небезпечний збій елемента підсистеми призводить до небезпечного відмови ПБФУ. Якщо виявлено збій елемента підсистеми, то діагностична (і) функція (ї) ініціює (ють) функцію реакції на збій.

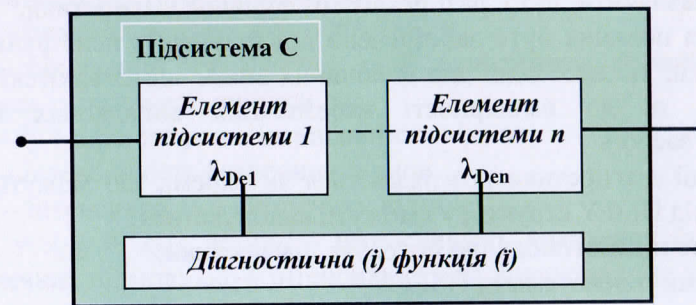


Рис. 3.2.1-5. Логічне представлення архітектури підсистеми типу С

Базова архітектура підсистеми, тип D

(стійкість до відмов дорівнює одиниці, з функцією діагностики)

У даній архітектурі одиночна відмова будь-якого елемента підсистеми не викликає відмови ПБФУ.

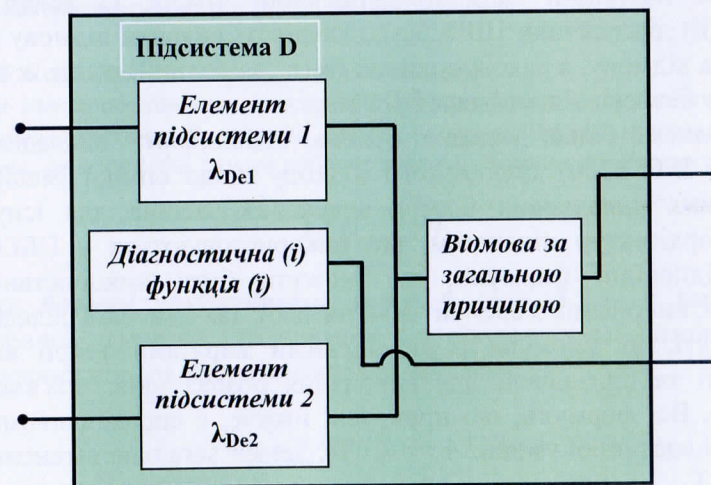


Рис. 3.2.1-6. Логічне представлення архітектури підсистеми типу D

**Примітки: 1. Показана функція діагностики для підсистем С та D може здійснюватися:*

- підсистемою, що діагностується;
- іншими підсистемами ПБЕСУ;
- підсистемами, які не беруть участі у виконанні ПБФУ.

2. Передбачається, що реакцією на відмову підсистеми D є припинення відповідної операції.

Слід зазначити, що у разі реалізації функцій діагностики, кожна підсистема повинна бути забезпечена пов'язаними з нею функціями діагностики, які необхідні для виконання вимог щодо архітектурних обмежень та до ймовірності небезпечних випадкових відмов технічних засобів.

Функції діагностики розглядаються як окремі, що можуть мати відмінну від ПБФУ структуру і можуть виконуватися:

- самою підсистемою, що потребує діагностики;
- іншими підсистемами ПБЕСУ;
- підсистемами ПБЕСУ, які не виконують ПБФУ.

Функції діагностики повинні відповідати наступним вимогам, які можуть застосовуватися до пов'язаних з ними ПБФУ стосовно:

- запобігання систематичним відмовам;
- управління систематичними відмовами.

Ймовірність відмови функції (йї) діагностики ПБЕСУ повинна бути врахована при оцінці ймовірності небезпечної відмови ПБФУ.

Також повинний бути представлений чіткий та ясний опис функції (йї) діагностики ПБЕСУ, їх здатності виявити відмову або їх реакції на відмову, а також повинен бути виконаний аналіз їх вкладу в повноту безпеки відповідних ПБФУ.

Розглянемо більш детально основні особливості викладеного у стандарті ІЕС 62061 спрощеного підходу щодо оцінки ймовірності небезпечних випадкових відмов апаратних засобів для існуючих базових архітектур підсистем, що використовуються у ПБЕСУ, а також відповідні формули, які можуть бути використані для підсистем, виконаних з елементів як низької, так і високої складності.

По суті, ці формули є спрощеними виразами теорії аналізу надійності та призначені для виконання розрахунків, пов'язаних з безпекою. Всі формули, що приведені нижче, є справедливими при виконанні наступної умови: $1 \gg \lambda \cdot T_1$, де: λ – загальна інтенсивність відмов; T_1 – найменше значення з інтервалу значень між контрольними перевірками або терміну служби для підсистем, що працюють в режимі з високою частотою запитів.

При оцінці небезпечних випадкових відмов апаратних засобів підсистем використовуються наступні характеристики:

$PFH_D = \lambda_D \cdot 1 \text{ год.}$ – середня ймовірність небезпечних відмов за годину;

DC – охоплення діагностикою;

T_1 – інтервал між контрольними перевірками або термін служби (в залежності від того, що менше);

T_2 – інтервал діагностичних перевірок;

β – так званий бета-фактор, який характеризує сприйнятливість до відмов із загальної причини;

$\lambda = \lambda_S + \lambda_D$, – загальна інтенсивність відмов;

λ_S – інтенсивність безпечних відмов;

λ_D – інтенсивність небезпечних відмов;

$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU}$, де λ_{DD} – інтенсивність виявлених (знайдених) небезпечних відмов; λ_{DU} – інтенсивність не виявлених (не знайдених) небезпечних відмов;

$\lambda_{DD} = \lambda_D \cdot DC$;

$\lambda_{DU} = \lambda_D \cdot (1 - DC)$.

**Примітка: Для рівнянь (А) – (D), які будуть розглянуті нижче, інтенсивність відмов елементів підсистеми (λ) передбачається постійною і достатньо низькою ($1 \gg \lambda \cdot T$), а це означає, що середній час між небезпечними відмовами має бути набагато більше інтервалу між контрольними перевірками або терміну служби підсистеми. Саме тому можна використовувати наступне основне рівняння:*

$$\lambda = 1/MTTF, \quad (3.1)$$

де $MTTF$ – середній час напрацювання на відмову.

Для електромеханічних пристроїв інтенсивність відмов визначається за допомогою величини B_{10} (число циклів, коли кількість компонентів, що відмовили, досягає 10%) і числа робочих циклів C , заданих для застосування:

$$\lambda = 0,1 \cdot C/B_{10}. \quad (3.2)$$

Для базової архітектури типу А (рис. 3.2.1-3): ймовірність небезпечної відмови підсистеми дорівнює сумі ймовірностей небезпечних відмов всіх елементів підсистеми.

$$\lambda_{DssA} = \lambda_{Del} + \dots + \lambda_{Den}, \quad (3.3)$$

$$PFH_{DssA} = \lambda_{DssA} \cdot 1 \text{ год.} \quad (3.4)$$

Для базової архітектури типу В (рис. 3.2.1-4): ймовірність небезпечного відмови підсистеми дорівнює:

$$\lambda_{DssB} = (1 - \beta)^2 \cdot \lambda_{De1} \cdot \lambda_{De2} \cdot T_1 + \beta \cdot (\lambda_{De1} \cdot \lambda_{De2}) / 2, \quad (3.5)$$

$$PFH_{DssB} = \lambda_{DssB} \cdot 1 \text{ год.}, \quad (3.6)$$

де: T_1 – інтервал між контрольними перевірками або термін служби (в залежності від того, що менше);

β – бета-фактор.

Для базової архітектури типу С (рис. 3.2.1-5): ймовірність небезпечної відмови підсистеми дорівнює:

$$\lambda_{DssC} = \lambda_{De1} \cdot (1 - DC_1) + \lambda_{De2} \cdot (1 - DC_2), \quad (3.7)$$

$$PFH_{DssC} = \lambda_{DssC} \cdot 1 \text{ год.} \quad (3.8)$$

Для базової архітектури типу D (рис. 3.2.1-6):

- при застосуванні елементів підсистеми різної конструкції:

$$\lambda_{DssD} = (1 - \beta)^2 \cdot \{ [\lambda_{De1} \cdot \lambda_{De2} \cdot (DC_1 + DC_2)] \cdot T_2 / 2 + [\lambda_{De1} \cdot \lambda_{De2} \cdot (2 - DC_1 - DC_2)] \cdot T_1 / 2 \} + \beta \cdot (\lambda_{De1} + \lambda_{De2}) / 2, \quad (3.9)$$

$$PFH_{DssD} = \lambda_{DssD} \cdot 1 \text{ год.}, \quad (3.10)$$

де: λ_{De1} – інтенсивність небезпечних відмов 1-го елемента підсистеми;

λ_{De2} – інтенсивність небезпечних відмов 2-го елемента підсистеми;

DC_1 – охоплення діагностикою 1-го елемента підсистеми;

DC_2 – охоплення діагностикою 2-го елемента підсистеми.

- при застосуванні елементів підсистеми однакової конструкції:

$$\lambda_{DssD} = (1 - \beta)^2 \cdot \{ [\lambda_{De}^2 \cdot (2 \cdot DC)] \cdot T_2 / 2 + [\lambda_{De}^2 \cdot (1 - DC)] \cdot T_1 \} + \beta \cdot (\lambda_{De}), \quad (3.11)$$

$$PFH_{DssD} = \lambda_{DssD} \cdot 1 \text{ год.}, \quad (3.12)$$

де: λ_{De} – інтенсивність небезпечних відмов 1-го або 2-го елементів підсистеми;

DC – охоплення діагностикою 1-го або 2-го елементів підсистеми.

Оцінка ймовірності небезпечних відмов (PFH_D) повинна бути заснована на ймовірності випадкових небезпечних відмов апаратних засобів кожної відповідної підсистеми.

Ймовірність випадкових відмов апаратних засобів в ПБЕСУ є сумою ймовірностей небезпечних випадкових відмов апаратних засобів всіх підсистем (PFH_{Dn}), що беруть участь в реалізації ПБЕСУ, і включає в разі потреби ймовірність небезпечних помилок цифрової передачі даних комунікаційних процесів (P_{TE}):

$$PFH_D = PFH_{D1} + \dots + PFH_{Dn} + P_{TE}. \quad (3.13)$$

Необхідно зазначити, що РПБ, який досягається ПБЕСУ у відповідності з архітектурними обмеженнями, повинен бути менше або дорівнювати найменшому значенню граничної вимоги до РПБ будь-якої з підсистем, що беруть участь у виконанні ПБФУ.

Наприклад, ПБЕСУ складається з двох послідовно з'єднаних підсистем (підсистема 1 і підсистема 2), у яких частка безпечних відмов (ЧБВ) і стійкість до відмов дорівнюють значенням, що приведені у таблиці 3.2.1-2.

Таблиця 3.2.1-2. Характеристики підсистем 1 і 2 (приклад з оцінки РПБ)

Підсистема	Стійкість до відмов технічних засобів	ЧБВ	Граничні вимоги до РПБ відповідно до обмежень архітектури
1	1	95%	РПБ 3
2	1	80%	РПБ 2

При цьому оцінка ймовірності відмови за годину для такої ПБЕСУ складає $PFH_D = 8 \cdot 10^{-8}$, що відповідає РПБ 3. Проте, архітектурне обмеження підсистеми 2 лімітує РПБ, який може бути досягнутий ПБЕСУ, до РПБ 2.

Таким чином, показники безпеки підсистеми характеризуються граничними вимогами до РПБ, що визначаються її архітектурними обмеженнями, граничною вимогою до РПБ для систематичної повноти безпеки і ймовірністю випадкових небезпечних відмов апаратних засобів.

Найбільш високий рівень повноти безпеки апаратних засобів, який може знадобитися для виконання функції безпеки, обмежується стійкістю до відмов апаратних засобів і часткою безпечних відмов

підсистем, які виконують цю пов'язану з безпекою функцію управління.

Найбільший рівень повноти безпеки, який може знадобитися для ПБФУ, яку реалізує підсистема з урахуванням стійкості до відмов апаратних засобів і частки безпечних відмов цієї підсистеми, визначається за допомогою таблиці 3.2.1-3.

Таблиця 3.2.1-3. Архітектурні обмеження підсистеми. Максимальне значення РПБ, яке може бути досягнуто цієї підсистемою

Частка безпечних відмов	Відмовостійкість апаратних засобів		
	N=0	N=1	N=2
< 60 %	Не обмовляється	РПБ 1	РПБ 2
60 % - 90 %	РПБ 1	РПБ 2	РПБ 3
90 % - 99 %	РПБ 2	РПБ 3	РПБ 3
≥ 99 %	РПБ 3	РПБ 3	РПБ 3
* Примітки 1. Відмовостійкість апаратних засобів N означає, що N + 1 відмова призведе до втрати пов'язаної з безпекою функції управління. 2. Виянок: для підсистеми зі стійкістю до збоїв апаратних засобів, що дорівнює нулю, в якій виключення збою може привести до небезпечної відмови, граничне вимога до РПБ через обмеження щодо архітектури такої підсистеми обмежена максимальним значенням РПБ 2.			

