

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій і систем

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
завідувач кафедри ЕСС  
д.т.н., професор Лежнюк П. Д.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ  
ЛЕП 10 КВ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО РЕЛЕ  
РЕЛСІС РЗЛ-05**

08-13.МКР.008.00.130 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу ОППІ магістр,  
групи ЕСМ-18м  
галузь знань 14 «Електрична інженерія»  
спеціальності 141 – «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
освітня програма «Електричні системи та  
мережі»  
Живелюк В.С. \_\_\_\_\_

Керівник: к.т.н., доц., каф. ЕСС  
Рубаненко О.Є. \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Рецензент

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Вінниця – 2019 року

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....   | 9  |
| ВСТУП.....   | 10 |
| 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛЕП 10 КВ .....   | 14 |
| 1.1 Призначення та характеристики ЛЕП 10 кВ.....   | 14 |
| 1.2 Аналіз пошкоджуваності ЛЕП 10 кВ .....   | 16 |
| 1.3 Види релейних захистів та протиаварійної автоматики.....   | 21 |
| 1.4 Особливості мікропроцесорних захистів .....  | 24 |
| Висновки до першого розділу .....  | 28 |
| 2 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЕ РЕЛСІС 05Л .....  | 29 |
| 2.1 Призначення та основні функції реле РЕЛСІС 05Л .....   | 29 |
| 2.2 Структурна схема та її опис.....   | 30 |
| 2.2.1 Призначення та основні функції блоку 1 .....   | 33 |
| 2.2.2 Призначення та основні функції блоку 2 .....   | 39 |
| 2.2.3 Призначення та основні функції блоку 3 .....   | 40 |
| 2.2.4 Призначення та основні функції блоку 4 .....   | 43 |
| 2.2.5 Призначення та основні функції блоку 5 .....   | 44 |
| 2.2.6 Призначення та основні функції блоку 6 .....   | 45 |
| 2.3 Підключення терміналу РЕЛСІС 05Л .....   | 47 |
| 2.4 Алгоритм роботи терміналу .....  | 48 |
| Висновки до другого розділу.....   | 53 |
| 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЛСІС 05 Л.....  | 54 |
| 3.1 Загальна характеристика програмного забезпечення «Монітор 2» .....   | 54 |
| 3.2 Особливості конфігурування та налаштування терміналів РЕЛСІС 05 Л .....  | 55 |
| Висновки до третього розділу .....   | 60 |
| 4 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМОВОГО СТУПЕНЕВОГО<br>ЗАХИСТУ РЕЛСІС 05Л.....  | 61 |
| 4.1 Початкові дані для визначення параметрів уставок релейного захисту<br>повітряної лінії електропередач 10 кВ..... | 61 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 4.2   | Визначення ступені селективності захисту з незалежною характеристикою ЛЕП 10 кВ .....        | 62  |
| 4.3   | Визначення ступені селективності захисту з обмежено залежною характеристикою ЛЕП 10 кВ ..... | 64  |
| 4.4   | Побудова характеристик часу спрацювання реле .....   | 68  |
| 4.5   | Розрахунок параметрів елементів електромеханічних реле часу .....                            | 69  |
| 4.6   | Особливості розрахунку уставок захисту кабельної ЛЕП .....                                   | 70  |
| 4.7   | Розрахунок уставок захисту кабельної ЛЕП, приєднаної до трансформатора .....                 | 78  |
| 4.8   | Визначення уставок струмових захистів нульової послідовності .....                           | 84  |
| 4.9   | Визначення уставок захисту ліній з двостороннім живленням .....                              | 90  |
|       | Висновки до четвертого розділу .....   | 93  |
| 5     | ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....   | 94  |
| 5.1   | Оцінювання комерційного потенціалу розробки .....  | 94  |
| 5.2   | Прогнозування витрат на проведення науково-дослідної роботи .....                            | 96  |
| 5.3   | Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки .....                  | 102 |
| 5.4   | Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності .....                   | 107 |
|       | Висновки до п'ятого розділу .....  | 110 |
| 6     | ОХОРОНА ПРАЦІ .....  | 112 |
| 6.1   | Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання .....                                   | 112 |
| 6.1.1 | Вимоги до організації робочих місць операторів .....   | 112 |
| 6.1.2 | Електробезпека .....   | 115 |
| 6.2   | Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії .....                                | 117 |
| 6.2.1 | Мікроклімат .....  | 117 |
| 6.2.2 | Склад повітря робочої зони .....   | 119 |
| 6.2.3 | Виробниче освітлення .....   | 119 |
| 6.2.4 | Виробничий шум .....   | 121 |
| 6.3   | Розрахунок заземлювального пристрою .....  | 123 |
| 6.4   | Безпека у надзвичайних ситуаціях .....   | 126 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.4.1 Оцінка безпеки роботи ЛЕП 10 кВ в умовах дії іонізуючих випромінювань .....                               | 127 |
| 6.4.2 Розробка превентивних заходів по підвищенню безпеки роботи ЛЕП 10 кВ в умовах надзвичайних ситуацій ..... | 128 |
| Висновки до шостого розділу .....   | 129 |
| ВИСНОВКИ .....  | 130 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....  | 132 |
| ДОДАТОК А .....   | 136 |
| ДОДАТОК Б .....   | 142 |
| ДОДАТОК В .....   | 143 |
| ДОДАТОК Г .....   | 144 |

## ВСТУП

Сільське господарство в наш час є високомеханізованим та електрифікованим, а тому вимагає надійного та безперебійного електропостачання. Недовідпуск електроенергії, перерви в електропостачанні підприємств агропромислового комплексу тягнуть за собою як прямий економічний збиток, так і технологічний, обумовлений псуванням сільгосподарської продукції. Електропостачальні організації при цьому також зазнають збитків через несплату недовідпущеної електроенергії. Отже, споживач і виробник електроенергії є зацікавленими сторонами в підвищенні надійності електропостачання.

Надійність електропостачання сільськогосподарських споживачів безпосередньо пов'язана з аварійними відключеннями розподільних мереж, найбільша кількість яких припадає на повітряні лінії електропередачі (ПЛЕП) напругою 10 кВ при впливі вітрових і ожеледно-вітрових навантажень. Так, в 2004 р через вплив вітрових навантажень, утворення на проводах ожеледі, налипання, мокрого снігу були відключені 18 ліній напругою 10 кВ в Луганській, 47 лінії в Донецькій., а також було пошкоджено 100 км ПЛЕП 10 кВ в Савранському районі Кіровоградської на той час області. В результаті масових аварійних відключень ПЛЕП 10 кВ в умовах впливу вітрових і ожеледних навантажень було припинено електропостачання 10 населених пунктів у Володимирецькому районі Рівненської обл., 64 населених пунктів в Львівській обл., 135 населених пунктів в Донецькій обл., разом 1 тис. 198 населених пунктів в дев'яти областях України та в Криму. У березні 2005 р снігопад із сильним вітром, що обрушився на Херсонську область, привів до масових обривів проводів

ПЛЕП 10 кВ, відключилися 596 підстанцій, більше 100 сіл залишилися без електрики [1, 2].

Більшість аварійних відключень при впливі вітрових і ожеледно-вітрових навантажень пов'язано з різними низькочастотними коливаннями проводів, що викликають їх зближення на небезпечні в ізоляційному відношенні відстані, короткі замикання. Однак до теперішнього часу характер і параметри взаємних переміщень проводів малих перерізів в різних динамічних режимах маловивчені і не враховуються при виборі відстаней між проводами за умовами їх зближення в прольоті. Пристрої, що застосовуються на ПЛЕП 110-500 кВ для придушення коливань проводів, на ПЛЕП 6-35 кВ малоефективні, тому що не враховують їх конструктивні особливості. Тому підвищення надійності, сільських ПЛЕП 6-35 кВ шляхом зниження їх аварійних відключень в умовах впливу вітрових і ожеледно-вітрових навантажень є актуальною проблемою, що має велике народногосподарське значення. Вона відповідає стратегічним цілям Концепції розвитку електрифікації сільського господарства України на 2010-2020 роки.

Отже **метою роботи** є дослідження систем контролю та розрахунок параметрів релейного захисту ЛЕП 10 кВ електропостачання АПК для підвищення надійності сільських розподільних мереж 10 кВ.

Відповідно до мети в роботі поставлені вирішуються наступні задачі:

- дослідити особливості ЛЕП 10 кВ, саме проаналізувати пошкоджувальність ЛЕП 10 кВ, види релейних захистів та протиаварійної автоматики;
- дослідити реле РЕЛСіС РЗЛ 05Л: призначення, основні функції, структурну схему, підключення та алгоритм роботи;
- проаналізувати програмне забезпечення «Монітор 2» для реле РЕЛСіС РЗЛ 05 Л;

- визначити параметри струмового ступеневого захисту РЕЛСІС РЗЛ 05Л на прикладах ЛЕП 10 кВ;
- оцінити комерційний потенціал розробки пристрою контролю РЗА;
- розрахувати ефективність вкладених інвестицій та період їх окупності;
- дослідити та запропонувати рішення з безпечної експлуатації електричного обладнання;
- оцінити безпеку роботи релейного захисту ЛЕП 10 кВ в умовах дії іонізуючих випромінювань;
- розробити превентивні заходи з підвищення безпеки роботи ЛЕП 10 кВ в умовах надзвичайних ситуацій.

**Об'єкт дослідження** – методи релейного захисту сільських повітряних ліній електропередачі напругою 10 кВ.

**Предмет дослідження** – засоби релейного захисту сільських повітряних ліній електропередачі напругою 10 кВ.

**Методи дослідження.** Для розрахунку струмів замикань використовувались методи теоретичних основ електротехніки; для розрахунку уставок релейних захистів використовувались методи теорій релейного захисту.

**Наукова новизна одержаних результатів:** полягає в комплексному підході до розрахунку та вибору захистів повітряних ЛЕП 10 кВ, та модернізації релейного захисту ліній електропередачі шляхом встановлення терміналів захистів РЕЛСІС 05Л.

**Практична цінність.** Приклади та методика розрахунку уставок, а також результати аналізу сучасного релейного захисту можуть бути використані під час проектування та експлуатації систем електропостачання підприємств АПК

Структура та обсяг роботи: робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, додатку. Вона викладена на 136 аркушах друкованого тексту і містить 15 таблиць, 37 рисунків. При виконанні кваліфікаційної роботи було використано 35 літературних джерел.



## 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛЕП 10 кВ

### 1.1 Призначення та характеристики ЛЕП 10 кВ

Повітряною лінією електропередачі називається пристрій для передачі й розподілу електроенергії по проводах, розташованих на відкритому повітрі й прикріплених за допомогою ізоляторів і арматури до опор або кронштейнів, стінкам на будинках та інженерних спорудах (мостах, шляхопроводах і т.п.) [1].