Обмеження архітектури, наведені у таблиці 3.2.1-3, повинні застосовуватися в кожній підсистемі відповідно до наступних вимог:

а) стійкість до відмов апаратних засобів N означає, що відмова N + 1 може привести до втрати ПБФУ (при визначенні стійкості до відмов не повинні враховуватися засоби, які могли б керувати впливом помилок, наприклад, засоби діагностики);

б) якщо одна помилка безпосередньо призводить до однієї або більше наступних помилок, то її розглядають як одиничну помилку;

с) у визначенні стійкості до відмов апаратних засобів деякі помилки можуть бути виключені за умови, що імовірність їх виникнення дуже мала по відношенню до вимог повноти безпеки підсистеми (будь-які винятки помилок повинні бути обґрунтовані і документально оформлені).

Обмеження архітектури згідно з таблицею 6 повинні застосовуватися до кожної підсистеми, що реалізує функціональний блок ПБФУ.

Якщо система розроблена відповідно до ISO 13849-1 і її підтвердження відповідності виконано згідно з ISO 13849-2, то в контексті архітектурних обмежень можуть бути застосовані тільки наступні співвідношення відповідно до таблиці 4.

Таблиця 3.2.1-4. Архітектурні обмеження. Зв'язок категорій з граничними вимогами по РПБ

вимогами по РПБ

Категорія	Стійкість до відмов апаратних засобів	Частка безпечних відмов (ЧБВ)	Максимальне значення граничної вимоги до РПБ, що відповідає обмеженням архітектури
	Передбачається, що підсистеми з вказаною категорією мають характеристики, наведені нижче		
1	0	< 60 %	див. Примітку 1
2	0	60 % - 90 %	РПБ 1
3	1	< 60 %	РПБ 1
	1	60 % - 90 %	РПБ 2
4	>1	60 % - 90 %	РПБ 3 (див. примітку 3)
	1	>90 %	РПБ 3 (див. примітку 4)

*** Примітки:**

1. Вважається, що підсистеми категорій 1 і 2, у яких ЧБВ < 60%, не задовольняють вимогам ISO 13849-1, тому підсистеми, розроблені відповідно до ISO 13849-1, на практиці будуть досягати значень ЧБВ більше 60%.

2. Передбачається, що для підсистем категорії 2 значення ЧБВ > 90% не буде досягнуто застосуванням вимог до її розробки, представлених в ISO 13849-1.

3. Передбачається, що для підсистем категорії 4 охоплення діагностики буде <90%, якщо стійкість до відмов апаратних засобів (накопиченим відмовам) більше одиниці.

4. Підсистема категорії 4 вимагає значення ЧБВ більше 90%, якщо стійкість до відмов апаратних засобів такої підсистеми дорівнює одиниці.

5. Вважається, що підсистема категорії В, яка задовольняє вимогам ISO 13849-1, не досягає РПБ 1.

Для визначення граничних вимог до РПБ з урахуванням архітектурних обмежень, де це необхідно, повинна бути виконана оцінка ЧБВ.

При оцінці ЧБВ для кожної підсистеми повинен бути проведений аналіз (наприклад, аналіз дерева відмов, видів і наслідків відмов), щоб визначити всі відповідні відмови і їх види. Чи є відмова безпечною або небезпечною, залежить від ПБЕСУ і виконуваних ПБФУ, включаючи функцію реакції на відмову.

Ймовірність кожного виду відмови повинна бути визначена на підставі ймовірності виникнення пов'язаного (их) з нею збою (їв) з урахуванням заданого застосування підсистеми і може бути отримано з таких джерел, як:

- Надійні дані про інтенсивність відмов, що зібрані з урахуванням практичного досвіду виробника і пов'язані з заданим застосуванням;
- Дані про відмову компонента з визнаних галузевих джерел і пов'язані з заданим застосуванням;
- Дані про інтенсивність відмов, що отримані за результатами тестування і аналізу.

Що стосується виконання процедури оцінки вкладів відмов із загальної причини (ВЗП) в ймовірність небезпечних випадкових відмов технічних засобів підсистеми, то для цього, безумовно, потрібні знання щодо сприйнятливості підсистеми до відмов із загальної причини.

Ймовірність виникнення відмов із загальної причини, як правило, залежить від сполучення технології, архітектури, застосування і навколишнього середовища.

Для ефективного запобігання багатьох видів ВЗП необхідно використовувати відповідну методологію оцінки чутливості до ВЗП, яка приведена у додатку F стандарту ІЕС 62061-1.

Дана методологія, що використовує простий якісний підхід для оцінки ВЗП, полягає в наступному. Запропонований проект підсистеми необхідно оцінити, щоб встановити ефективність заходів, застосованих для захисту від ВЗП. З урахуванням таблиці 3.2.1-5 повинні бути визначені застосовані для кожного конкретного випадку заходи, а також загальна оцінка, яка в подальшому використовується для визначення фактора ВЗП або бета-фактора (β) /у відсотках/ за допомогою таблиці 3.2.1-6.

Таблиця 3.2.1-5. Критерії оцінки ВЗП

Захід	Посилання	Оцінка
Поділ / виділення		
Прокладено чи всюди в ПБЕСУ різні сигнальні кабелі у різних каналах або чи достатньо вони екрановані?	1a	5
Де використовується інформація кодування/декодування, чи достатньо її для виявлення помилок передачі сигналу?	1b	10
Чи всі сигнальні та силові кабелі в ПБЕСУ відокремлені один від одного або чи достатньо вони екрановані?	2	5
Якщо елементи підсистеми можуть сприяти ВЗП, то чи розподілені фізичні пристрої, що їх регулюють, по окремим корпусам?	3	5
Диверсифікація / надмірність		
Чи реалізовані в підсистемах різні електричні технології, наприклад, одна підсистема електронна або програмована електронна, а інша використовує електромеханічні реле?	4	8
Чи застосовуються в підсистемі пристрої, реалізовані на різних фізичних принципах (наприклад, датчики захисних дверцят, що використовують механічні та магнітні методи вимірювання)?	5	10
Чи застосовуються в підсистемі елементи з різним часом виконання функцій і/або видів відмов?	6	10
Чи є елементи в підсистемі, які мають інтервал діагностичних перевірок ≥ 1 хв.?	7	10
Складність (конструкція) застосування		
Чи запобігає перехресний зв'язок між каналами обміну будь-якою інформацією, крім тієї, що використовується для діагностичного тестування?	8	2
Оцінка / аналіз		
Чи були вивчені результати аналізу видів впливу відмов для того, щоб встановити джерела відмов із загальної причини, і чи усунені при проектуванні попередньо відомі джерела відмов із загальної причини?	9	9
Чи всі можливі відмови були повністю проаналізовані та враховані в проекті?	10	9
Компетентність / навчання		
Чи розуміють розробники підсистеми причини і наслідки відмов із загальної причини	11	4
Контроль стану навколишнього середовища		
Чи можливо, що елементи підсистеми будуть працювати в заданих діапазонах температури, вологості, корозії, пилу, вібрації тощо, в яких їх робота була перевірена, без використання зовнішнього контролю стану навколишнього середовища?	12	9
Чи стійка підсистема до несприятливих впливів електромагнітного випромінювання в межах, зазначених в Додатку Е стандарту ІЕС 62061-1?	13	9
<i>* Примітка: У таблиці 1 наведені альтернативні заходи (наприклад, 1a і 1b), при цьому передбачається, що претендувати на вклад в запобігання ВЗП може тільки найбільш придатна з них.</i>		

Таблиця 3.2.1-6. Оцінка фактора ВЗП або бета-фактора (β)

Загальна оцінка	Фактор відмови за загальною причиною або бета-фактор (β)
< 35	10 % (0,1)
35 – 65	5 % (0,05)
65 – 85	2 % (0,02)
85 – 100	1 % (0,01)

* *Примітка: Отримане значення β -фактора слід використовувати при оцінці ймовірності небезпечного відмови відповідно до вимог, викладених раніше.*

Використовуючи таблицю 5, необхідно вибрати ті заходи, які впливають на проект підсистеми, потім скласти відповідні їм значення оцінок, щоб отримати загальну сумарну оцінку для реалізованого проекту. Якщо можна показати, що еквівалентний ефект із запобігання ВЗП може бути досягнутий за рахунок застосування інших конкретних заходів при проектуванні (наприклад, використання опто-ізованих пристроїв, замість екранованих кабелів), то для цього заходу також може бути заявлена відповідна оцінка і можна вважати, що вона вносить такий же внесок щодо запобігання ВЗП.

Що стосується програмного забезпечення ПБЕСУ, як вбудованого так і прикладного, то згідно вимог ІЕС 62061 та ІЕС 61508, якщо програмне забезпечення повинно використовуватись в частинах, пов'язаних з безпекою програмованих електронних систем управління (ПБЕСУ), які реалізують пов'язані з безпекою функції управління (ПБФУ), то потрібно розробити й документально оформити відповідну специфікацію вимог стосовно безпеки програмного забезпечення, яка повинна бути розроблена для кожної підсистеми на основі специфікації і архітектури ПБЕСУ.

Специфікація вимог до безпеки програмного забезпечення для кожної підсистеми повинна бути отримана з урахуванням:

- 1) вимог безпеки, заданих для ПБФУ;
- 2) вимог, що впливають з архітектури ПБЕСУ;
- 3) будь-яких вимог з планування функціональної безпеки.

Ця інформація повинна бути доступна для розробника програмного забезпечення.

Специфікація вимог до безпеки програмного забезпечення повинна бути достатньо детальною для забезпечення виконання існуючих стадій проектування і впровадження ПБЕСУ для

досягнення необхідної повноти безпеки і повинна дозволяти виконання процедури верифікації.

Алгоритм поетапної реалізації ПБЕСУ з урахуванням вимог стандарту ІЕС 61508 приведений на рис. 3.2.1-7.

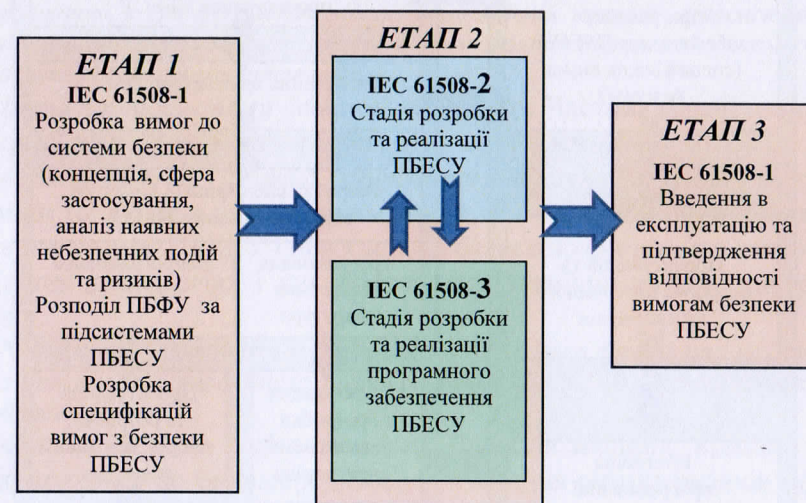


Рис.3.2.1-7. Алгоритм поетапної реалізації ПБЕСУ

На стадіях розробки та реалізації програмного забезпечення ПБЕСУ, як вбудованого так і прикладного, необхідно дотримуватись двох основних базових стандартів безпеки у цій сфері, це ІЕС 61508-2 та ІЕС 61508-3. Їх взаємозв'язок та сфери застосування представлено на рис. 3.2.1-8.

Дотримання за стандартами ІЕС 62061 та ІЕС 61508 сучасних вимог з функціональної безпеки ПБЕСУ в процесі їх життєвого циклу (розробка, проектування та експлуатація) є необхідною умовою для забезпечення прийнятних рівнів ризиків щодо можливого негативного впливу на обслуговуючий персонал небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища при експлуатації діючого промислового обладнання на підприємствах електроенергетичної галузі. Системи управління промисловим обладнанням, незалежно від умов експлуатації, повинні гарантовано виконувати необхідні функції безпеки та контролю на протязі всього життєвого циклу свого існування.

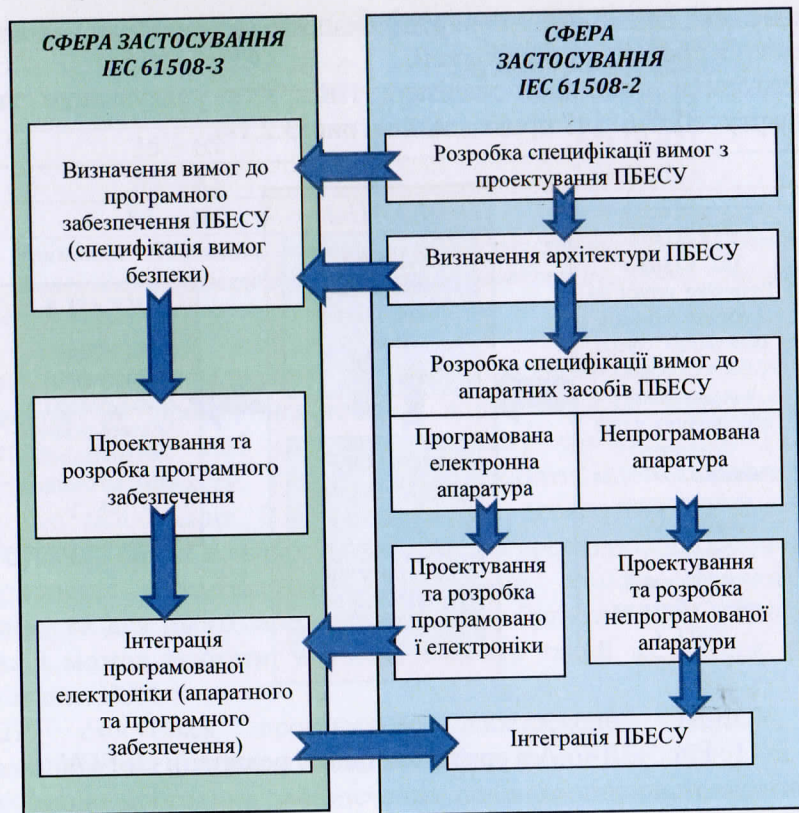


Рис. 3.2.1-8. Взаємозв'язок та сфери застосування стандартів IEC 61508-2 та IEC 61508-3

Основні терміни та визначення, що застосовані у стандартах IEC 62061 та IEC 61508

Пов'язані з безпекою електричні системи управління – /ПБЕСУ/ (Safety-Related Electrical Control System – /SRECS/): Електрична система управління, відмова якої може безпосередньо привести до збільшення ризику (ризиків).

*Примітка: ПБЕСУ включає в себе всі елементи електричної, електронної або електронної програмованої системи управління, відмова якої може привести до зниження або втрати функціональної безпеки, а також може включати у себе ланцюги електроживлення і управління.

Підсистема (subsystem): Об'єкт проекту архітектури верхнього рівня ПБЕСУ, в якій відмова будь-якої підсистеми призведе до відмови пов'язаної з безпекою функції управління.

*Примітка: Дане визначення відрізняється від тих, що зазвичай використовуються. В стандарті IEC 62061 термін «підсистема» використаний в строго визначеній термінологічній ієрархії: «підсистема» – перший рівень декомпозиції системи; компоненти подальшої декомпозиції називають «елементами підсистеми».

Елемент підсистеми (subsystem element): Частина підсистеми, що включає окремий компонент або групу компонентів.

Функціональна безпека (functional safety): Частина безпеки машини та системи управління машини, яка залежить від коректного функціонування ПБЕСУ і пов'язаних з безпекою систем, що засновані на інших технологіях і використовують зовнішні засоби зниження ризику.

*Примітка: Стандарт IEC 62061 розглядає тільки функціональну безпеку, яка залежить від коректного функціонування ПБЕСУ в застосуваннях для обладнання машин.

Функція безпеки (safety function): Функція машини, відмова якої може привести до безпосереднього збільшення ризику/ризиків / (ISO 12100).

Пов'язана з безпекою функція управління – /ПБФУ/ (Safety-Related Control Function – /SRCF /): Функція управління, реалізована ПБЕСУ з заданим рівнем повноти безпеки і призначена для підтримки безпечних умов роботи машини або запобігання збільшенню ризику (ризиків).

Функціональний блок (functional block): Найменший елемент ПБФУ, відмова якого може привести до відмови ПБФУ.

Функція діагностики ПБЕСУ (SRECS diagnostic function): Функція, яка призначена для виявлення відмов в ПБЕСУ і формування заданої вихідної інформації або дії при виявленні відмови.

Повнота безпеки (safety integrity): Імовірність того, що ПБЕСУ або її підсистема буде задовільно виконувати функції управління, що пов'язані з безпекою, при всіх зазначених умовах (IEC 61508-4).

*Примітки:

1. Чим вище рівень повноти безпеки елемента, тим нижча ймовірність того, що елемент не виконає потрібну опцію управління, що пов'язана з безпекою.

2. Повнота безпеки включає повноту безпеки апаратних засобів і систематичну повноту безпеки.

Повнота безпеки апаратних засобів (hardware safety integrity): Складова повноти безпеки ПБЕСУ або її підсистем, що включає вимоги до ймовірності небезпечних випадкових відмов технічних засобів і до архітектурних обмежень (ІЕС 61508-4).

Систематична повнота безпеки (systematic safety integrity): Складова повноти безпеки ПБЕСУ або її підсистем, що стосується її протидії систематичним відмовам, які проявляються у небезпечному режимі (ІЕС 61508-4).

* Примітки:

1. Зазвичай повнота безпеки, що стосується систематичних відмов, не може бути охарактеризована кількісно.

2. Вимоги до повноти безпеки, що стосується систематичних відмов, застосовуються як до апаратних засобів, так і до аспектів програмного забезпечення ПБЕСУ або її підсистем.

Граничні вимоги до УПБ (для підсистеми) – /ГВУПБ/ (SIL Claim Limit (for a subsystem) – / SILCL /): максимальне значення УПБ, яке може бути заявлено для підсистеми ПБЕСУ щодо архітектурних обмежень і систематичної повноти безпеки.

Ймовірність небезпечної відмови за годину – /PFH_D/ (probability of a dangerous failure per hour): Середня ймовірність небезпечної відмови за годину.

Середній час до відмови (Mean Time To Failure – /MTTF/): Очікуваний середній час напрацювання на відмову.

* Примітка: MTTF зазвичай визначається як середнє значення очікування часу безвідмовної роботи.

Цільова величина відмов (target failure value): Задане значення PFH_D, яке повинно бути досягнуто, щоб задовольнити конкретну вимогу повноти безпеки.

Стійкість до відмов (fault tolerance): Здатність ПБЕСУ, підсистеми або елемента підсистеми продовжувати виконувати необхідну функцію при наявності збоїв або помилок (ІЕС 61508-4).

Відмова (failure): Припинення здатності ПБЕСУ, підсистеми або елемента підсистеми виконувати потрібну функцію (ІЕС 61508-4 і ISO 12100-1).

* Примітка: Відмови можуть бути випадковими (в апаратних засобах) або систематичними (в апаратних засобах або в програмному забезпеченні).

Відмова з загальної причини (common cause failure): Відмова, яка є результатом однієї або декількох подій, що викликали одночасні відмови двох і більше окремих каналів у багатоканальній підсистемі

(архітектура з резервуванням), що веде до відмови ПБЕСУ (ІЕС 61508-4).

Небезпечна відмова (dangerous failure): Відмова ПБЕСУ, підсистеми або елемента підсистеми, яка може привести до небезпечного стану або помилки при виконанні відповідної функції (ІЕС 61508-4).

Безпечна відмова (safe failure): Відмова ПБЕСУ, підсистеми або її елемента, яка не викликає небезпеку.

* Примітка: Безпечна відмова не призводить до відмови або можливої відмови виконання ПФУ.

Частка безпечних відмов – /ЧБВ/ (safe failure traction – /SFF/): Частка загальної інтенсивності відмов підсистеми, які не призводять до небезпечної відмови.

* Примітка: Значення ЧБВ може бути обчислено за такою формулою:

$$\text{ЧБВ} = (\Sigma \lambda_S + \Sigma \lambda_{DD}) / (\Sigma \lambda_S + \Sigma \lambda_D),$$

де: λ_S - інтенсивність безпечних відмов;

λ_D - інтенсивність небезпечних відмов;

$\Sigma \lambda_S + \Sigma \lambda_D$ - загальна інтенсивність відмов;

$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU}$ (λ_{DD} - інтенсивність небезпечних відмов, які виявляються діагностикою; λ_{DU} - інтенсивність небезпечних відмов, які не виявляються діагностикою).

Випадкова відмова апаратних засобів (random hardware failure): Відмова, що виникає в випадковий момент часу і є результатом одного або декількох можливих механізмів погіршення характеристик апаратних засобів (ІЕС 61508-4).

Систематична відмова (systematic failure): Відмова, обумовлена певною причиною, яка може бути виключена лише шляхом модифікації проекту, виробничого процесу, операцій, документації або інших чинників (ІЕС 61508-4).

Архітектура (architecture): Конкретна конфігурація елементів апаратних засобів і програмного забезпечення ПБЕСУ (ІЕС 61508-4).

Охоплення діагностикою (diagnostic coverage): Зменшення ймовірності небезпечних відмов апаратного забезпечення, пов'язаного з виконанням автоматичних діагностичних перевірок.

Підтвердження відповідності (validation): підтвердження перевіркою (наприклад, тестами, аналізом), що ПБЕСУ відповідає вимогам функціональної безпеки для конкретного застосування (ІЕС 61508-4).

3.2.2. Сучасні технології і обладнання для систем управління з підвищеним рівнем безпеки, засоби автоматизації та сигналізації

Сучасні інноваційні технології, які застосовуються в системах управління та автоматизації, дозволяють забезпечити високу надійність їх роботи та максимально високий рівень безпеки і мінімальні ризики щодо можливого травмування виробничого персоналу та негативного впливу на оточуюче середовище при експлуатації будь-якого промислового обладнання.

Електротехнічна група «Eaton», яка є лідером у цій сфері, пропонує широкий спектр спеціалізованого обладнання для побудови високоефективних систем управління і автоматизації із розширеними функціональними можливостями та з підвищеним рівнем безпеки, в тому числі:

- інтелектуальну комунікаційну систему SmartWire-DT з технологією SmartWireDarwin (SWD), яка значно розширює комунікаційні можливості та спрощує процеси монтажу, налагодження та експлуатації як складових компонентів, так і самих систем управління та автоматизації (див. рис. 3.2.2-1);

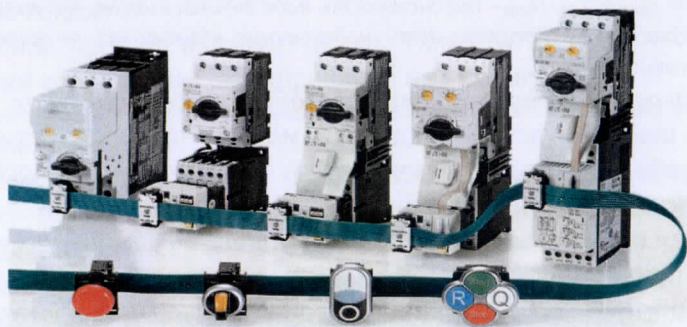


Рис. 3.2.2-1

- різноманітну електротехнічну продукцію (див. рис. 3.2.2-2): контактори; запобіжні пристрої; вимикачі навантаження; головні та сервісні вимикачі; перемикачі; промислові вимикачі-роз'єднувачі; компактні автоматичні вимикачі з функцією діагностики; перетворювачі частоти; системи гасіння дуги; пристрої для розподільних систем енергопостачання тощо;

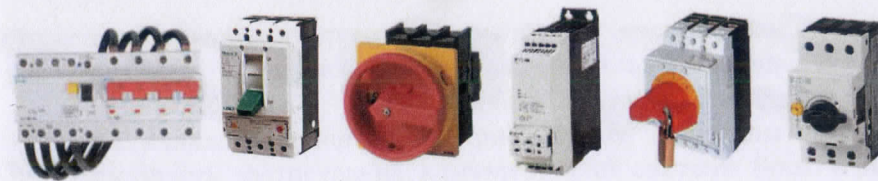


Рис. 3.2.2-2

- високотехнологічні компоненти систем автоматизації та управління (див. рис. 3.2.2-3): промислові ПК; компактні програмовані логічні контролери (ПЛК); розширювачі входів/виходів для ПЛК; модулі віддалених входів/виходів ПЛК; сенсорні панелі із вбудованими ПЛК; реле безпеки та програмовані керуючі реле для кіл безпеки «Easy Safety» (ESR); вимірювальні реле (EMR); реле часу (ETR); реле перевантаження; теплові реле; пристрої плавного пуску електродвигунів тощо;



Рис. 3.2.2-3

- датчики безпеки (див. рис. 3.2.2-4): безконтактні — ємнісні, індуктивні та фотоелектричні; вібраційні датчики та датчики тиску; механічні кінцеві вимикачі тощо;

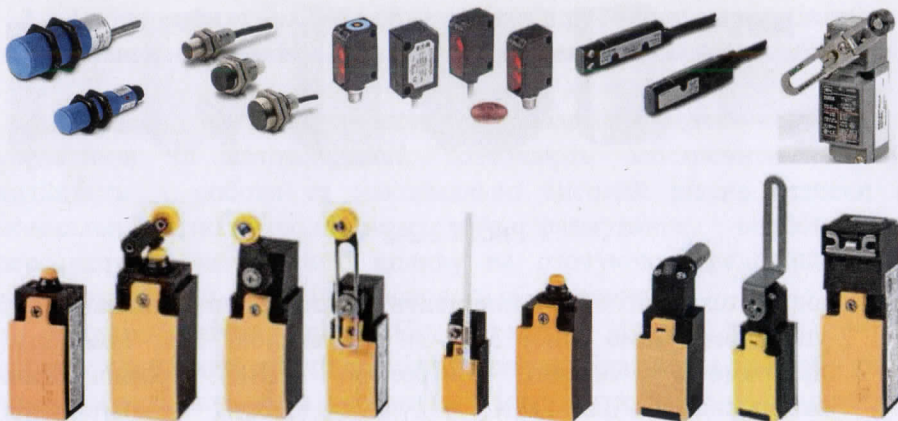


Рис. 3.2.2-4

- пристрої управління та сигналізації для пультів керування (див. рис. 3.2.2-5): уніфіковані панелі пультів керування; грибоподібні кнопки для керування рукою/ногою; кнопки аварійного відключення; кнопки під ключ та із світловим підсвічуванням; здвоєнні та чотирипелюсткові кнопки управління; джойстики; компактні акустичні сигнальні пристрої тощо;