Повітряні лінії виконуються неізольованими проводами. У залежності від конструкції розрізняють однодротові, багатодотові монометалічні, багатодотові біметалічні і порожні проводи. Перетини проводів нормовані державним стандартом. Питомий опір мідних дротів – 18 Ом мм<sup>2</sup>/км, а алюмінієвих – 28,8 Ом мм<sup>2</sup>/км. Питомий опір сталевих проводів на багато вище, ніж у мідних або алюмінієвих і залежить від струму, що протікає, тому що сталь є магнітним матеріалом. Мідні і бронзові проводи для ПЛЕП у даний час не застосовуються через велику вартість міді. Це обумовило широке використання більш дешевих алюмінієвих проводів. Невелика механічна міцність алюмінію привела до появи сталевалюмінієвих проводів, у яких сердечник виконаний зі сталевих дротів.

Грозозахисні троси, як правило, виконуються зі сталі. В останні роки грозозахисні троси використовуються для організації високочастотних каналів зв'язку.

За умовами механічної міцності на ПЛЕП варто застосовувати проводи перетином не менш 16 мм<sup>2</sup> для алюмінію і 10 мм<sup>2</sup> для сталевалюмінію. Алюмінієві однодротові проводи взагалі не випускаються через їхню низьку міцність. Багатодотові алюмінієві проводи звичайно застосовуються тільки в розподільних мережах напругою до 10 кВ, а в мережах з більш високою напругою використовуються сталевалюмінієві

проводи. Провід марки А складається з алюмінієвих дротів одного діаметра – число дротів від 7 до 61, скручених концентричними повіями. АКП – провід марки А, але його міждротовий простір заповнений нейтральним змащенням підвищеної термостійкості, що протидіє появі корозії. Корозійно стійкий провід АКП застосовується для ПЛЕП поблизу морського узбережжя, солоних озер і хімічних підприємств.

ПЛЕП напругою 10 кВ застосовуються переважно для електропостачання сільськогосподарських (позаміських) споживачів.

Висота опор ЛЕП напругою 10 кВ близько 17 метрів, на цих лініях використовуються гірлянди з трьох ізоляторів (рис. 1.1). Скляні ізолятори хороші тим, що при пробої вони руйнуються, це легко помітити, і технічне обслуговування та діагностика таких повітряних ліній електропередачі порівняно легкі.



Рисунок 1.1 – ПЛ 10 кВ

## 1.2 Аналіз пошкоджуваності ЛЕП 10 кВ

Причини пошкоджуваності повітряних ліній електропередачі в основному пояснюються наступними факторами: перенапруженнями (атмосферними і комутаційними), змінами температури навколишнього середовища, дією вітру, ожеледі утвореннями на проводах, вібрацією, «танцем» проводів, забрудненням повітря [2].

Атмосферні перенапруги на лініях виникають через грозові явища (рис. 1.2). При таких короточасних перевантаженнях часто виникають пробої ізоляційних проміжків і зокрема перекриття ізоляції, а іноді і її руйнування або пошкодження.

Перекриття ізоляції зазвичай супроводжується виникненням електричної дуги, яка підтримується і після перенапруги, тобто при робочій напрузі (рис. 1.3). Поява дуги означає коротке замикання, тому місце пошкодження треба автоматично відключати.



Рисунок 1.2 – Удар блискавки в повітряну лінію

Комутаційні (внутрішні) перенапруги виникають при включенні і відключенні вимикачів. Дія їх на ізоляцію мережевих пристроїв аналогічно дії атмосферних перенапруг. Місце перекриття теж треба відключати автоматично.



Рисунок 1.3 – Руйнування спідниці ізолятора дугою

У мережах до 220 кВ зазвичай більш небезпечні атмосферні перенапруги. У мережах 330 кВ і вище небезпечніше комутаційні перенапруги (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Ремонт проводів на повітряній лінії

Зміни температури повітря досить великі, інтервал може бути від  $-40$  до  $+40$  ° С, крім того, провід повітряної лінії нагрівається струмом і при економічно доцільній потужності температура проводу на  $2-5$  С° вище, ніж повітря.

Зниження температури повітря збільшує допустиму по нагріванню температуру і струм провода. Одночасно з цим при зниженні температури зменшується довжина проводу, що при фіксованих точках кріплення підвищує механічні напруги.

Підвищення температури проводів призводить до їх відпалу і зниження механічної міцності. Крім того, при підвищенні температури проводи подовжуються і збільшуються стріли провисання. В результаті можуть бути порушені габарити повітряної лінії та ізоляційні відстані, що в свою чергу призводить до зниження надійності та безпеки роботи повітряної лінії електропередачі.

Дія вітру призводить до появи додаткової горизонтальної сили, отже, до додаткового механічного навантаження на проводи, троси і опори. При сильних вітрах можуть траплятися випадки одночасного пошкодження ряду опор лінії.

Ожеледні утворення на проводах виникають в результаті попадання крапель дощу і туману, а також снігу, паморозі та інших переохолоджених частинок. Ожеледні утворення призводять до появи значного механічного навантаження на дроти, троси та опори у вигляді додаткових вертикальних сил. Це знижує запас міцності проводів, тросів і опор ліній.

На окремих прольотах змінюються стріли провисання проводів, проводи зближуються, скорочуються ізоляційні відстані. В результаті ожеледних утворень виникають обриви проводів і пошкодження опор, зближення та схлещування проводів з перекриттям ізоляційних проміжків не тільки при перенапругах, але і при нормальній робочій напрузі.

Вібрація - це коливання проводів з високою частотою (5-50 Гц), малої довжиною хвилі (2-10 м) і незначною амплітудою (2-3 діаметри проводу). Ці коливання відбуваються майже постійно і викликаються слабким вітром, через що з'являються завихрення потоку, що обтікає поверхню проводу повітрям. Через вібрації настає «втома» матеріалу проводів і відбуваються розриви окремих дротів близько місць кріплення

проводу до затискачів. Це призводить до ослаблення перетину проводів, а іноді і до їх обриву.



Рисунок 1.5 – Пошкодження опори повітряної лінії в результаті дії ожеледі



Рисунок 1.6 – Каскадне пошкодження ЛЕП при ожеледі



Рисунок 1.6 – Гасник вібрації на проводі

«Галапування» проводів - це їх коливання з малою частотою (0,2-0,4 Гц), великою довжиною хвилі (близько одного-двох прольотів) і значною амплітудою (0,5-5 м і більше). Тривалість цих коливань, як правило, невелика, але іноді досягає декількох діб. Танець проводів зазвичай спостерігається при порівняно сильному вітрі і ожеледі, частіше на проводах великого перерізу. При танці проводів виникають великі механічні зусилля, що діють на проводи та опори і часто викликають обриви проводів, а іноді і пошкодження опор.

При танці проводів скорочуються ізоляційні відстані, через велику амплітуду коливань, в деяких випадках проводи схлещуються, через що можливі перекриття при робочій напрузі ліній. Танець проводів спостерігається порівняно рідко, але призводить до найбільш важких аварій повітряних ліній електропередачі. Небезпечно для роботи повітряних ліній електропередачі забруднення повітря викликане наявністю частинок золи, цементного пилу, хімічних сполук (солей) і т. п. Осадження цих частинок на вологій поверхні ізоляції лінії і електротехнічного обладнання призводить до появи провідних каналів і до ослаблення ізоляції з можливістю її перекриття не тільки при перенапругах, але і при нормальній робочій напрузі. Забруднення через наявність великої кількості солей в повітрі на узбережжі моря може привести до активного окислення алюмінію і порушення механічної міцності проводів.



Рисунок 1.7 – Підтримуючий зажим з слідом корозії

На пошкоджуваність повітряних ліній електропередачі з дерев'яними опорами впливає загнивання їх деревини.

### **1.3 Види релейних захистів та протиаварійної автоматики**

Згідно з правилами експлуатації електроустановок силові пристрої електричних мереж і електростанцій повинні бути забезпечені захистом від збоїв в експлуатації і струмів короткого замикання. Засобами захисту є спеціальні пристрої, виконані на основі реле, що виправдовує їх назва релейний захист і автоматика (РЗА). В даний час існує багато різних пристроїв, здатних в короткі час блокувати аварію в електромережі, або подати попереджувальний сигнал про виникнення аварійного режиму [3-5].

Релейний захист працює найчастіше спільно з автоматикою, і їх налаштування пов'язане зі специфічними видами аварійних режимів мережі:

– Зменшення частоти струму, що виникає при раптовому перевантаженні генераторів внаслідок короткого замикання, або відключення частини інших джерел з мережі.



– Підвищення напруги. Збільшення цього параметра на 10% зменшує термін служби ламп освітлення в два рази. Такий режим виникає при раптовому розвантаженні мережі.

– Струмове перевантаження викликає надмірне нагрівання ізоляції провідників і кабелів, створює іскроутворення в контактних з'єднаннях.

Реле класифікуються за певними ознаками:

– Методу підключення: первинні, які підключаються безпосередньо в коло пристрою, і вторинні, які підключаються за допомогою трансформатора.

– Типу виконання: електромеханічні, що складаються з рухомих контактів, що відключають коло, і електронні, які знеструмлюють коло з використанням напівпровідникових елементів.

– Призначенню: вимірювальні, які виконують вимірювання параметрів, і логічні, які подають сигнали і команди інших пристроїв, виконують затримку за часом.

– Методу роботи: прямої дії, які пов'язані з пристроєм відключення механічним шляхом, і непрямої дії, які керують електричним колом електромагніту, що знеструмлює мережу живлення.

Релейний захист і автоматика бувають різних видів [6-10]:

1. Максимальний струмовий захист, включається при досягненні певної величини струму заданої при налаштуванні.
2. Струмовий направлений захист, крім уставки струму враховує напрямок потужності.
3. Диференційний захист, застосовується для захисту генераторів, трансформаторів, шин шляхом порівняння величин струмів на виході і вході. При різниці, що перевищує задане значення, спрацьовує релейний захист.
4. Газовий захист, застосовується для знеструмлення трансформатора та інших пристроїв, що працюють з трансформаторною оливою. При виникненні несправностей підвищується температура оливи, з неї

виділяються гази, знижується її діелектрична властивість. На такі аварійні режими спрацьовують механічні реле, які діють з урахуванням виникнення газу в ємності з трансформаторною оливою, а також речовин, що утворюються при розкладанні масла. При спрацьовуванні захисту подається команда на спрацювання логічної схеми.

5. Логічний, захищає шини, застосовується для визначення місця короткого замикання на живильних лініях, які відходять від шин електростанції, і на шинах.

6. Дистанційний захист – це захист із відносною селективністю, вимірний орган якого реагує на величину, що визначається відношенням комплексу напруги до комплексу струму.

7. Диференційно-фазний (ДФЗ). Застосовуються для контролю фаз на двох кінцях лінії живлення. Якщо струм перевищує уставку, реле спрацьовує.