Рис. 3.2.2-5

- світлозвукові програмовані сигнальні колони, які мають розширені функціональні можливості та побудовані з використанням універсальних базових, світлових та акустичних модулів (див. рис.3.2.2-6), а також мають можливість застосування комунікаційної системи SmartWire-DT (див. рис.3.2.2-7);



Рис. 3.2.2-6

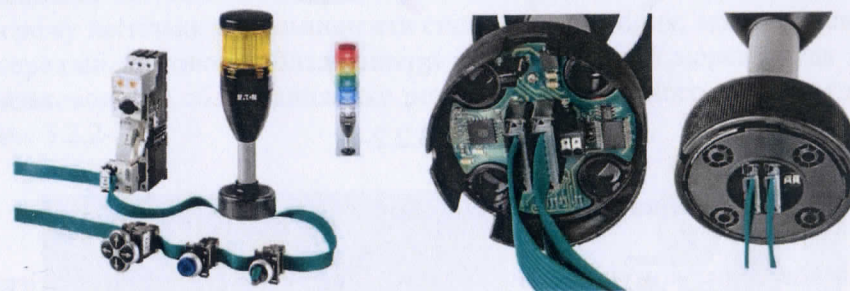


Рис. 3.2.2-7

- сенсорні дисплейні панелі з інтегрованим керуванням (вбудованими ПЛК) XV100, XV102, XV150 і XV300 та HMI (людино-машинні інтерфейси) серії XV100/XV102/XV150/XV300 (див. рис. 3.2.2-8, а), а також портативні панелі керування XVM400 (див. рис. 3.2.2-8, б) і також відповідне

програмне забезпечення для контролю за станом і роботою складових компонентів систем управління та автоматизації з можливістю дистанційного керування; система контролю, візуалізації та реєстрації даних BreakerVisu тощо.

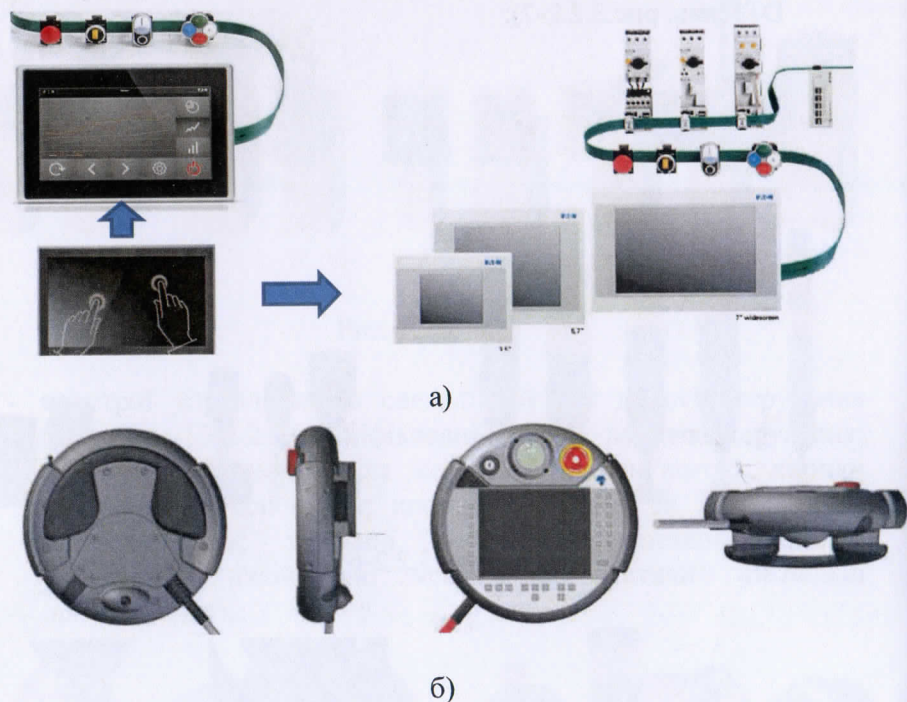


Рис. 3.2.2-8

Комунікаційна система SmartWireDarwin (SWD)

Інноваційна комунікаційна система SmartWire-DT з технологією SmartWireDarwin (SWD) забезпечує інтелектуальну комутацію компонентів систем управління як у середині, так і за межами щитового обладнання максимально простим і надійним способом, а саме з використанням єдиної комутаційної шини (див. рис. 3.2.2-9).

Завдяки тому, що система SmartWire-DT розподіляє електроживлення та сигнали управління за допомогою лише одного шлейфу, з'являється можливість значного скорочення часових витрат (до 85%) на проектування, встановлення та введення в експлуатацію

промислового електричного обладнання, а також можливість заощадження до 30% коштів, які потрібні для реалізації проекту.

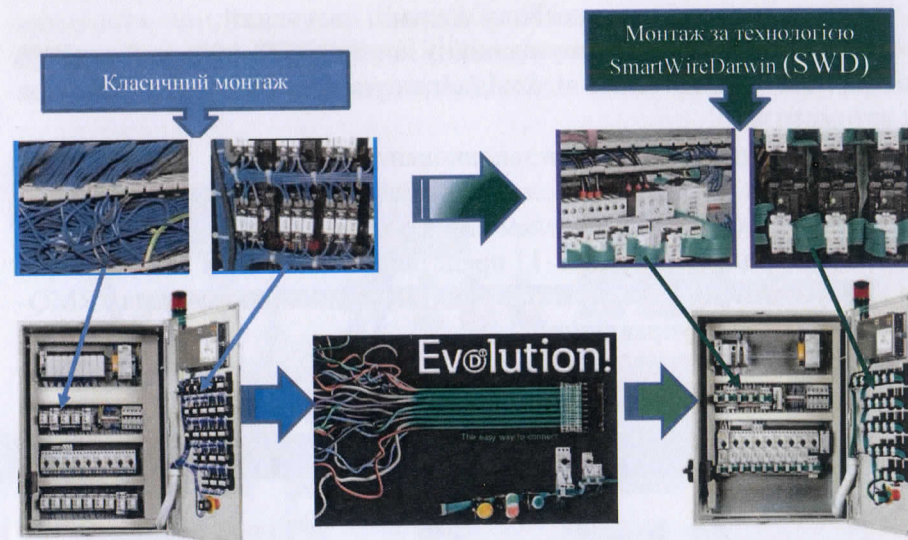


Рис. 3.2.2-9

За своїми характеристиками система SmartWire-DT є унікальною, оскільки, як вже було сказано, вона дозволяє об'єднати в одну мережу не тільки всі компоненти системи управління, які змонтовані всередині щитового обладнання, а і додати до цієї мережі будь яке низьковольтне обладнання, яке розташоване поза його межами (див. рис. 3.2.2-10).

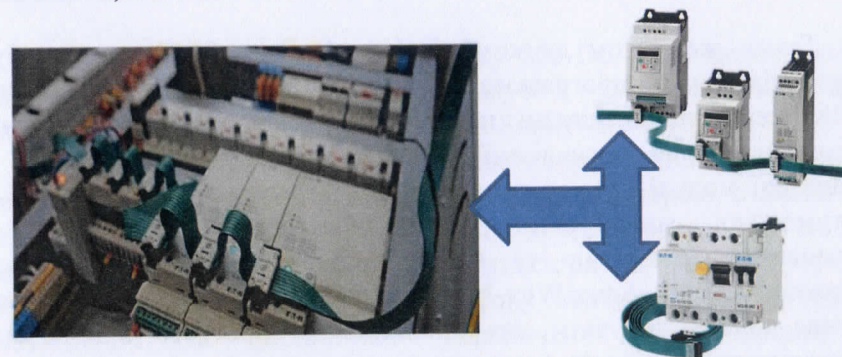


Рис. 3.2.2-10

Технологічна операція під'єднання будь-якого елемента системи управління та автоматизації до мережі SmartWire-DT максимально спрощена і потребує мінімум часу.

Алгоритм даної технологічної операції наступний:

- Встановлення на комунікаційну шину SWD (плоский шлейф) роз'єму для підключення відповідного елемента системи управління та автоматизації;

- Переміщення роз'єму на заплановане місце;
- Фіксація роз'єму за допомогою спеціалізованого інструменту;
- Приєднання обраного елемента до зафіксованого роз'єму.

Як приклад, на рис. 3.2.2-11 представлений порядок встановлення на комунікаційну шину SWD роз'єму для підключення RMQ-елемента (кнопки управління).

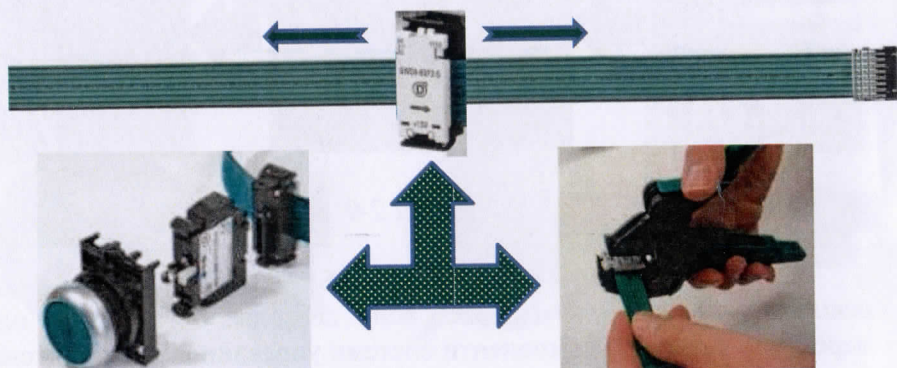


Рис. 3.2.2-11

Таким же чином до комунікаційної шини SWD можуть бути також під'єднанні програмовані реле та інші пристрої з вбудованими ПЛК, сенсорні дисплейні панелі операторів, засоби управління, автоматизації та сигналізації, перехідники, шлюзи, дискретні та аналогові модулі I/O (вхід/вихід), що дає можливість забезпечення оптимальної конфігурації розташування в мережі датчиків, виконавчих механізмів та електроприводів, додаткових модулів живлення тощо. SmartWire-DT – це високоефективна система, яку можна використовувати для швидкого та простого підключення розподільних пристроїв (наприклад, контакторів), автоматів захисту,

пристроїв управління, автоматизації, індикації та сигналізації, а також іншого технологічного устаткування.

Загальний алгоритм реалізації системи управління з використанням технології SmartWire-DT та пристроїв Easy802-DC-SWD і Easy 806-DC-SWD (ПЛК із двома вбудованими джерелами живлення) представлено на рис. 3.2.2-12.

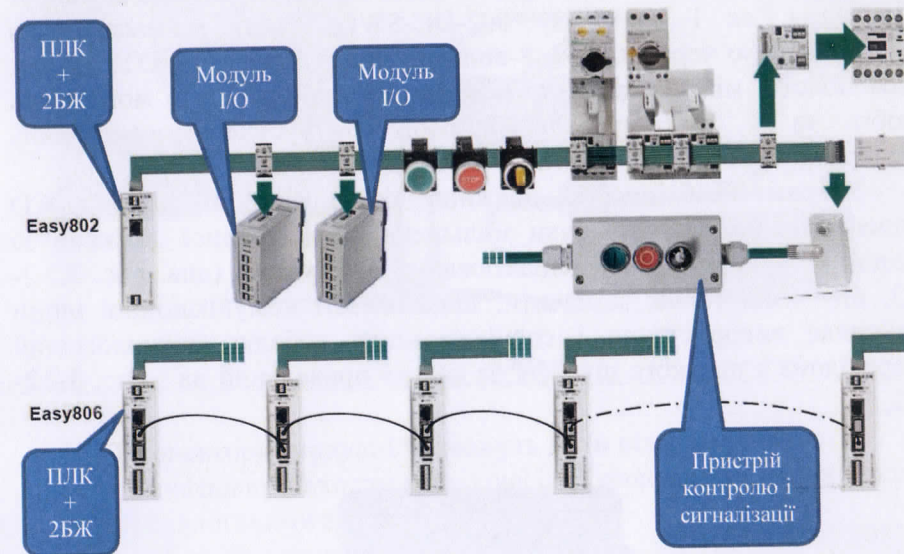


Рис. 3.2.2- 12

*Примітка: Кількість Easy 806-DC-SWD до 8 шт., довжина комунікаційної шини SmartWire-DT до 1000 м.

Пристрої Easy 802-DC-SWD та Easy 806-DC-SWD це подальші модифікації програмованого реле Easy800, які призначені для застосування в комунікаційних системах SmartWire-DT.

Пристрій Easy 802-DC-SWD має два джерела живлення; перше джерело POW для подачі живлення до самого пристрою, а також до інших пристроїв в мережі SmartWire-DT; друге джерело AUX подає живлення (24 В DC) на зовнішні контактори та інші комутуючі пристрої. Забезпечена можливість вибору необхідної конфігурації SmartWire-DT та дистанційне підключення до зовнішнього текстового дисплея або мережі Ethernet. При програмуванні у ручному режимі застосовується послідовний інтерфейс. Світлодіоди,

що розташовані на панелі пристрою, інформують про загальний стан його робочих елементів та самої системи SmartWire-DT.

По відношенню до Easy 802-DC-SWD, пристрій Easy 806-DC-SWD має додаткові функціональні можливості: чотири швидкодіючі входи, два з яких можуть бути використані в якості швидкодіючих виходів (транзисторні виходи на 24 В постійного струму, 0,1 А); додатковий інтерфейс для підключення до easyNet. Подача напруг живлення, як і для Easy 802-DC-SWD, також забезпечується безпосередньо через плоску 8-полюсну шину SmartWire-DT, що дає можливість мінімізації можливих витрат при проведенні монтажних робіт та у разі проведення робіт по усуненню можливих несправностей при експлуатації системи управління.

У разі необхідності, довжина комунікаційної шини SWD (плоский шлейф) може бути збільшена до необхідної довжини за допомогою додаткових спеціалізованих з'єднувачів (див. рис. 3.2.2-13, а). Слід також зазначити, що в якості комунікаційної шини можливе використання і спеціалізованих кабелів (технологічний перехідник з плоского шлейфу на кабель приведений на рис. 3.2.2-12, б).

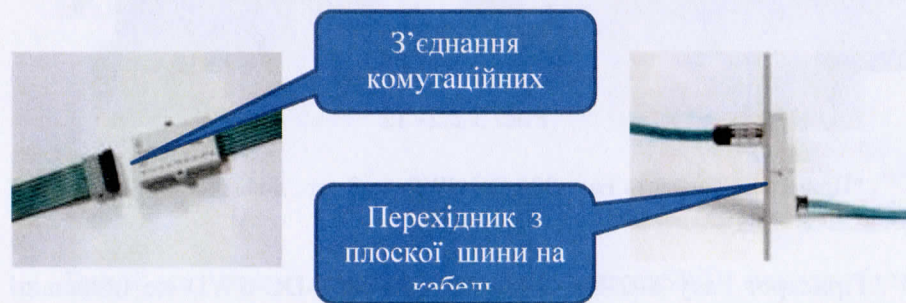


Рис. 3.2.2-13

Комунікаційні шини SWD кабельного типу мають свої переваги, наприклад, вони більш придатні для застосування у виробничих середовищах із негативним впливом зовнішніх факторів (польових умовах тощо), мають більш високий рівень надійності та ступінь захисту від пилу та вологи і т. ін., і саме тому вони все частіше використовуються в нових розробках електротехнічної групи «Eaton».

На рис. 3.2.2-14 представлений один з можливих варіантів застосування комунікаційної шини SWD кабельного типу із захистом IP67 (5-ти полюсного кабелю) для підключення подвійної кнопки управління, оптичного датчика та кінцевого пристрою за допомогою спеціалізованих Т-конекторів, які виконують функції модулів I/O (вхід/вихід).

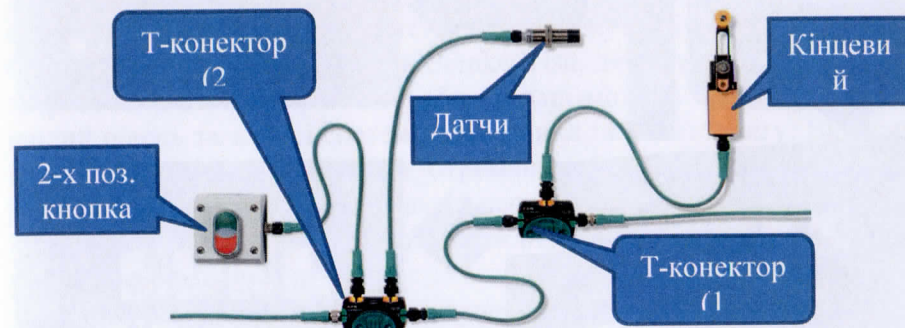


Рис. 3.2.2-14

Т-конектори (модулі I/O) можуть мати різне виконання:

- з цифровими входами або конфігурованими входами/виходами,
- з аналоговими входами та виходами,
- для вимірювання температури,
- з функцією лічильника тощо.

Система контролю, візуалізації та реєстрації даних BreakerVisu

Інтерфейс системи моніторингу BreakerVisu включає у себе стандартні інформативні та попереджувальні повідомлення на екрані дисплея (див. рис.3.2.2-15), забезпечує раннє виявлення потенційного ризику спрацювання автоматичних вимикачів, що, в свою чергу, дозволяє оперативно застосовувати відповідні превентивні заходи, перш ніж для споживачів може відбутися відключення живлення в електромережі.

Дана система забезпечує контроль, візуалізацію та реєстрацію даних усіх підключених споживачів у режимі реального часу, а також відповідний контроль заходів з активної безпеки, які повинні забезпечуватися за допомогою автоматичних вимикачів серії NZM,

NRX та IZMX, які захищають споживачів від перевантажень та коротких замикань.

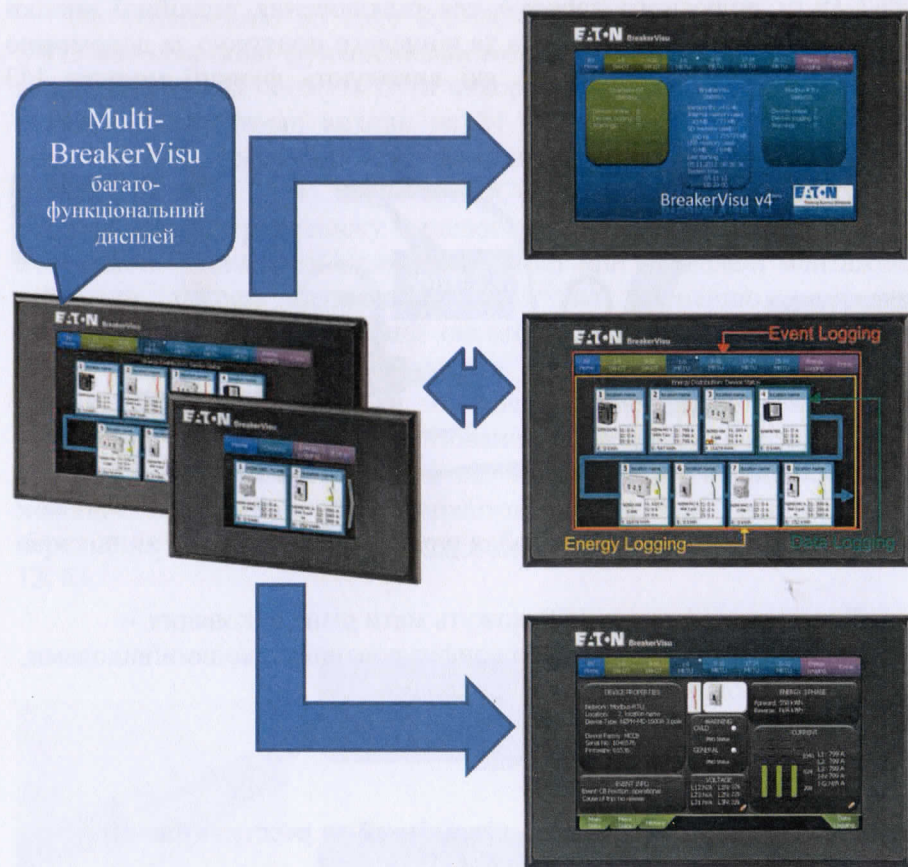


Рис. 3.2.2-15

Якщо аварійне відключення все ж таки відбудеться, величина струму (<150 кА), який викликав спрацювання захисту (автоматичних вимикачів NZM, NRX та IZMX), буде миттєво зафіксована за допомогою компактних модулів вимірювання та комунікації (NZM-XMC-MB, NZM-XMC-TC-MB та NZM-XSWD-704), що дозволить не тільки оперативно провести необхідні ремонтні роботи по відновленню електропостачання, а і оперативно провести аналіз цієї ситуації і розробити необхідні заходи щодо виключення можливості її повторення у майбутньому.

У разі застосування у щитовому обладнанні автоматичних вимикачів серії NZM та компактних модулів вимірювання та комунікації (модулі NZM-XMC-MB та NZM-XSWD-704) система моніторингу BreakerVisu може бути реалізована у наступному варіанті (див. рис. 3.2.2-16 та рис. 3.2.2-17).

Дані, отриманні за допомогою вимірювального модуля NZM-XMC-MB, через комунікаційний модуль (шлюз) NZM-XSWD-704 і одночасно через шлюз SmartWire-DT можуть бути надіслані на багатофункціональний дисплей BreakerVisu, де вони будуть локально збережені, а також, у разі потреби, ці дані можуть бути передані на вищий рівень загальної системи управління та моніторингу. Високий рівень надійності збереження отриманих даних забезпечується за рахунок їх збереження не тільки централізовано, а і локально на вбудованій SD карті, що надає можливість їх відновлення у разі відмови мережі.

**Примітка: При використанні вимірювальних і комунікаційних модулів, місцеві дисплеї можуть бути повністю замінені на єдину систему контролю, візуалізації та реєстрації даних BreakerVisu.*

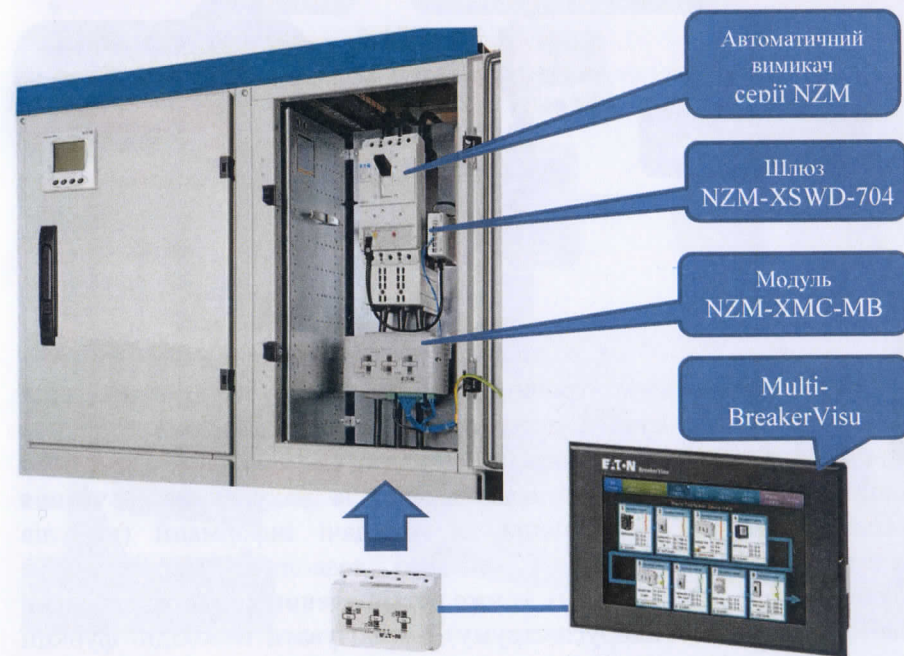


Рис. 3.2.2-16

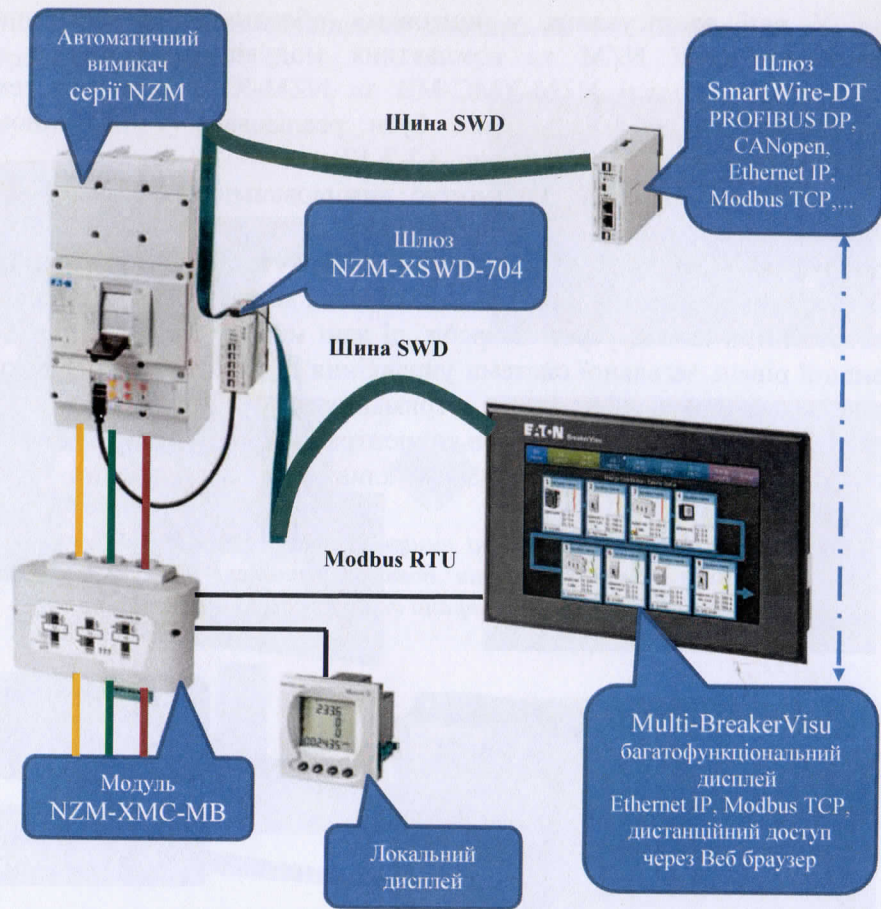


Рис. 3.2.2-17

Також система контролю, візуалізації та реєстрації даних BreakerVisu може бути з успіхом реалізована при оновленні вже діючого щитового обладнання розподільних систем із автоматичними вимикачами серії NZM та серії IZMX, за рахунок застосування новітніх модулів вимірювання та передачі інформації (модулів перетворювачів) NZM-XMC-TC-MB, які дозволяють модернізувати класичні розподільні систему із вже встановленими вимірювальними трансформаторами (напруги/струму) і реалізувати необхідні функції візуалізації, реєстрації подій та централізованого зберігання даних за допомогою системи моніторингу BreakerVisu за стандартом ISO

50001 «Energy management system» (див. рис. 3.2.2-18 та рис. 3.2.2-19).