8. Захист мінімальної напруги. В аварійних режимах, особливо при короткому замиканні, можливе зниження напруги. Для забезпечення відключення електрообладнання при зниженні напруги нижче критичного значення використовується захист мінімальної напруги. Такий захист в свою чергу ділиться на груповий та індивідуальний.

9. Захист максимальної напруги. Є два види реле, які захищають споживачі від підвищеної напруги. Перший вид - це захист, що діє за принципом відводу удару блискавки по блискавковідводу на контур заземлення. Другий вид – це пристрої, що компенсують енергію розсіяним теплом в зовнішнє середовище.

Деякі види автоматики призначені для подачі живлення, на відміну від релейного захисту:

1. Автоматичне частотне розвантаження, вимикає електричні пристрої при зниженні частоти струму в мережі.

2. Автоматичне повторне включення Область застосування - ЛЕП напругою 1 кВ і вище, а також збірні шини підстанцій, електродвигуни та трансформатори.

3. Автоматичне введення резерву, застосовується при комутації генератора в мережу в якості резервного джерела живлення.

#### **1.4 Особливості мікропроцесорних захистів**

Функціональні особливості мікропроцесорних (МП) РЗА варто розглядати в порівнянні з пристроями релейного захисту попередніх поколінь – електромеханічних і мікроелектронних [11-16, 29]. Можна виділити наступні основні особливості:

*Багатофункціональність.* Можливість об'єднати в одному пристрої декілька функцій захистів і автоматики. Одне цифрове реле функціонально замінює кілька традиційних однофункціональних. Наприклад, для лінії 10 кВ, відсічку за струмом, максимальний захист за струмом, захист від несиметричних режимів, захист від замикань на землю й АПВ.

*Інформативність.* Завдяки вбудованому дисплею і кнопкам на лицьовій панелі оператор має можливість зчитувати і візуально спостерігати значення вставок, параметрів що вимірюються (струми і напруги) і що обчислюються (частота, потужності, енергія), аварійних параметрів (пуски, спрацьовування захистів, вид короткого замикання, відстань до місця пошкодження і т.д.).

*Зв'язок із вищим ієрархічним рівнем.* По локальній мережі оператор має можливість із підстанційного комп'ютера або з диспетчерського пункту дистанційно зчитувати і змінювати значення вставок пристрою, виміряні параметри нормального й аварійного режимів, послідовності спрацьовування захистів і комплектів автоматики під час протікання аварії, а також до і після неї й ін.

*Самодіагностика.* МП РЗА самі по собі мають ряд експлуатаційних переваг у порівнянні з традиційними. Являючись системами, які самодіагностуються, вони постійно контролюють свою готовність до роботи. Виключаються достатньо поширені випадки, коли діюча система захисту непрацездатна, а персонал не має про це ніякої інформації. МП РЗА постійно

інформують про свою готовність, а визначивши несправність, уживають заходів до її усунення програмним або апаратним способом і дають вказівки персоналу для прийняття необхідних заходів. Реальна глибина самодіагностики дозволяє охопити 80-90 % вузлів пристрою. У цифрових реле при самотестуванні часто використовуються наступні прийоми. Несправність лінійного перетворювача виявляється шляхом періодичного зчитування якоїсь стабільної напруги. Якщо виявляється відмінність останнього отриманого значення від еталонного, то формується сигнал несправності. Справність оперативного запам'ятовуючого пристрою перевірюється шляхом 20 запису в комірки заздалегідь відомих чисел і порівнянням результатів, одержуваних при наступному зчитуванні. Справність постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП) перевірюється шляхом підсумовування за певним алгоритмом кодів робочої програми і порівняння результату з контрольною сумою, яка зберігається в заздалегідь відомій комірці. Цілісність обмоток вихідних реле перевірюється при короткочасній подачі на них напруги і контролі обтікання їх струмом. Також проводиться самотестування блока живлення й інших найважливіших вузлів. При подачі живлення на мікропроцесорний пристрій проводиться повна самодіагностика, протягом котрої функції захистів блоковані. Повна самодіагностика може займати від 100 мс (прості пристрої захисту об'єктів 6-10 кВ) до декількох хвилин (складні пристрої захисту й автоматики 330 - 750 кВ). У процесі роботи МП РЗА виконує локальну самодіагностику окремих модулів, не блокуючи при цьому функції захистів. Самодіагностика виконується мікропроцесором. На випадок виходу його з ладу передбачається спеціальний сторожовий таймер "watch dog", що при нормальній роботі скидається (обнуляється) з певною періодичністю. Якщо за відведений час від мікропроцесора не прийде черговий імпульс, що скидає таймер у вихідний стан, то таймер діє на вхід повернення процесора у вихідний стан. Це викликає перезапуск керуючої програми і формується попереджувальний сигнал для обслуговуючого персоналу.

*Блочне виконання.* Важливою перевагою МП РЗА є висока ремонтоздатність, в основі якої лежить блочне виконання апаратури. Блок, що вийшов із ладу, замінюється без порушення фізичної цілісності комутаційних ланцюгів за допомогою штепсельних 21 рознімачів. Цим значно зменшується час ремонту такої системи, можливість внесення несправностей персоналом при проведенні профілактики й тестувань, що особливо важливо зараз, коли загальна кількість експлуатованих вторинних систем навіть у середній енергосистемі складає сотні тисяч і постійно росте, а чисельність експлуатаційного персоналу зменшується [16-19]. Переваги та недоліки різних поколінь пристроїв РЗА наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги і недоліки, властиві різним поколінням пристроїв РЗА

| Властивість                    | Електромеханічні  | Мікроелектронні   | Мікропроцесорні   |
|--------------------------------|---|---|---|
| Точність вставок               | Низька, потрібні додаткові вимірювальні прилади             | Низька (крім продуктів останнього десятиліття), потрібні додаткові вимірювальні прилади                                 | Висока, додаткові вимірювальні прилади не вимагаються   |
| Характеристики спрацьовування  | Великий розкид характеристик, низький коефіцієнт повернення | Більш точні характеристики і більш високий коефіцієнт повернення, що дозволяє зменшити вставки по струму, напрузі, часу | Практично не мають розкиду характеристик, високий коефіцієнт повернення, що дозволяє зменшити значення вставок захистів |
| Споживання                     | Велике  | Середнє   | Низьке  |
| Контроль силового устаткування | Відсутній   | Відсутній, крім продуктів останнього десятиліття.   | Є у більшості пристроїв   |

продовження табл. 1.1.

| Властивість                    | Електромеханічні                                  | Мікроелектронні  | Мікропроцесорні  |
|--------------------------------|---|--|--|
| Діапазон уставок               | Малий, є модифікації з різними діапазонами виміру | Більший, тому потрібно менше число модифікацій   | Великий, не потрібні модифікації з різними діапазонами виміру  |
| Стійкість до завад             | Пристрої завадостійкі                             | Пристрої недостатньо завадостійкі, вимагаються заходи для підвищення завадостійкості   | Пристрої завадостійкі в межах норм МЕК   |
| Трудозатрати на обслуговування | Високі, відсутність убудованих функцій. контролю  | Середні, за рахунок убудованого тестового і функціонального контролю, але він недостатній  | Низькі, за рахунок повного автоматичного самоконтролю  |
| Швидкодія                      | Низька  | Середня, висока  | Висока   |
| Реєстратор                     | Відсутній   | Відсутній  | Є у більшості пристроїв  |
| Обмін інформацією              | Відсутній   | Відсутній  | Є у більшості пристроїв  |
| Індикація                      | Тільки спрацьовування                             | Індикується тільки спрацьовування захистів. У продуктах останніх десятиліть індикується робота РЗА, положення вимикача, інформація про КЗ на цифровому індикаторі. | Використовується РКІ, де індикуються вставки, параметри аварійного і нормального режимів, результати самодіагностики й ін. |

Загальні недоліки та переваги пристроїв РЗА на традиційній базі

Переважна більшість пристроїв РЗА виконано на електромеханічному та мікроелектронному принципі. Такі пристрої мають у порівнянні з мікропроцесорними ряд переваг [20-21, 23-24]: меншу вартість, за багаторічну практику накопичено значний досвід їх використання та обслуговування,

існує досить великий об'єм запасних частин для ремонту та є можливість проведення ремонту власними силами персоналу (наявність принципових схем пристрою), існують спеціальні інструменти для ремонту і регулювання характеристик таких пристроїв.

Але пристроям на традиційній елементній базі притаманні і досить суттєві недоліки, які перешкоджають або ускладнюють комплексну автоматизацію електричних мереж: великі трудозатрати на обслуговування; значні витримки часу.

### **Висновки до першого розділу**

1. На основі проведених досліджень особливості ЛЕП 10 кВ з'ясовано те, що ці лінії бувають повітряними, тоді вони виконуються неізольованими проводами та виготовляються однодротовими, багатодротовими монометалічними, багатодротовими біметалічними та з порожніми проводами та кабельними лініями;
2. В якості релейного захисту ЛЕП 10 кВ використовуються: максимальний струмовий захист, струмовий направлений захист, диференційний захист, газовий захист, логічний захист шин, дистанційний захист, захист мінімальної напруги (груповий та індивідуальний); захист максимальної напруги.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЕ РЕЛСІС 05Л

### 2.1 Призначення та основні функції реле РЕЛСІС 05Л

Пристрої серії РЗЛ-05.ВХ призначені для виконання функцій релейного захисту, автоматики, сигналізації, реєстрації аварійних параметрів, діагностики та управління вимикачами різних приєднань напругою 6 - 154 кВ комплектних розподільних пристроїв з постійним, змінним або випрямленою оперативним струмом [31], а саме:

- кабельних і повітряних ліній електропередач;
- різних приєднань введення і секційного вимикача 6 - 154 кВ;
- резервного захисту трансформатора напругою 35 - 220 кВ.

Пристрої призначені для установки в релейних відсіках КСВ, КРУ, КРУН електричних станцій і підстанцій, а також на панелях і в шафах РЗА, розташованих в релейних залах і пунктах управління.

Пристрій РЕЛСІС-05 виконує:

- функцій захистів, автоматики та управління, визначених в ПУЕ та ПТЕ;
- задання внутрішньої конфігурації (введення / виведення захистів і автоматики, вибір захисних характеристик і т.д.) через меню або з персонального комп'ютера;
- місцеве та дистанційне введення і зберігання уставок захистів і автоматики, захист паролем всіх налаштувань і уставок, перемикання двох програм уставок, а також їх захист від несанкціонованої зміни за допомогою пароля;
- налаштування управління будь-яким логічним вхідним сигналом за допомогою програми конфігурації вільно програмованої логіки;
- контроль і індикацію положення вимикача, а також контроль справності його ланцюгів управління;



- передачу параметрів аварії, введення і зміна уставок по лінії зв'язку;
- безперервний оперативний контроль працездатності (самодіагностику) протягом всього часу роботи;
- блокування всіх виходів при несправності пристрою для виключення помилкових спрацьовувань;
- отримання дискретних сигналів управління і блокувань, видачу команд управління, аварійної та попереджувальної сигналізації;
- реєстрацію подій і аварійних параметрів, запис осцилограмм аварійних подій з прив'язкою до дати і часу.

РЕЛСіС-05 має:

- гальванічну розв'язку всіх входів і виходів, включаючи харчування, для забезпечення високої перешкодозахищеності;
- високий опір і міцність ізоляції входів і виходів відносно корпусу та між собою для підвищення стійкості пристрою до перенапруг, що виникають у вторинних ланцюгах КРУ.

## 2.2 Структурна схема та її опис

Цифрові пристрої РЗ різного призначення мають багато спільного, а їх структурні схеми дуже схожі і подібні представленої на рис. 2.1. Центральним вузлом цифрового пристрою є мікроЕОМ, яка через свої пристрої введення-виведення обмінюється інформацією з периферійними вузлами. За допомогою цих додаткових вузлів здійснюється сполучення мікроЕОМ (центрального процесора) з зовнішнім середовищем: датчиками вихідної інформації, об'єктом управління, оператором і т. п.

Вузлами цифрового пристрою РЗА є вхідні U1-U4 і вихідні KL1-KLj перетворювачі сигналів, зв'язок аналого-цифрового перетворення U6, U7, кнопки управління і введення інформації від оператора SB1, SB2, дисплей для відображення інформації і блок живлення U5. Сучасні цифрові

пристрої, як правило, оснащуються і комунікаційним портом X1 для зв'язку з іншими пристроями.

Основні функції вище перелічених вузлів описані в [31, 32]. Вхідні перетворювачі забезпечують гальванічну розв'язку зовнішніх ланцюгів від внутрішніх ланцюгів пристрою. Одночасно, вхідні перетворювачі здійснюють приведення контрольованих сигналів до єдиного вигляду (як правило, до напруги) і нормованого рівня. Тут же здійснюється попередня частотна фільтрація вхідних сигналів перед їх аналого-цифровим перетворенням. Одночасно вживаються заходи щодо захисту внутрішніх елементів пристрою від впливу перешкод і перенапруг. Розрізняють перетворювачі вхідних сигналів аналогові ( $U_3, U_4$ ) і логічні ( $U_1, U_2$ ). Перші прагнуть виконати так, щоб забезпечити лінійну (або нелінійну, але з відомим законом) передачу контрольованого сигналу у всьому діапазоні його зміни.

Перетворювачі логічних сигналів, навпаки, прагнуть зробити чутливими тільки до вузької області діапазону можливого знаходження контрольованого сигналу.

Вихідні перетворювачі. Впливу пристрою на об'єкт, що захищається традиційно здійснюється у вигляді дискретних сигналів управління. При цьому вихідні ланцюги пристрою захисту виконуються так, щоб забезпечити гальванічну розв'язку комутованих ланцюгів як між собою, так і щодо внутрішніх ланцюгів пристрою P3. Вихідні перетворювачі повинні мати відповідну комутаційної здатністю і, в загальному випадку, забезпечувати видимий розрив комутованої ланцюга.

Аналого-цифровий перетворювач включає мультиплексор  $U_6$  і власне аналого-цифровий перетворювач (АЦП) -  $U_7$ . Мультиплексор - це електронний комутатор, по черзі подає контрольовані сигнали на вхід АЦП. Застосування мультиплексора дозволяє використовувати один АЦП (як правило, дорогий) для декількох каналів. У АЦП здійснюється перетворення миттєвого значення вхідного сигналу в пропорційне йому

цифрове значення. Перетворення виконуються із заданою періодичністю. В подальшому в мікроЕОМ за цими вибірками з вхідних сигналів розраховуються інтегральні параметри контрольованих сигнальних амплітудних або діючих значень [12].

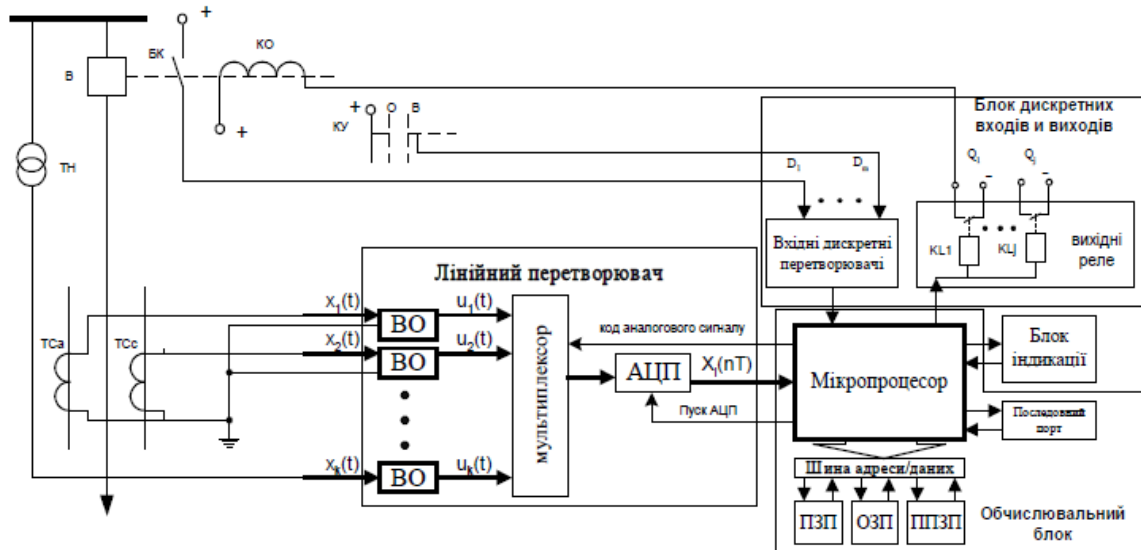


Рисунок 2.1 – Структурна схема цифрового пристрою захисту

Блок живлення (БЖ) U5 забезпечує стабілізованою напругою всі вузли даного пристрою, незалежно від можливих змін напруги в мережі живлення. Зазвичай це імпульсний БП з живленням від мережі постійного струму. Є також блоки живлення від ланцюгів змінного напруги і струму (змінний оперативний струм).

Дисплеї і клавіатура є неодмінними атрибутами будь-якого цифрового пристрою, дозволяючи оператору отримати інформацію від пристрою, змінювати режим його роботи, вводити нову інформацію. Треба відзначити, що дисплей і клавіатура SB1, SB2 цифрових пристроїв, як правило, реалізуються в максимально спрощеному вигляді: дисплей - цифробуквенне, одно- (або декілька-) рядковий; клавіатура - кілька кнопок.

Порт зв'язку з зовнішніми цифровими пристроями. Перевагою цифрових пристроїв є можливість передачі наявної інформації в інші

цифрові системи: АСУ ТП, персональний комп'ютер і т. Д., Що дозволяє інтегрувати різні системи, економлячи на каналах зв'язку, витрати на попередню обробку сигналів і т. п. Комунікаційний порт - необхідний елемент для дистанційної роботи з цим пристроєм [12].

Поряд з перерахованими вище, цифрові пристрої, в загальному випадку, можуть містити й інші вузли, наприклад, цифро-аналогові перетворювачі – при формуванні аналогових сигналів управління і регулювання.

Практично вся обробка інформації в будь-якому цифровому пристрої здійснюється всередині мікроЕОМ за певним алгоритмом, реалізованим у вигляді програми роботи. Для полегшення розуміння принципів роботи цифрових пристроїв РЗА необхідно мати хоча б загальне уявлення про пристрій і функціонування ЕОМ.

### **2.2.1 Призначення та основні функції блоку 1**

Блок 1 – блок максимального струмового захисту призначений для захисту від міжфазних коротких замикань і має 4 ступені: МСЗ-1 (ТО), МСЗ-2, МСЗ-3, МСЗ-4 [31].

МСЗ виконується з контролем трьох фазних струмів (ІА, ІВ, ІС).

Введення в роботу ступенів МСЗ і вибір режиму їх роботи здійснюється уставкой «МСЗ-п режим» для першої, другої та четвертої ступенів відповідно.

Перша, друга і четверта ступені виконані з незалежної часострумова характеристики (ВТХ). МСЗ-1, МСЗ-2 і МСЗ-4 спрацьовує при перевищенні будь-якого з фазних струмів значення вище уставки з витримкою часу. Витримка часу на спрацьовування задається уставкой «МСЗ-п час», а значення струмів спрацьовування уставкой «МСЗ-п струм».

Ступінь МСЗ-1 (ТО) може бути виконана як струмовий відсічення (ТО), тобто швидкодіюча захист від близьких міжфазних коротких замикань.

Третій ступінь МСЗ (МСЗ-3) має або незалежну, або залежну часострумову характеристику (ЧСХ). Введення в роботу ступені і вибір характеристики здійснюється уставкою «МСЗ-3 хар-ка». Вибір режиму роботи МСЗ-3 здійснюється уставкою «МСЗ-3 режим».

Доступні часострумові характеристики МСЗ-3:

1. Незалежна характеристика. час витримки визначається значенням уставки  $T_{уст}$

2. Нормально інверсна характеристика (МЕК 225-4)

$$t = \frac{0,14T_{уст}}{\left(I / I_{уст}\right)^{0,02} - 1}$$

3. Сильно інверсна характеристика (МЕК 225-4)

$$t = \frac{13,5T_{уст}}{\left(I / I_{уст}\right)^{0,02} - 1}$$

4. Надзвичайно інверсна характеристика (МЕК 225-4),

$$t = \frac{80T_{уст}}{\left(I / I_{уст}\right)^{0,02} - 1}$$

5. Крута характеристика (типу реле РТВ-1),

$$t = \frac{1}{30 \cdot \left(I / I_{уст} - 1\right)^3} + T_{уст}$$

6. Положиста характеристика (типу реле РТ-80, РТВ-4),

$$t = \frac{1}{20 \cdot \left( (I / I_{уст} - 1) / 6 \right)^{1,8}} + T_{уст}$$

Пуск ступені з залежною часострумовою характеристикою відбувається при струмах, що перевищують 1,1Іуст. Витримка часу ступені МСЗ-3 на початковій ділянці залежних характеристик обмежується уставкою «МСЗ-3 огранич».

Пристрій забезпечує автоматичний введення прискорення будь-якого ступеня МСЗ при включенні вимикача. Прискорення ступенів МСЗ-п вводиться в меню бітової уставкою «МСЗ уск джерело» після останнього включення вимикача на час витримки, що задається уставкою «МСЗ уск ввід».

Бітова уставка «МСЗ уск джерело» - число <0000>, що визначає вибір режиму прискорення ступенів МСЗ в будь-якому поєднанні. Здається вибором з двох варіантів: «1» (Увімкнути) або «0» (Вимк). Витримка часу прискорення МСЗ однакова для всіх ступенів і задається уставкою

«МСЗ УСК час». Якщо для ступенів МСЗ задана уставка за часом менш значення уставки «МСЗ УСК час», то при прискоренні МСЗ задана витримка зберігається (діє менша уставка). У разі задання залежною характеристики МСЗ-3 на час прискорення, вона перекладається в режим з незалежною характеристикою.