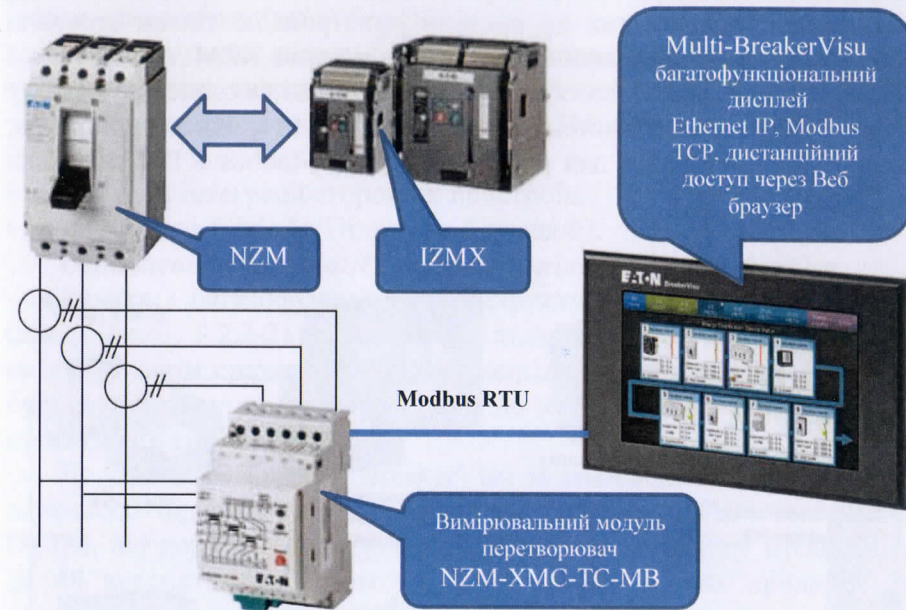


Рис. 3.2.2-18

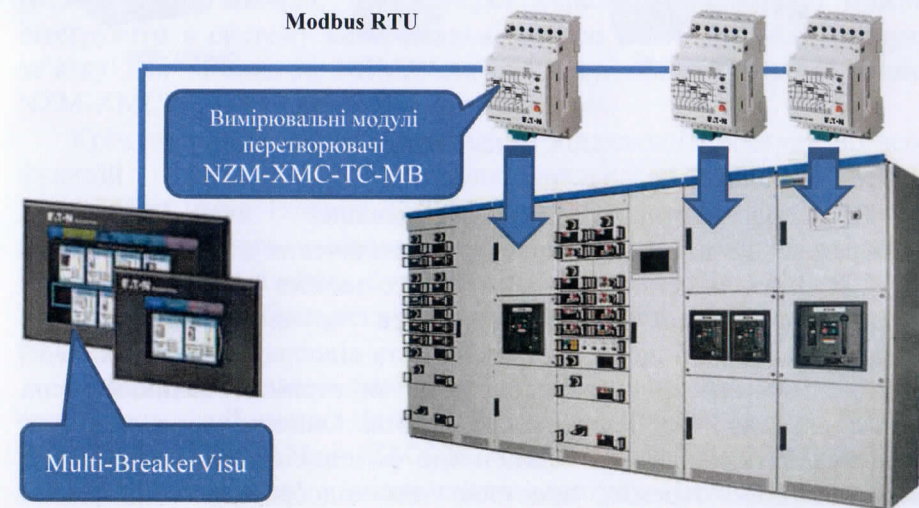


Рис. 3.2.2-19

Необхідно зазначити, що система BreakerVisu може здійснювати контроль, моніторинг та реєстрацію даних, а також автоматичне визначення підключених до системи пристроїв не тільки стосовно вже розглянутих автоматичних вимикачів серій NZM та IZMX, а і також відносно інших засобів автоматизації, які використовуються у діючій розподільній системі, в тому числі і сторонніх пристроїв, якщо вони призначені для роботи в мережі Modbus RTU (див. рис. 3.2.2-20).



Рис. 3.2.2-20

На багатофункціональному дисплеї Multi-BreakerVisu відображаються всі робочі параметри підключених до мережі Modbus RTU автоматичних вимикачів та інших засобів автоматизації, що надає можливість централізовано та зручно отримувати і опрацьовувати дані щодо їх стану. Збір та відображення даних на 7" або 3,5" НМІ сенсорних дисплеях дозволяє отримати великий масив доступних для обробки робочих даних. Одночасно, досягається економія в порівнянні із класичними розподільними системами з використанням окремих пристроїв для відображення інформації кожного з них.

Основні доступні функції:

- збір даних з декількох пристроїв (до 32 за допомогою Modbus RTU + 16 за допомогою SmartWire-DTTM);
- візуалізація даних локально та через віддалений доступ;
- протокол (дані, енергія, журнал подій);
- підключення за допомогою Modbus RTU, SWD та/або CoDe-Sys OPC server;
- можливість інтеграції сторонніх пристроїв;
- принцип Plug & Work (Підключи й працюй).

Особливості топології системи моніторингу BreakerVisu

Гнучка і багатофункціональна структура топології BreakerVisu (див. рис. 3.2.2-21) дозволяє індивідуально проектувати і налаштовувати системи контролю, моніторингу та реєстрації даних будь-якої складності у відповідності до існуючих потреб і структури проектуємої системи.

До основних переваг BreakerVisu можна віднести те, що вона одночасно підтримує мережеві системи Modbus RTU і SmartWire-DTTM, що дозволяє інтегрувати у систему моніторингу BreakerVisu до 48 автоматичних вимикачів і/або вимірювальних приладів. За допомогою мережі SmartWire-DTTM BreakerVisu підтримує зв'язок із автоматичними вимикачами серії NZM типорозміру 2, 3 і 4, а з використанням мережі Modbus RTU з автоматичними вимикачами NZM, IZMX і IZM26. Також через мережу Modbus RTU можна інтегрувати в систему вимірювальні модулі NZM-XMC-MB, модулі зв'язку для вимикачів NZM2, вимірювальні модулі перетворювачі NZM-XMC-TC-MB та інші сторонні пристрої.

Крім того, забезпечена можливість віддаленого доступу до всіх функцій локального багатофункціонального дисплея Multi-BreakerVisu через Ethernet TCP/IP. Доступ через веб-браузер надає повний спектр таких самих функцій, як і на сенсорному екрані дисплея. Таким чином, будь-яка локальна система моніторингу BreakerVisu може бути легко інтегрована в систему більш високого рівня.

Ще одною перевагою системи BreakerVisu є те, що вона допускає можливість застосування додаткових комунікаційних модулів IZMX-PCAM, IZMX-MCAM і IZMX-ECAM для організації дублюючих незалежних каналів віддаленого доступу безпосередньо до автоматичних вимикачів серії IZMX, що сприяє підвищенню надійності роботи централізованої системи моніторингу.

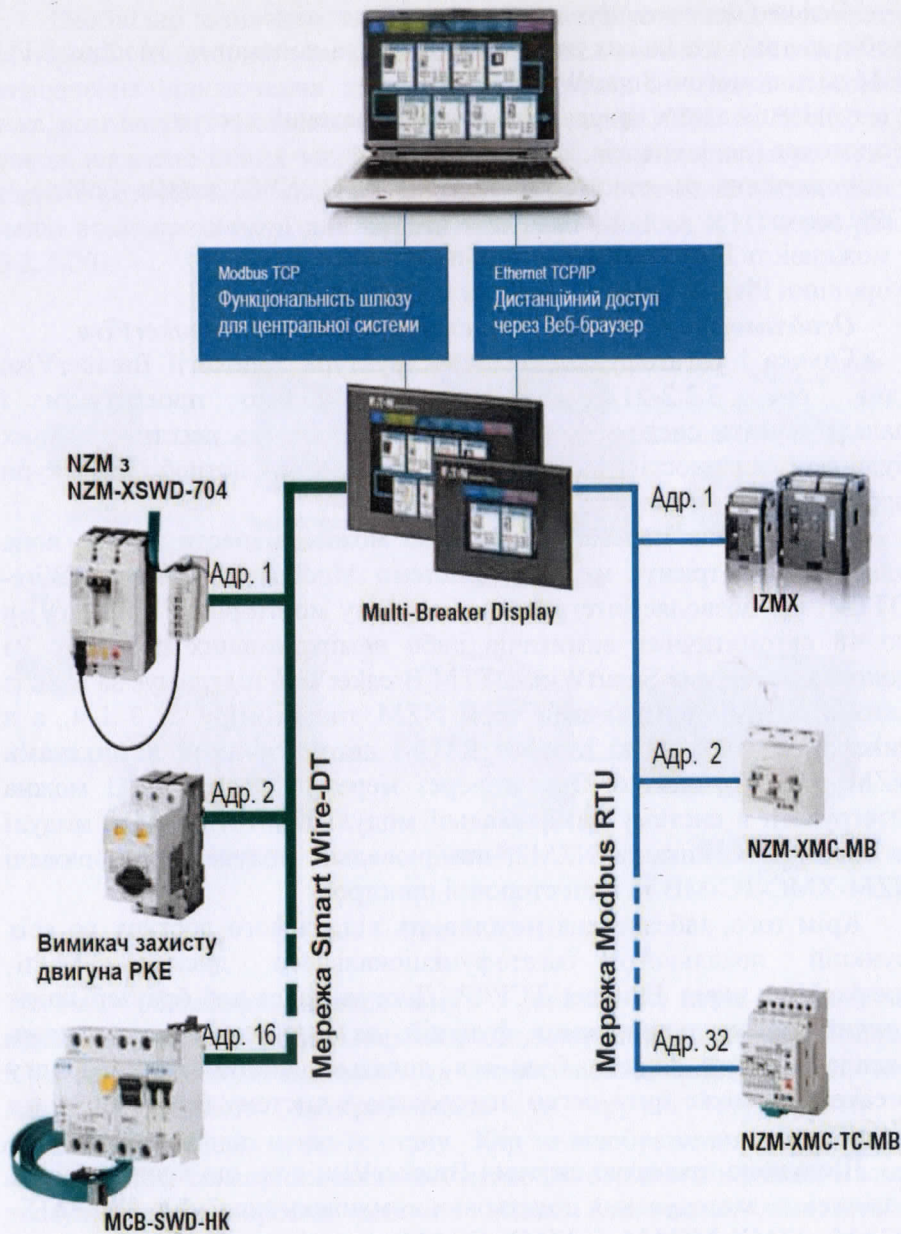


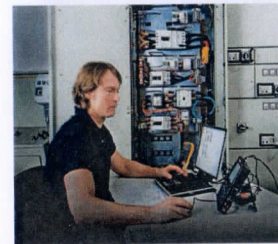
Рис. 3.2.2-21

Розроблена електротехнічною групою «Eaton» система енергетичного менеджменту, виконана у відповідності до стандарту ISO EN 50001 «Energy management system», що забезпечує скорочення витрат, зменшення енергозалежності і збереження навколишнього середовища шляхом оптимізації використання доступних ресурсів, і саме це має стати загальноприйнятою нормою в нашому суспільстві.

Одними з основних елементів загальної концепції енергозбереження є збір даних про споживання електричної енергії, що потребує проведення постійного моніторингу найбільш енергоємних споживачів, а також даних щодо загального стану розподільних систем та їх елементів.

Саме з урахуванням цих позицій і була спроектована система BreakerVisu, яка в змозі забезпечити оптимальні рішення як для малих, так і для великих компаній, у яких є бажання не тільки отримати максимальну вигоду, а і забезпечити високий рівень безпеки експлуатації енергетичних систем та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище, скориставшись перевагами новітніх систем енергетичного менеджменту.

Інноваційні технології, що розроблені електротехнічною групою «Eaton» дозволяють максимально спростити процеси проектування та монтажу системи BreakerVisu завдяки універсальності та гнучкості самої системи, яка забезпечує можливість реалізації принципу plug-and-play для максимального задоволення вимог користувачів цієї системи.



Також слід зазначити, що на додаток до існуючих рішень на апаратному рівні, електротехнічною групою «Eaton» розроблено і пропонується (безкоштовно) все необхідне для експлуатації системи BreakerVisu програмне забезпечення з функціями параметризації комунікаційних пристроїв та автоматичного аналізу, що базується на функціях звітності та web-візуалізації.