Для всіх ступенів МСЗ може бути введений пуск по зниженню напруги – вольтметрове (ВМ) блокування (уставка «МСЗ режим» пункти «Ненаправ з ВМ-блок» / «направ з ВМ-блок»), яке дозволяє краще відбудувати від навантажувальних струмів. ВМ-блокування працює від внутрішнього датчика напруги, при цьому відповідна ступінь МСЗ буде заблокована (до пуску), якщо всі лінійні напруги вище порогового

значення, заданого уставкою «ВМ-блок U». Умовою пуску МСЗ є зниження будь-якої лінійної напруги нижче уставки «ВМ-блок U».

Підключення датчика ВМ-блокування до функції МСЗ здійснюється в редакторі СПЛ (рис. 2.2). ВМ блокування знімається якщо виявлена несправність ланцюгів напруги (КЦН) або сигнал лог «1» на лог. вході «Авт ТН».

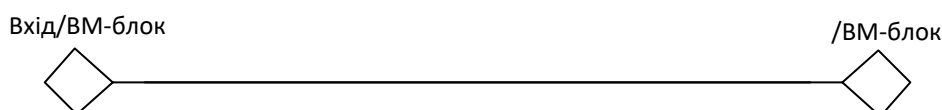


Рисунок 2.2 – Підключення ВМ-блокування в редакторі СПЛ

Для всіх ступенів МСЗ можливий вибір режиму з блокуванням від кидка струму намагнічення. При введенні блокування бітовою уставкою «МСЗ-п БТН» ступень буде спрацьовувати тільки в тому випадку, якщо відношення другої гармонійної складової струму до першої гармонійної складової менше 15%.

Бітова уставка «МСЗ БТН» - число <0000>, що визначає вибір ступенів МСЗ в будь-якому поєднанні в режимі з блокуванням від кидка струму намагнічування. Задається вибором з двох варіантів: «1» (Увімкнути) або «0» (Вимк).

При виявленні кидків струму блокується дія захисних ступенів на відключення, в той же час їх величини спрацювання і відповідні витримки часу продовжують нормально функціонувати, тобто таймери ступенів МСЗ запускаються навіть, якщо виявлені кидки струму. Також БТН блокує сигнал пуску ступені. Якщо БТН повертається під час відліку витримки часу, а аварійний струм МСЗ наявний, то витримка часу триває до відключення високовольтного вимикача (ВВ). Якщо БТН повертається після закінчення витримки часу МСЗ, то відключення відбудеться миттєво. Якщо ступінь МСЗ повертається за час БТН (струм зменшується нижче

аварійного коефіцієнта повернення), то відбувається збій таймера відповідної витримки часу.

Передбачена можливість блокування всіх ступенів МСЗ до пуску (повністю блокується ступінь МСЗ) і / або після пуску (блокується тільки дію ступенів на відключення) сигналами з логічних входів «Блок 1 МСЗ-п» і «Блок 2 МСЗ-п» відповідно.

Також можливо блокувати ступені МСЗ-1, МСЗ-2, МСЗ-3 і МСЗ-4 по напрузі 0,4 кВ через логічний вхід «Блок 1 МСЗ-п» за допомогою редактора СПЛ. Якщо необхідний введення і виведення блокування, то рекомендується використовувати одну із ступенів зовнішнього захисту в якості перемикача (рис. 2.3). Введення і виведення блокування в цьому випадку буде здійснюватися за допомогою уставки «ВНЗ режим».

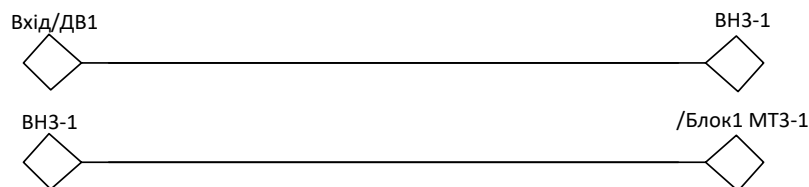


Рисунок 2.3 – Введення і виведення блокування за допомогою функції зовнішнього захисту (ВНЗ) уставки максимального струмового захисту

Функціональна логічна схема роботи ступенів МСЗ-1 (СВ), МСЗ-2, МСЗ-4 з прискоренням представлена на рис. 2.3.  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  – фазні струми;  $I_{max}$  – максимальний фазний струм;  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  – лінійні напруги;  $\langle U$  – мінімальне лінійне напруга;  $I_2$  – максимальне значення другої гармонічної складової фазного струму;

Логічні входи:



- «РПВ» – передній фронт зовнішнього сигналу (напруги) по входу РПВ (перехід з лог. «0» в лог. «1») вводить в роботу прискорення МСЗ на час, обумовлений уставкою «МСЗ УСК введення»;

- «РПО» – зовнішній сигнал необхідний для однозначного визначення сигналу РПВ (РПВ і РПО не можуть бути в однаковому стані);

- «Блок 1 МСЗ-п» – зовнішній сигнал лог. «1» на вході блокує пуск відповідної ступені МСЗ;

- «Блок 2 МСЗ-п» – зовнішній сигнал лог. «1» на вході блокує роботу відповідної ступені МСЗ, відлік часу при цьому не припиняється;

- «КЦН» – сигнал лог. «1» на вході здійснює переведення МСЗ в ненаправлений режим і зняття ВМ-блокування, якщо виявлена несправність кіл напруги (КЦН) або наявний сигнал відключеного положення автомата ТН «Авт ТН».

- «ВМ-блок» – вхід для зовнішнього датчика напруги ВМ-блокування. Логічний вхід «ВМ-блок» за замовчуванням підключений на логічний вихід «ВМ-блок».

Логічні виходи:

- «МСЗ УСК» – виводить сигнал лог. «1» при спрацьовуванні прискорення МСЗ;

- «МСЗ-п» – виводить сигнал лог. «1» при спрацьовуванні конкретної ступені МСЗ до припинення аварійного режиму;

- «МСЗ» – виводить сигнал лог. «1» при спрацьовуванні будь-якого зі ступенів МСЗ до припинення аварійного режиму;

- «Пуск МСЗ-п» – виводить постійний сигнал лог. «1» на час витримки часу (час пуску) конкретної ступені МСЗ. Передній фронт сигналу позначає початок відліку тимчасової витримки ступені, а задній – її закінчення.

- «Пуск МСЗ» – виводить постійний сигнал лог. «1» на час витримки часу (час пуску) хоча б одного із ступенів МСЗ. Передній фронт сигналу

позначає початок відліку тимчасової витримки ступені, а задній – її закінчення.

### 2.2.2 Призначення та основні функції блоку 2

Захист від перевантаження (ЗВП) призначена для сигналізації наявності перевантаження за рівнем максимального фазного струму [31].

Функція ЗВП спрацьовує при тривалому (витримка задається уставкою «ЗВП час») перевищенні значення струмів вище уставки «ЗВП струм».

Введення / висновок функції ЗВП здійснюється уставкою «ЗВП режим»

Передбачена можливість блокування ЗВП до пуску (повністю блокується ЗВП) і / або після пуску (блокується тільки дія на відключення) сигналами з логічних входів «Блок 1 ЗВП» і «Блок 2 ЗВП» відповідно. Функціональна логічна схема роботи функції ЗВП представлена на рис. 2.4.

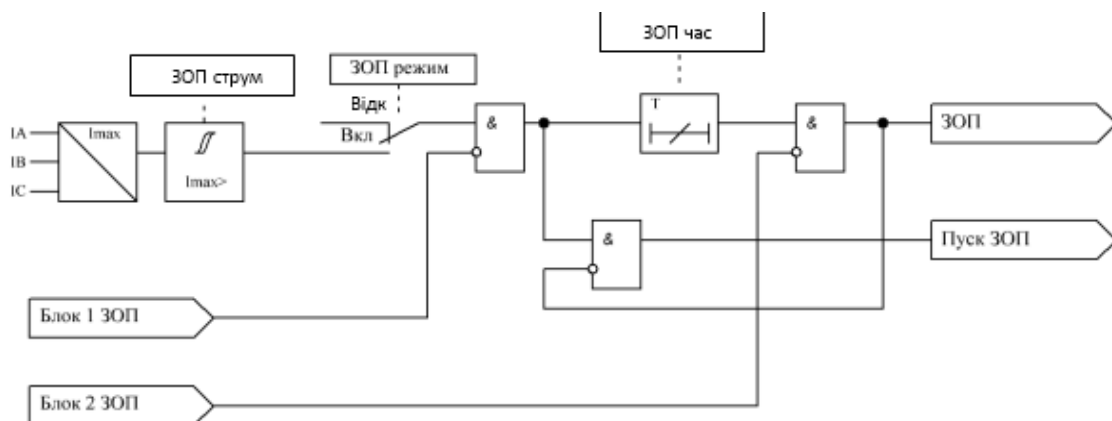


Рисунок 2.4 – Функціональна схема захисту від перевантаження

$I_A, I_B, I_C$  - фазні струми;  $I_{\max}$  - максимальний фазний струм.

Логічні входи:

- «Блок 1 ЗВП» - зовнішній сигнал лог. «1» на вході блокує пуск ступені ЗВП;

- «Блок 2 ЗВП» - зовнішній сигнал лог. «1» на вході блокує роботу ЗВП, відлік часу при цьому не припиняється.

Логічні виходи:

- «ЗВП» - виводить сигнал лог. «1» при спрацьовуванні ЗСП до зникнення аварійного режиму;

- «Пуск ЗСП» - виводить постійний сигнал лог. «1» на час витримки часу (час пуску) ЗСП. Передній фронт сигналу позначає початок відліку тимчасової витримки ступені, а задній - її закінчення.

### 2.2.3 Призначення та основні функції блоку 3

Функція реалізує триступеневий (ЗНЗ-1, ЗНЗ-2, ЗНЗ-3) захист від однофазних замикань на землю [31]:

- по струму нульової послідовності  $3I_0$ ;
- по напрузі нульової послідовності  $3U_0$ ;
- по струму, напрузі і напрямку потужності нульової послідовності (спрямований).

Введення в роботу ступенів ЗНЗ та налаштування необхідної конфігурації типу пускових органів захисту здійснюється бітовою уставкою «ЗНЗ режим».

Бітова уставка «ЗНЗ режим» – число <000000000>, що визначає вибір настройки ступенів ЗНЗ в будь-якому поєднанні (по струму  $3I_0$ , напрузі  $3U_0$ , спрямований ЗНЗ). Задається вибором з двох варіантів: «1» (Увімк) або «0» (Вимк).

Захист по струму нульової послідовності  $3I_0$  може працювати від трансформатора струму нульової послідовності, або по розрахунковому (з фазних) струму нульової послідовності. Джерело струму задається уставкою «ЗНЗ джерело  $3I_0$ ».

При використанні ненаправленого ЗНЗ по струму  $3I_0$ , умовою спрацьовування є перевищення струмом нульової послідовності уставки «ЗНЗ-п струм».

Також функція здійснює захист по напрузі нульової послідовності (ЗНЗ по  $3U_0$ ) і запускається при підвищенні напруги нульової послідовності вище значення, що задається уставкою «ЗНЗ-п  $3U_0$ ».

Можливий пуск ЗНЗ по току і за напругою нульової послідовності одночасно. Захист буде спрацьовувати якщо і струм  $3I_0$  і напруга  $3U_0$  будуть вище уставок «ЗНЗ-п струм» і «ЗНЗ-п  $3U_0$ » відповідно. Якщо спрацьовує тільки один елемент і введено ЗНЗ по струму і напрузі, захист блокується (блокування ЗНЗ до пуску при несправності кіл струму  $3I_0$  і напруги  $3U_0$ ).

У ЗНЗ також можна формувати сигналізацію несправності кола  $3I_0$  (ЗНЗ КТЦ) по перевищенню рівня струму і відсутності підвищення напруги. Значення рівня струму  $3I_0$  формування сигналізації задається уставкою «ЗНЗ КТЦ струм», значення відсутності підвищення напруги – уставкою «ЗНЗ КТЦ  $3U_0$ ». Якщо струм  $3I_0$  більше уставки «ЗНЗ КТЦ струм» і напруга  $3U_0$  менше уставки «ЗНЗ КТЦ  $3U_0$ », то на логічному виході «ЗНЗ КТЦ» буде сигнал лог. «1». Приклад підключення сигналізації на СДІ наведено на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Підключення сигналізації пошкодження кола  $3I_0$

Передбачена можливість блокування всіх ступенів ЗНЗ до пуску (повністю блокується ступінь ЗНЗ) і / або після пуску (блокується тільки дія ступенів на відключення) сигналами з логічних входів «Блок 1 ЗНЗ-п» і «Блок 2 ЗНЗ-п» відповідно.

Функціональна логічна схема роботи функції ЗНЗ представлена на рис. 2.6.

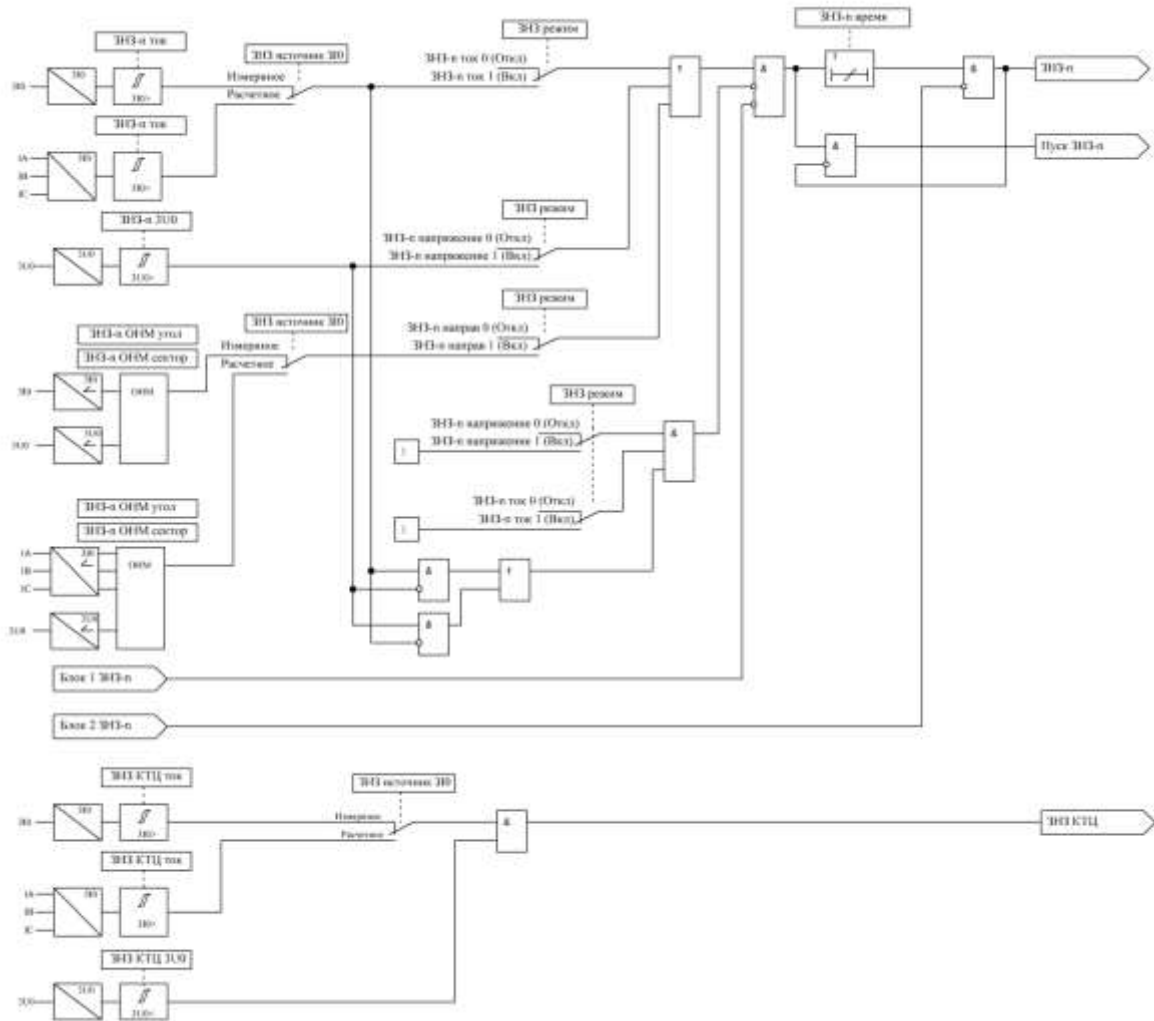


Рисунок 2.6 – Функціональна схема захисту від замикання на землю

Логічні входи:  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  – фазні струми;  $I_0$  – струм нульової послідовності;  $3U_0$  – напруга нульової послідовності

- «Блок 1 ЗНЗ-п» – зовнішній сигнал лог. «1» на вході блокує пуск ступені ЗНЗ;

- «Блок 2 ЗНЗ-п» – зовнішній сигнал лог. «1» на вході блокує роботу відповідної ступені ЗНЗ, відлік часу при цьому не припиняється.

Логічні виходи:

- «ЗНЗ-п» - виводить сигнал лог. «1» при спрацьовуванні конкретної ступені ЗНЗ до зникнення аварійного режиму.

- «Пуск ЗНЗ-n» – виводить постійний сигнал лог. «1» на час витримки часу (час пуску) конкретної ступені ЗНЗ. Передній фронт сигналу позначає початок відліку тимчасової витримки ступені, а задній – її закінчення.

- «ЗНЗ КТЦ» – виводить постійний сигнал лог. «1» на час виявлення несправності кола ЗІ<sub>0</sub> ЗНЗ.

#### 2.2.4 Призначення та основні функції блоку 4

Захист від підвищення напруги запускається при підвищенні хоча б однієї з трьох лінійних напруг вище значення, що задається уставкою «ЗПН U» з витримкою часу «ЗПН час» [31].

Введення / висновок функції ЗПН здійснюється уставкою «ЗПН режим».

Передбачена можливість блокування захисту ЗПН до пуску (повністю блокується ступінь ЗПН) і / або після пуску (блокується тільки дію захисту на відключення) сигналами з логічних входів «Блок 1 ЗПН» і «Блок 2 ЗПН» відповідно. Функціональна логічна схема роботи функції ЗПН представлена на рис. 2.7.

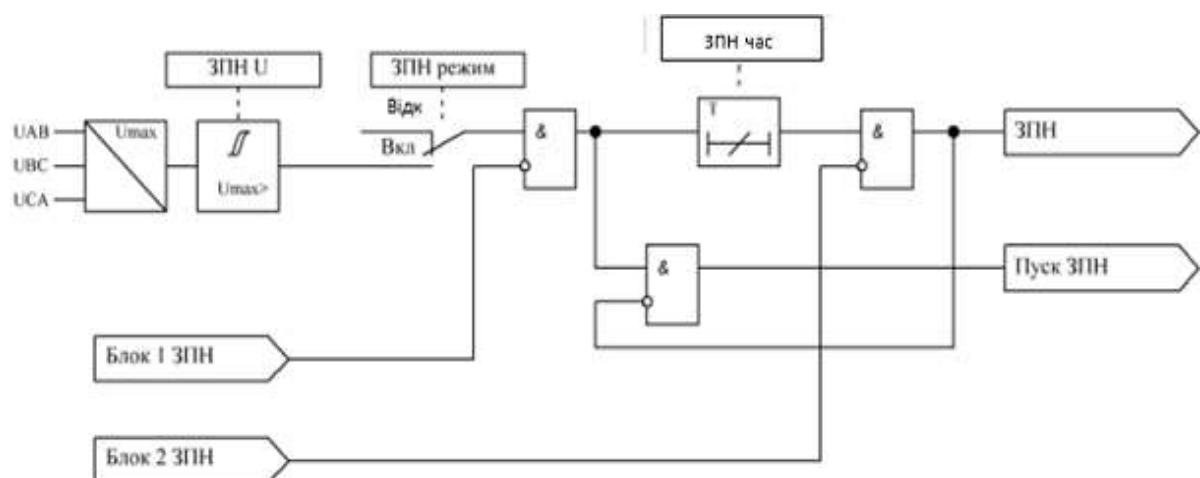


Рисунок 2.7– Функціональна схема захисту від підвищення напруги

На рис. 2.7 показано  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  – лінійні напруги;  $U_{max}$  – максимальне лінійне напруга.

Логічні входи:

- «Блок 1 ЗПН» - зовнішній сигнал лог. «1» на вході блокує пуск ступені ЗПН;

- «Блок 2 ЗПН» - зовнішній сигнал лог. «1» на вході блокує роботу ступені ЗПН, відлік часу при цьому не припиняється.

Логічні виходи:

- «ЗПН» - виводить сигнал лог. «1» при спрацьовуванні ступені ЗПН до припинення аварійного режиму;

- «Пуск ЗПН» – виводить постійний сигнал лог. «1» на час витримки часу (час пуску) ступені ЗПН. Передній фронт сигналу позначає початок відліку тимчасової витримки ступені, а задній – її закінчення.

### 2.2.5 Призначення та основні функції блоку 5

Захист від несиметрії і обриву фази (ЗОФ) виконана з контролем струму зворотної послідовності  $I_2$  або з контролем відношення струму зворотної послідовності до струму прямої послідовності  $I_2 / I_1$ .

Введення / висновок функції ЗОФ здійснюється уставкою «ЗОФ режим» [31].