Дуже важливим фактором, з точки зору максимального розширення функціональних можливостей системи енергетичного менеджменту, також є те, що розроблена електротехнічною групою «Eaton» елементна база засобів автоматизації для систем управління дозволяє застосовувати їх в комунікаційних мережах самого різного

типу і призначення (див. рис. 3.2.2-22), що, в свою чергу, значно розширює функціональні можливості енергетичного менеджменту і підвищує надійність та безпеку експлуатації розподільних систем.

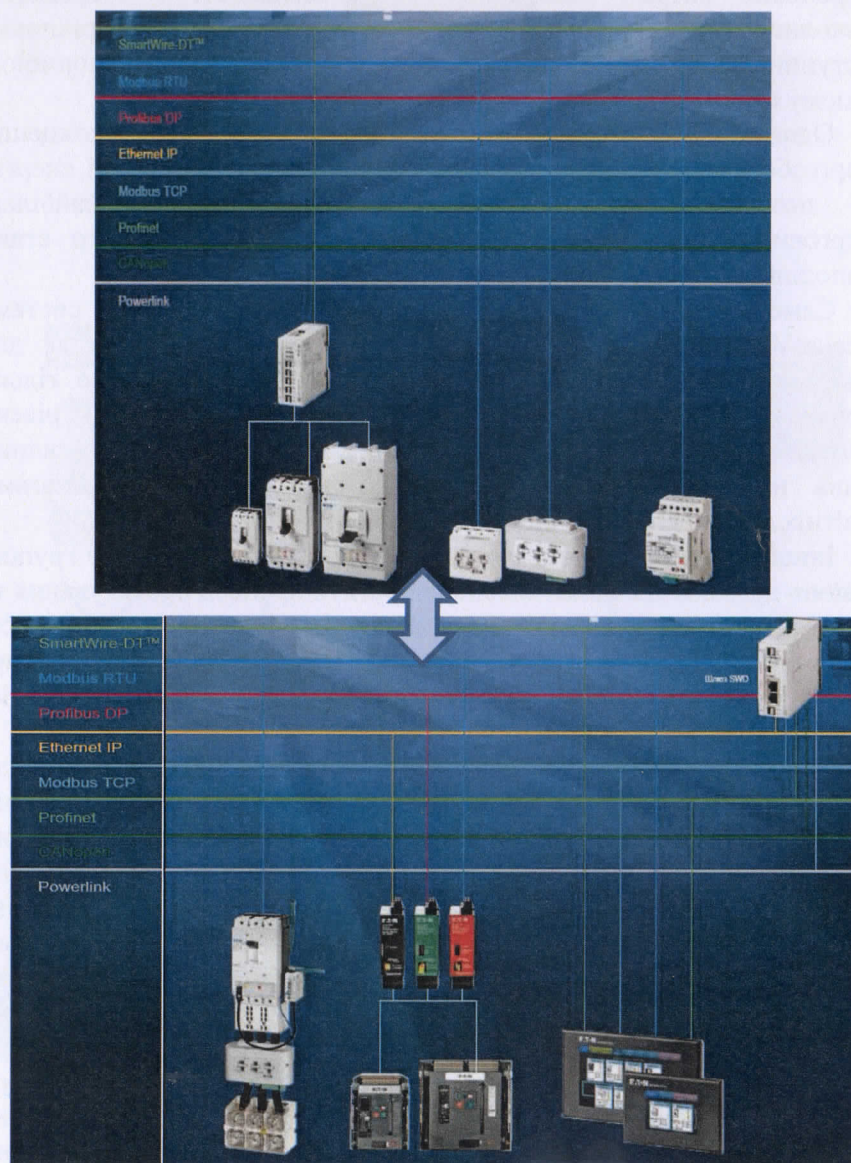


Рис. 3.2.2.-22

Питання для самоконтролю до розділу 3

До підрозділу 3.1.1

1. Які небажані та небезпечні явища можуть мати місце при експлуатації електрообладнання?
2. За якими типами класифікується дуговий пробій і які існують причини його виникнення?
3. Охарактеризуйте основні етапи еволюційного розвитку пристроїв захисту для електромереж низької напруги.
4. На які типи поділяються ПЗВ від електротехнічної групи EATON і які вони мають переваги у разі застосування IT-технологій?
5. Які переваги мають пристрої ВЗСЗН – вимикачі залишкових струмів із захистом від надструмів?
6. Які додаткові можливості надає застосування універсальних, багатофункціональних захисних пристроїв комплексної дії AFDD+?
7. У чому полягає сутність новітньої технології AFDD, яка використовується для захисту від дугових пробіїв?
8. Охарактеризуйте функціональні можливості та рівень захисту, які забезпечують існуючі види захисних пристроїв для електромереж низької напруги.

До підрозділу 3.1.2

9. Охарактеризуйте поняття «вибухонебезпечне середовище».
10. На яке обладнання та захисні системи поширюється дія Директиви АТЕХ?
11. Які існують ступені захисту оболонок електрообладнання згідно міжнародної IP-класифікації?
12. Яким чином класифікується електрообладнання у вибухозахищеному виконанні за своїм призначенням і які існують види вибухозахисту оболонок?
13. Визначте порядок та охарактеризуйте основні особливості маркування вибухозахищеного електрообладнання.
14. Як класифікуються температурні групи та категорії вибухонебезпечних сумішей повітря з газами або з парою (в залежності від температури їх самозаймання та БЕМЗ)?

15. На скільки температурних класів поділяється електрообладнання групи II в залежності від значення граничної температури поділяється?
16. На які підгрупи поділяється електрообладнання групи II з видами вибухозахисту «вибухонепроникна оболонка» та (або) «іскробезпечне електричне коло»?
17. Охарактеризуйте основні особливості застосування Директива АТЕХ 137 щодо управління вибухонебезпечними середовищами на робочих місцях.
18. Скільки існує класів вибухонебезпечних зон для газо-, пароповітряного середовища і скільки для пилоповітряного?
19. Які існують захисні засоби і заходи з вибухобезпеки та захисту від небезпечного іскріння?
20. У чому полягає особливість класифікації та маркування спеціалізованого електрообладнання у вибухозахищеному виконанні за міжнародним стандартом IEC 60079?
21. Які існують види вибухозахисту електрообладнання за стандартом IEC 60079?
22. Охарактеризуйте основні вимоги до Ex-маркування вибухозахищеного електрообладнання за стандартом IEC 60079.
23. Які існують додаткові вимоги до експлуатації спеціалізованого вибухозахищеного електрообладнання за стандартом IEC 60079?

До підрозділу 3.1.3

24. Сформулюйте поняття «релейний захист».
25. Що називається струмовим захистом направленої дії?
26. Охарактеризуйте призначення та основні властивості релейного захисту.
27. Зробіть перелік основних властивостей, що визначають особливості функціонування релейного захисту.
28. У чому полягають основні принципи побудови релейного захисту?
29. Які функції захисту можуть виконувати сучасні пристрої комплексного релейного захисту?
30. Що таке коди ANSI для пристроїв релейного захисту і де вони використовуються?

До підрозділу 3.1.4

31. Які переваги мають автоматичні вимикачі «Eaton» IZMX16 та IZMX40?
32. За рахунок використання яких додаткових пристроїв досягається розширення комунікаційних можливостей автоматичних вимикачів серії NRX?
33. Який спектр нових можливостей можуть надати передбачені в автоматичних вимикачах серії NRX функції діагностики у поєднанні з їх комунікаційними можливостями?
34. Які інноваційні рішення застосовано в конструкції автоматичного вимикача IZMX16 серії NRX?
35. Для захисту яких систем та обладнання можуть бути застосовані вимикачі серії NRX.
36. Які додаткові індивідуальні рішення використовуються при експлуатації автоматичних вимикачів серії NRX (IZMX16 та IZMX40) для забезпечення більш високого рівня захисту розподільних систем та обладнання?
37. За яким алгоритмом здійснюється обробка інформації, вибір функцій та налаштування необхідних параметрів автоматичних вимикачів серії NRX із розчіплювачами Digitrip 1150i/1150?
38. Яке додаткове портативне тестове обладнання може бути використане при обслуговуванні автоматичних вимикачів серії NRX із розчіплювачами Digitrip 1150i/1150 і в чому полягає алгоритм його застосування?

До підрозділу 3.1.5

39. Які види сучасних розподільних пристроїв та щитового обладнання використовується на основних об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації?
40. Надайте перелік основних, рекомендованих до застосування варіанти використання існуючих видів розподільних пристроїв для електромереж середньої напруги на основних об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії.
41. На яких об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії рекомендовано застосування компактного розподільного пристрою «Magnefix»?

42. Зробіть перелік основних переваг розподільного пристрою «Magnefix».
43. Які існують типи розподільних пристроїв «Magnefix» і в чому полягають їх особливості?
44. Скільки існує варіантів виконання кабельних блок-модулів з вимикачами-роз'єднувачами у розподільному пристрої «Magnefix» (тип MD4) і в чому полягає принцип роботи кожного з них?
45. Як забезпечується виконання діючих вимог з електробезпеки при виконанні технологічної операції перемикачання на щитовому розподільному обладнанні «Magnefix» (тип MD4) і використання якого спеціалізованого інструменту є при цьому обов'язковою вимогою для обслуговуючого персоналу?
46. На які етапи можна умовно поділити технологічний процес вимикання 3-х секційного комутуючого кабельного блок-модуля розподільного пристрою «Magnefix» (тип MD4)?
47. Які модифікації основних комутуючих та додаткових допоміжних блок-модулів (вузлів) використовуються у розподільному пристрої «Magnefix» (тип MD4)?
48. Зробіть перелік рекомендованих «Eaton» варіантів реалізації «комірок» розподільних пристроїв «Magnefix» (тип MD4).
49. На підключення яких типів кабелів розраховані кабельні бокси блок-модулів розподільних пристроїв «Magnefix» (тип MD4)?
50. Які існують версії виконання індикаторів короткого замикання, що доступні в розподільних пристроях «Magnefix» (тип MD4) і чим вони відрізняються одна від одної?
51. Які переваги має розподільний пристрій «Magnefix» (тип MF) у порівнянні з типом MD4?
52. Надайте перелік допоміжних захисних засобів та додаткових технологічних аксесуарів, які використовуються при експлуатації розподільного пристрою «Magnefix» (тип MF).
53. На яких об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії рекомендовано застосування компактного розподільного пристрою «Xiria» (моноблок)?
54. Які переваги має застосування КРП «Xiria» (моноблок)?
55. Яким чином здійснюється управління та доступ до перемикачів стану та вакуумних вимикачів навантаження кожної із секцій КРП «Xiria»?

56. Який рекомендований алгоритм застосування ручного приводу керування комутаціями на панелі управління модульної секції КРП «Xiria»?
57. Охарактеризуйте існуючі вимоги до технічного обслуговування моноблоку КРП «Xiria».
58. Чи відповідає КРП «Xiria» вимогам екологічної безпеки?
59. Які переваги мають КРП «Xiria-M» та «Xiria-MA» по відношенню до КРП «Xiria» (моноблок)?
60. На яких об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії рекомендовано застосовувати КРП «Xiria-M» та «Xiria-MA»?
61. Які додаткові захисні блокуючі пристрої можуть бути застосовані на панелі управління КРП «Xiria», «Xiria-M» та «Xiria-MA»?
62. Які пристрої застосовуються в системі контролю напруги КРП «Xiria», «Xiria-M» та «Xiria-MA»?
63. Охарактеризуйте особливості функціонування системи захисту КРП «Xiria», «Xiria-M» та «Xiria-MA».

До підрозділу 3.1.6

64. Які модульні розподільні пристрої середньої напруги призначені для застосування в «інтелектуальних» мережах Smart Grid?
65. Охарактеризуйте основні конструктивні та технологічні особливості компактних розподільних пристроїв модульного типу «Xiria E».
66. На яких об'єктах загального енергетичного ланцюга генерації та розподілення електроенергії рекомендовано застосування КРП модульного типу «Xiria E»?
67. У чому полягає основна особливість базової конструкції модульної секції КРП «Xiria-E» з автоматичним вимикачем?
68. Охарактеризуйте основні засоби та заходи, які використовуються в КРП «Xiria-E» для захисту від внутрішньої дуги.
69. Які переваги надає застосування вакуумних камер в двопозиційних перемикачах та в автоматичних вимикачах КРП «Xiria-E» і які особливості їх конструкцій?
70. Визначте основні елементи базової модульної секції КРП «Xiria-E» і охарактеризуйте їх особливості.

71. За допомогою яких засобів та заходів досягається мінімальний вплив на навколишню середовище у разі виникнення внутрішньої дуги при експлуатації КРП «Xiria-E»?
72. Охарактеризуйте всі можливі конструктивні варіанти виконання систем контролю та захисту від внутрішньої дуги в КРП «Xiria-E».
73. Які переваги дає застосування поглинаючого тиск технологічного каналу в конструкції модульної секції КРП «Xiria-E»?
74. Яким чином реалізується візуальний контроль за положенням робочих елементів комутуючих пристроїв КРП «Xiria-E»?
75. За допомогою яких пристроїв реалізуються системи контролю, захисту та сигналізації в КРП «Xiria-E»?
76. Яким чином здійснюється дистанційне управління, системами контролю, захисту та сигналізації при застосуванні КРП «Xiria-E» в «інтелектуальних» мережах Smart Grid?
77. Охарактеризуйте можливі варіанти виконання панелей щитового обладнання «Xiria-E».