Захист від обриву фаз запускається при підвищенні струму зворотної послідовності  $I_2$  вище значення, що задається уставкою «ЗОФ струм  $I_2$ ». Витримка часу на спрацьовування задається уставкою «ЗОФ час».

Якщо обраний режим ЗОФ по відношенню струму зворотної послідовності до струму прямої послідовності  $I_2/I_1$ , то рівень спрацьовування задається уставкою «ЗОФ  $I_2/I_1$ ».

Передбачена можливість блокування ЗОФ до пуску (повністю блокується ЗОФ) і / або після пуску (блокується тільки дію на

відключення) сигналами з логічних входів «Блок 1 ЗОФ» і «Блок 2 ЗОФ» відповідно.

Функціональна логічна схема роботи функції ЗОФ представлена на рис. 2.8.

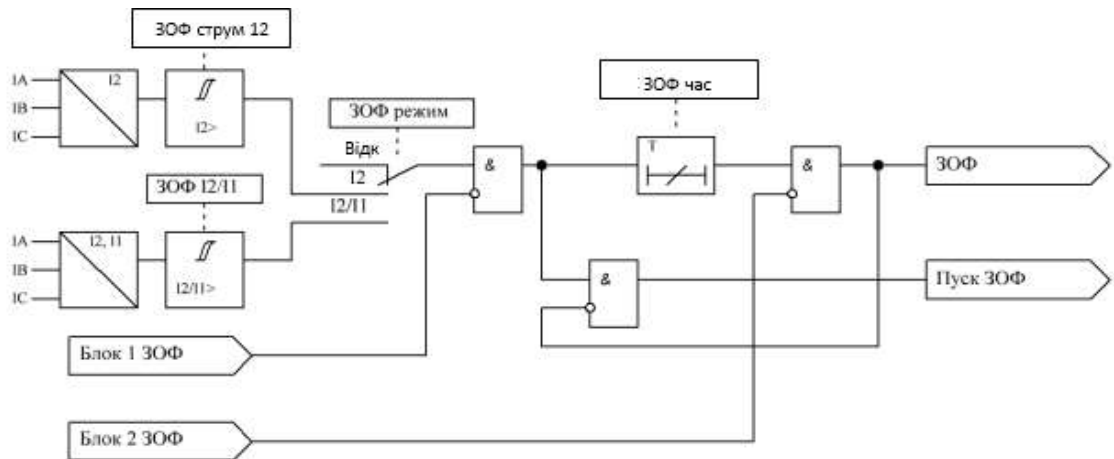


Рисунок 2.8 – Функціональна схема захисту від несиметрії і обриву фази

На рис. 2.8 використані наступні позначення  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  – фазні струми;  $I_1$  – струм прямої послідовності;  $I_2$  – струм зворотної послідовності.

### 2.2.6 Призначення та основні функції блоку 6

Передбачена можливість включення всіх ступенів ЗНЗ в напруженому режимі, в цьому випадку захист працює при перевищенні струмом нульової послідовності уставок «ЗНЗ-п струм», напругою нульової послідовності уставки «ЗНЗ-п  $3U_0$ » і спрацюванням ВПМ (біти «ЗНЗ-п струм», «ЗНЗ-п напруги», «ЗНЗ-п напрямки» бітової уставки «ЗНЗ режим» повинні мати значення «1»). Визначення напрямку потужності нульової послідовності здійснюється за кутом між струмом  $3I_0$  і напругою  $3U_0$ .

Для визначення області роботи спрямованої захисту необхідно задати дві уставки: «ЗНЗ-п ВПМ кут» - кут максимальної чутливості ( $\Phi_{Мч}$ )



і «ЗНЗ-п ВПМ сектор» - зону спрацювання ( $\Phi_{\text{СЕКТ}}$ ). Кут  $\Phi_{\text{МЧ}}$  відраховується від вектора напруги нульової послідовності  $3U_0$  проти годинникової стрілки.

Зона спрацювання ВПМ ( $\Phi$ ) відраховується назад напрямку кута максимальної чутливості ( $\Phi_{\text{МЧ}} + 180^\circ$ ) в обидві сторони на значення  $\pm 1/2 \Phi_{\text{СЕКТ}}$  і визначається як:

$$(\Phi_{\text{МЧ}} + 180^\circ) - \frac{1}{2} \cdot \Phi_{\text{СЕКТ}} < \Phi < (\Phi_{\text{МЧ}} + 180^\circ) + \frac{1}{2} \cdot \Phi_{\text{СЕКТ}} \quad (2.1)$$

Дозвіл роботи спрямованої ступені ЗНЗ буде відбуватися при попаданні струму нульової послідовності ( $3I_0$ ) в зону спрацювання як показано на рис. 2.9.

При нечіткому визначенні поточного напрямку потужності (в зоні нечутливості, а також при зниженні напруги або струму нижче порога чутливості) запам'ятовується попереднє значення [31].

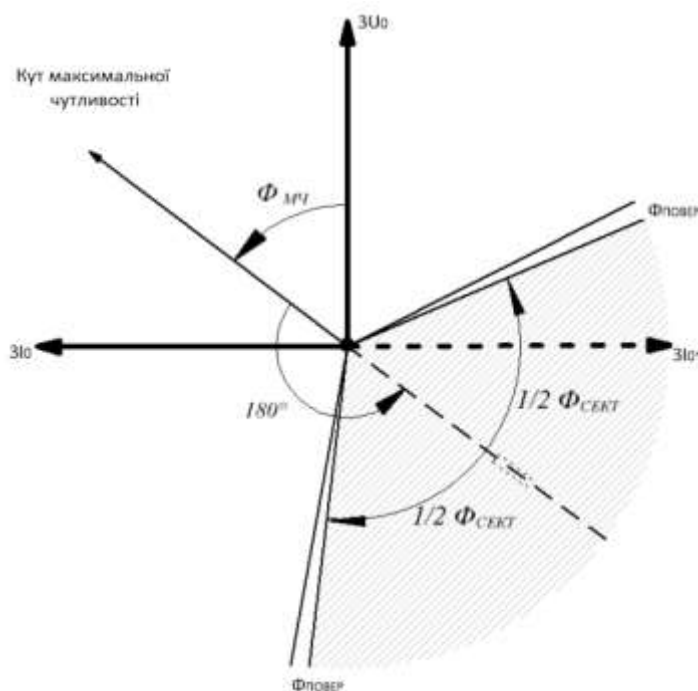


Рисунок 2.9 – Діаграма роботи спрямованої ЗНЗ в режимі «Сектор»

### 2.3 Підключення терміналу РЕЛСІС 05Л

Живлення пристроїв здійснюється від джерела постійного, змінного або випрямленого струму напругою 220 В по двох каналах харчування, що працюють паралельно і незалежно один від одного без дотримання фазування підключення. У разі зниження напруги оперативного харчування нижче 90 В ( $U_{ном} = 220$  В) або його відсутності пристрою виконань (РЗЛ-05.В2; РЗЛ-05.В4) отримують живлення від струмових ланцюгів в діапазоні струмів 0,8 ... 30 Ін, в тому числі і в неаварійних режимах. При харчуванні пристрою від джерела оперативного струму в діапазонах напруги вище 0,8  $U_{ном}$  харчування від струмових ланцюгів блокується [32].

Пристрої зберігають працездатність при його живленні:

- від мережі постійного струму (із значенням пульсацій не більше 12%) в діапазоні напруг (132 - 360) В;
- від джерела безперебійного живлення (ІБП) з вихідним сигналом типу «модифікована синусоїда» і номінальною напругою  $U_{ном} = 220$  В.

Перемикання живлення пристрою з одного каналу на інший - не впливає на його функціонування.

Пристрої не спрацьовують помилково і не пошкоджуються:

- при знятті і подачі оперативного струму, а також при перервах харчування будь-якої тривалості з подальшим відновленням;
- при замиканні на землю ланцюгів оперативного струму;
- при подачі напруги постійного і випрямленої оперативного струму зворотної полярності.

Пусковий струм при включенні оперативного живлення не перевищує 10 А протягом 10 мс.

З урахуванням пускового струму необхідно вибирати автомат харчування блоку з номінальним струмом не менше 2 А для тимчасової характеристики відключення «С». Крім того, автомат повинен пройти

перевірки на номінальну напругу, номінальний струм відключення, чутливість, швидкодія і селективність з урахуванням вимог діючих нормативних документів.

У пристроях передбачена сигналізація виходу на режим джерела живлення за допомогою світлодіода «Живлення».

Запалювання цього світлодіода відбувається при мінімально допустимому напрузі (з гарантією і необхідними запасами) і сигналізує, що всі функції пристроїв працездатні.

У пристроях передбачена сигналізація справності і готовності пристроїв до роботи за допомогою світлодіода «Справність». Запалювання цього світлодіода сигналізує, що всі функції пристроїв працездатні. Погашення цього світлодіода вказує на наявність критичної несправності пристроїв, тобто виявленням системою самодіагностики несправностей, перешкоджають виконанню основних функцій або при відсутності оперативного живлення пристроїв, коли світлодіод «Живлення» також погашений.

Повний час затримки, з моменту подачі живлення на «холодні» пристрою до спрацьовування реле «Kwd» – не більше 0,3 с.

## **2.4 Алгоритм роботи терміналу**

Для підключення пристроїв до комп'ютера необхідно визначити [32]:

- номер СОМ-порту, до якого підключений (визначається і змінюється в «Диспетчері пристроїв» ОС Windows);
- швидкість, на яку налаштований пристрій для роботи з комп'ютером (визначається або змінюється на передній панелі (ПП) пристрої в меню «Параметри»);
- адреса пристрою (визначається або змінюється на ПП пристрою в розділі «Параметри»).

Перед запуском програми переконайтеся, що адреса кожного пристрою має унікальний номер серед адрес всіх підключених пристроїв до вибраного СОМ-порту.

Після запуску програми «Монітор-2», відкриється вікно «Менеджера пристроїв» (гаряча клавіша «F5»), який показаний на рис. 2.10.

У вікні «Менеджера пристроїв» присутні:

- рядки функціональних кнопок, «1»;
- вікно списку каналів підключень з основними типами підключення пристроїв: Канали RTU, Канали TCP, Канали Агента, «2»;
- вікно з налаштуваннями атрибутів обраних каналів підключення, «3».