До підрозділу 3.1.7

78. Які переваги надає застосування в КРП інноваційних вакуумних камер осевого магнітного поля (AMF)?
79. Які існують альтернативні рішення стосовно необхідності застосування у якості ізоляційного середовища елегазу (SF_6)?
80. За якими алгоритмами встановлюється «робочий», «вимкнений», «ізольований» або «заземлений» стан КРП серії «Xiria»?
81. Які можливості забезпечує застосування ІТ-технологій в системах управління, контролю, захисту та сигналізації КРП серії «Xiria»?
82. Які переваги надає використання допоміжних комунікаційних модулів для дистанційного управління, контролю, діагностики та налаштування параметрів автоматичних вимикачів?

До підрозділу 3.2

83. У якій послідовності згідно діючих вимог EN ISO 12100-1 необхідно здійснювати застосування відповідних захисних

заходів, що використовуються для усунення існуючих небезпек і зниження рівнів можливих ризиків?

84. Яким чином класифікуються рівні безпеки та рівні повноти безпеки систем управління обладнанням за стандартами EN ISO 13849-1 та IEC 62061?
85. Охарактеризуйте взаємозв'язок ймовірності небезпечної відмови за годину (PFH_d) із рівнем безпеки (РБ) PL /стандарт EN ISO 13849/ та рівнем повноти безпеки (РПБ) SIL /стандарт IEC 62061/.
86. Охарактеризувати загальний алгоритм застосування стандарту IEC 62061 при проведенні оцінки можливих ризиків і проектуванні електричних, електронних та програмованих електронних систем управління.
87. Охарактеризуйте можливі сфери застосування стандартів ISO 62061 и IEC 13849-1.
88. Як залежать структури (архітектури) елементів системи управління, що пов'язані з безпекою, від обраної категорії (В, 1,2,3,4)?

До підрозділу 3.2.1

89. Які функції безпеки необхідно реалізовувати в системах управління промисловим обладнанням і за якими діючими стандартами?
90. Охарактеризувати вимоги стандартів IEC 62061 та IEC 61508 стосовно структури (архітектури) ПБЕСУ.
91. Які існують базові архітектури підсистем, що входять до складу ПБЕСУ, у відповідності до вимог стандарту IEC 62061?
92. Які характеристики та параметри використовуються при оцінці небезпечних випадкових відмов апаратних засобів підсистем ПБЕСУ?
93. Яким чином визначається імовірність випадкових відмов апаратних засобів в ПБЕСУ (PFH_{Dn})?
94. У чому полягає методологія якісного підходу для оцінки відмов ПБЕСУ із загальної причини (ВЗП)?
95. Охарактеризуйте основні особливості застосування алгоритму поетапної реалізації ПБЕСУ з урахуванням вимог стандарту IEC 61508.
96. Охарактеризуйте існуючий взаємозв'язок та сфери застосування стандартів IEC 61508-2 та IEC 61508-3.

До підрозділу 3.2.2

97. За рахунок застосування яких систем та засобів управління, автоматизації та сигналізації забезпечується можливість побудови високоефективних інтелектуальних електромереж з розширеними функціональними можливостями та з підвищеним рівнем безпеки?
98. Які переваги забезпечує використання інноваційної комунікаційної системи SmartWire-DT з технологією SmartWireDarwin (SWD)?
99. Охарактеризуйте основні особливості технологічної операції під'єднання будь-якого елементу системи управління та автоматизації до мережі SmartWire-DT.
100. Охарактеризуйте загальний алгоритм реалізації системи управління з використанням технології SmartWire-DT.
101. Які переваги мають комунікаційні шини SWD кабельного типу по відношенню до плоского типу?
102. Що включає у себе інтерфейс багатофункціонального дисплея Multi-BreakerVisu системи моніторингу BreakerVisu і які функції виконує система?
103. Які існують можливі варіанти реалізації системи моніторингу BreakerVisu у розподільних системах?
104. Які пристрої, засоби автоматизації та комунікаційні мережі можуть бути застосовані у системі моніторингу BreakerVisu?
105. За допомогою яких модулів вимірювання та передачі інформації може бути забезпечена модернізація вже діючого щитового обладнання розподільних систем із автоматичними вимикачами серії NZM та серії IZMX для забезпечення можливості функціонування системи моніторингу BreakerVisu?
106. Яким чином застосування додаткових комунікаційних модулів IZMX-PCAM, IZMX-MCAM і IZMX-ECAM для автоматичних вимикачів серії IZMX сприяє підвищенню надійності роботи централізованої системи моніторинг?

Список використаних джерел

1. Охорона праці та цивільний захист: підручник / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О. В. Землянська, за ред. О. Г. Левченка; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т України «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – Київ: Основа, 2019. – 472 с.
2. Денисюк С.П., Рибій М.М. Енергоефективне та безпечне утримання енергоустановок. – Черкаси, 2021. – 364 с.
3. Ткачук К. Н., Зацарний В. В., Каштанов С.Ф. та ін. Охорона праці та промислова безпека/ – К.: Лібра. 2010. – 559 с.
4. Безпека життєдіяльності та цивільний захист: підручник для студ. спеціальностей з природничих, соціально-гуманітарних наук та інформаційно-комунікаційних технологій / О. Г. Левченко, О. В. Землянська, Н. А. Праховнік, В. В. Зацарний; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: Каравела, 2019. – 268 с.
5. Безпека життєдіяльності та цивільний захист: додатки до підручника для студ. спеціальностей з природничих, соціально-гуманітарних наук та інформаційно-комунікаційних технологій / О. Г. Левченко, О. В. Землянська, Н. А. Праховнік, В. В. Зацарний; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: Каравела, 2019. – 310 с.
6. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
7. ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
8. ДСН №239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань.
9. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

10. ДСТУ EN ISO 7010:2019. Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки.

11. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

12. IEC 61140:2002. Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment.

13. ДСТУ EN 61140:2015. Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання (EN 61140:2002, IDT).

14. IEC 60364-4-42:2014. Low-voltage electrical installations. Part 4-42. Protection for safety. Protection against thermal effects.

15. IEC/CEI 62423:2009. Type F and type B residual current operated circuit-breakers with and without integral overcurrent protection for household and similar uses.

16. IEC 61140:2001. Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment.

17. IEC 62606-2016. Arc fault detection devices for household and similar use. General requirements.

18. Альфред Моркс. Пожежі на установках низької напруги, викликані електричними пошкодженнями. www.diamcons.com.

19. Association Agreement between the European Union and its Member States, of the one part, and Ukraine, of the other part (Official Government Website of Ukraine).

20. On the approximation of the laws of the Member States concerning equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres: Directive 94/9/EC of the European Parliament and of the Council of 23 March / Official Journal of the European Communities – 19.04.94. – No L 100. – pp. 1-29.

21. Про затвердження Технічного регламенту обладнання та захисних систем, призначених для застосування в потенційно вибухонебезпечному середовищі / Постанова Кабінету Міністрів України від 8 жовтня 2008 р. № 898 (Із змінами внесеними згідно з постановою КМ № 632 (632-2013-п) від 28.08.2013).

22. Про затвердження Технічного регламенту низьковольтного електричного обладнання / Постанова Кабінету Міністрів України за № 1149 від 29.10.2009 р. (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ за № 810 від 29.08.2012 р., № 235 від 08.04.2013 р. та № 632 від 28.08.2013 р.).

23. On the harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres: Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 / Official Journal of the European Union – 29.03.2014. – L 96. – pp. 309-356.

24. On minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres: Directive 1999/92/EC of the European Parliament and of the Council 16 December 1999 / Official Journal of the European Union – 28.01.2000. – L 23. – pp. 57-64.

25. IEC 60947-1:2004. Апаратура розподілу та управління низьковольтна. Частина 1. Загальні вимоги та методи випробувань.

26. IEC 60079-0-98. Електрообладнання вибухозахищене. Частина 0. Загальні вимоги.

27. IEC 62013-1:2005. Світильники головні рудничні вибухозахищені. Частина 1. Загальні вимоги та методи випробувань.

28. ІЕС 60079-0:2004. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 0. Загальні вимоги.

29. ІЕС 60079-1:2003. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 1. Вибухонепроникні оболонки "d".

30. ІЕС 60079-2:2007. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 2. Оболонки під надлишковим тиском "p".

31. ІЕС 60079-5:2007. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 5. Кварцове наповнення оболонки "q".

32. ІЕС 60079-6:2007. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 6. Масляне заповнення оболонки "o".

33. ІЕС 60079-7:2006. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 7. Підвищений захист виду "e".

34. ІЕС 60079-11:2006. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 11. Іскробезпечний електричний ланцюг "i".

35. ІЕС 60079-14:2002. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 14. Електроустановки у вибухонебезпечних зонах (крім підземних виробок).

36. ІЕС 60079-15:2005. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 15. Конструкція, випробування та маркування електрообладнання з видом захисту "п".

37. ІЕС 60079-18:2004. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 18. Конструкція,

випробування та маркування електрообладнання з вибухозахистом виду «герметизація компаундом» "m".

38. ІЕС 60079-18:2004. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 18. Конструкція, випробування та маркування.

39. ІЕС 60079-25:2003. Електрообладнання для вибухонебезпечних газових середовищ. Частина 25. Іскробезпечні системи.

40. ІЕС 60079-26:2006. Вибухонебезпечні середовища. Частина 26. Устаткування з рівнем вибухозахисту обладнання "Ga".

41. ІЕС 60079-28:2006. Вибухонебезпечні середовища. Частина 28. Захист обладнання та передавальних систем, що використовують оптичне випромінювання.

42. ІЕС 60050-426-2006. Міжнародний електротехнічний словник. Глава 426. Електроустаткування для вибухонебезпечних середовищ.

43. ІЕС 61241-2-1-99. Електрообладнання, що застосовується в зонах, небезпечних для запалення пального пилу. Частина 2. Методи випробувань. Розділ 1. Методи визначення температури самозаймання пального пилу.

44. Сайт електротехнічної групи «Eaton»: www.eaton.com.vu
<https://www.eaton.com/EatonCA/ProductsSolutions/Electrical/Support/Catalogues/index.htm>.

45. Левченко О. Г., Каштанов С. Ф., Олейник А. П. Системи безпеки с двуручним управлінням. *Сварщик*. 2019. № 2. 45-49.

46. Левченко О. Г., Каштанов С. Ф. Современные требования безопасности к системам управления машин и механизмов (Часть 1). *Сварщик*. 2020. № 1. 28-33.
47. Левченко О. Г., Каштанов С. Ф. Современные требования безопасности к системам управления машин и механизмов (Часть 2). *Сварщик*. 2020. № 2. 28-31.
48. Левченко О. Г., Каштанов С. Ф., Олійник А. П. Інноваційні розробки в сфері безпеки – основа професійної підготовки випускників КПП ім. Ігоря Сікорського. *Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць*. Київ: ДУ «ННДІБООП», 2019. Вип. 35(1). 20–24.
49. Каштанов С.Ф., Полукаров Ю.О., Митюк Л.О. Сучасні вимоги з безпеки при проектуванні електричних та електронних систем управління. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Вип., 6 (119). 2019. 161-165.
50. Левченко О. Г., Каштанов С. Ф. Функциональная безопасность систем управления оборудованием машин. *Сварщик*. 2020. №4. 25-29.
51. Левченко О. Г., Каштанов С. Ф., Олейник А.П. Современные устройства комплексной защиты для низковольтного электрооборудования. *Сварщик*. 2020. № 6.22-24.
52. О.Г. Левченко, С.Ф. Каштанов (2021). Сучасні вимоги безпеки до систем управління промисловим обладнанням (Частина І. Показники безпеки систем управління). *Проблеми охорони праці в Україні*, 37(2), 9-15.
53. О.Г. Левченко, С.Ф. Каштанов (2021). Сучасні вимоги безпеки до систем управління промисловим обладнанням (Частина І. Показники безпеки систем управління). *Проблеми охорони праці в Україні*, 37(2), 9-15.

54. Serhii F. Kashtanov, Yury O. Polukarov, Oleksiy I. Polukarov, Liudmyla O. Mitiuk, Nataliia F. Kachynska. Specifics of modern security requirements for software of electronic machine control systems. *Incas Bulletin*, volume 13, special issue 2021, pp. 87-97.
55. Каштанов С.Ф. Особливості європейського законодавства з електромагнітної сумісності електрообладнання та радіоелектронної апаратури. *Вісник НТУУ «КПІ», Сер. Радіотехніка радіоапаратобудування*. 2015. Вип., 63. 136-143.
56. Каштанов С.Ф. Особливості європейського законодавства з безпеки радіо, телекомунікаційного та низьковольтного обладнання. *Вісник НТУУ «КПІ», Сер. Радіотехніка радіоапаратобудування*. Вип. 65. 2016. 130-141.
57. Machinery Directive: Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006. *Official Journal of the European Union* 09.06.2006. L157. 24–86.
58. EN ISO 12100-1/2. Safety of machinery General principles for design and risk evaluation. Basic concepts.
59. EN ISO 13849-1/2. Safety of machinery – Safety-related parts of control systems.
60. IEC 62061. Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems.
61. IEC 61508 (all parts). Functional safety electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.