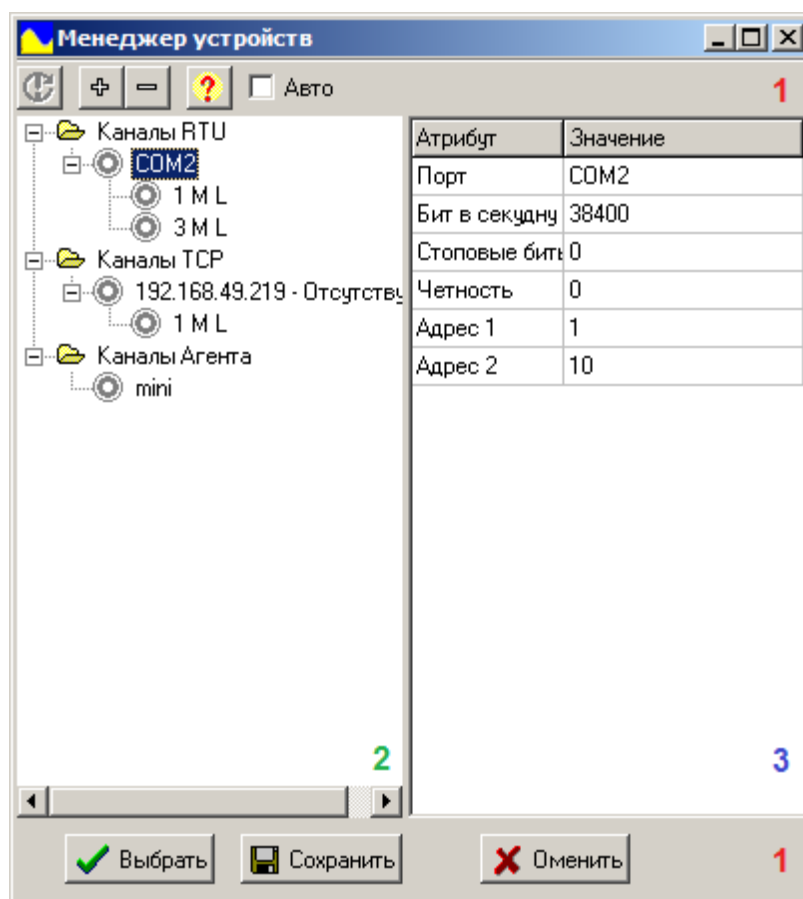


Рисунок 2.10 – Вікно «Менеджера пристроїв»

Для додавання нового пристрою необхідно вибрати відповідний канал підключення (наприклад, Канали RTU) і натиснути кнопку

«Додати». Далі вибираємо рядок підключення і переходимо у вікно з налаштуванням атрибутів. У вікні атрибутів вибраного каналу підключення задаємо:

- значення номера порту (наприклад, Порт: COM3);
- швидкість передачі в бітах в секунду (за замовчуванням швидкість підключення Біт в секунду: 38400);
- діапазон опитуваних адрес (Адреса 1 - початкове значення адреси, Адреса 2 - кінцеве значення адреси, вибираються в залежності від кількості підключених на один порт пристроїв).

Значення інших атрибутів залишаємо за замовчуванням.

Для додавання нового Адреси пристрою, необхідно вибрати порт на якому підключено пристрій (наприклад, Порт: COM3) і натиснути кнопку «Додати». Якщо пристроїв кілька, то дії необхідно повторити. При необхідності можна відразу змінити значення створеного адреси або відключити його в вікні з настройками атрибутів.

При підключенні нового пристрою через Канал ТСР необхідно вибрати відповідний канал підключення і натиснути кнопку «Додати». Далі вибираємо з'явилася рядок підключення і переходимо у вікно з настройками атрибутів. У вікні з настройками атрибутів вибраного каналу підключення задаємо:

- IP-адреса пристрою
- значення порту (наприклад, Порт 502);
- діапазон опитуваних адрес (Наприклад, Адреса 1: 1, Адреса 2: 5).

Якщо в списку є зайві канали підключення або адреси, то їх можна видалити за допомогою кнопки «Видалити».

Для збереження налаштувань натискаємо кнопку «Зберегти».

Ви зберегли «Менеджера пристроїв» вони будуть довантажуватися при кожному запуску програми. Якщо зміни не зберігати, то після підключення вони будуть активні до закриття програми «Монітор-2».

Після налаштувань в «Менеджері пристроїв» для установки зв'язку з пристроєм необхідно вибрати зі списку необхідний канал підключення (наприклад, Порт COM3) і натиснути кнопку «Опитування».

Після опитування, навпаки адреса відповідає адресі пристрою, підсвічування зелений індикатор, як нарис. 2.11. Для остаточного підключення до пристрою натискаємо 2 рази ліву кнопку миші (ЛКМ) на потрібну адресу (або 1 раз «ЛФМ» і на кнопку «Вибрати»).

Якщо пристроїв на одному порте кілька, то після опитування зелені індикатори підсвітяться навпаки всіх пристроїв з унікальними адресами (якщо були додані в список) в діапазоні значень адрес від атрибута Адреса 1 до атрибута Адреса 2.

При з'єднанні по інтерфейсу RS-485 до одного керуючого COM-порту може бути підключено до 254 пристроїв.

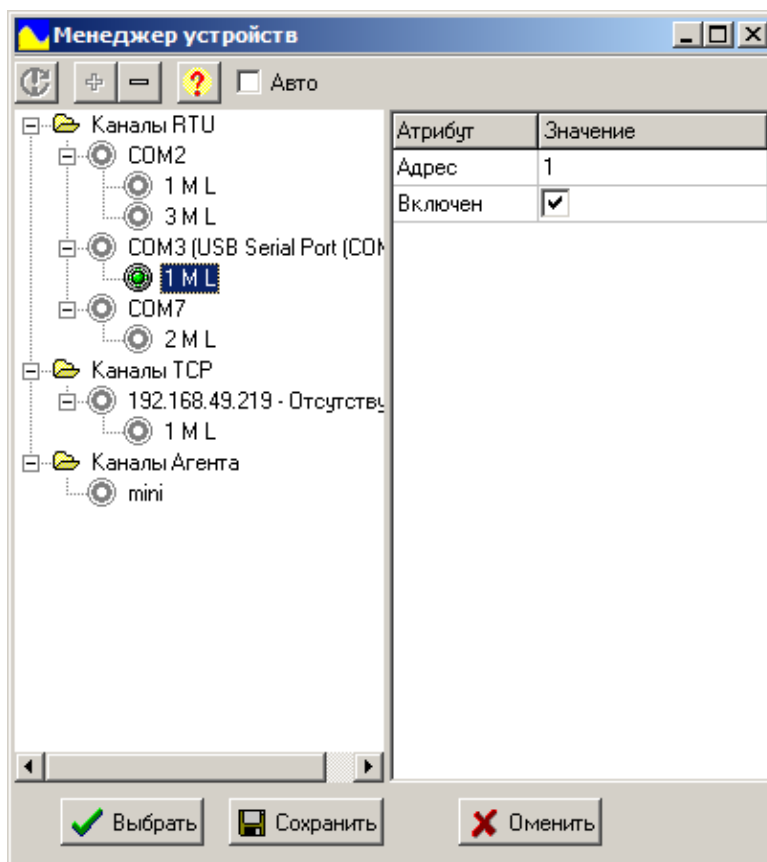


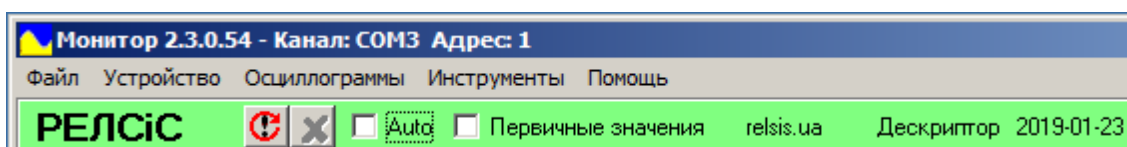
Рисунок 2.11 – Екранна заставка «Менеджера пристроїв»

Після підключення програма «Монітор-2» відображає у верхній частині вікна стану з'єднання, поточне значення номера СОМ-порту і адреси пристрою (рис. 2.12). В якому режимі можна визначити за кольором рядка статусу у верхній частині вікна:

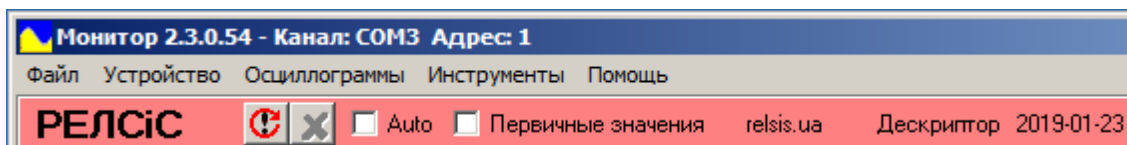
- програма «Монітор-2» підключена до пристрою нормально і готова до роботи – зелений рядок статусу під основним меню (рис. 2.12, а);

- програма «Монітор-2» не підключена (немає зв'язку) до пристрою і не зчитує дані – новий рядок статусу під основним меню (рис. 2.12, б);

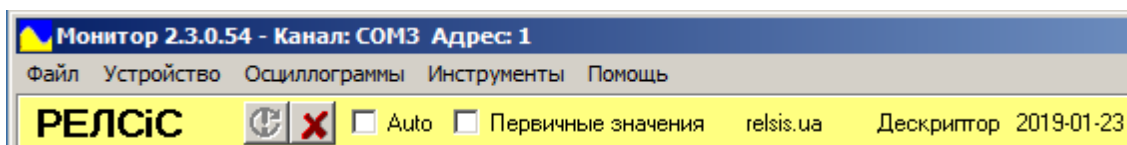
- програма «Монітор-2» зчитує данні з пристрою або записує данні в пристрій (наприклад, при завантаженні логічної схеми СПЛ) - жовтий рядок статусу під основним меню (рис. 2.12, в).



а)



б)



в)

Рисунок 2.12 – Екранна заставка «Монітор-2»: а) – програма «Монітор-2» підключена до пристрою нормально; б) – програма «Монітор-2» не підключена до пристрою; в) – програма «Монітор-2» зчитує данні з пристрою або записує данні в пристрій.

Якщо програмі не вдалося встановити зв'язок з пристроєм або стався обрив зв'язку (новий рядок статусу під основним меню), то необхідно

перевірити параметри зв'язку пристрою (порт, швидкість, адреса) або стан каналу зв'язку (якщо має місце обрив проводу або від'єднання роз'єму).

Для відновлення зв'язку після перевірки необхідно натиснути на кнопку «Оновити» або заново підключитися через «Менеджер пристроїв», натиснувши на гарячу клавішу «F5» або вибравши в рядку меню пункт «Пристрій» -> «Менеджер пристроїв».

### **Висновки до другого розділу**

1. На основі аналізу технічної документації з'ясовано те, що пристрої серії РЗЛ-05.ВХ призначені для виконання функцій релейного захисту, автоматики, сигналізації, реєстрації аварійних параметрів, діагностики та управління вимикачами різних приєднань напругою 6 ÷ 154 кВ комплектних розподільних пристроїв з постійним, зі змінним або випрямленим оперативним струмом;

2. Пристрій РЕЛСіС-05 виконує наступні основні функції: функції захистів, автоматики та управління; завдання внутрішньої конфігурації через меню або з персонального комп'ютера; місцеве та дистанційне введення і зберігання уставок захистів та ін.



## 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЛСІС 05 Л

### 3.1 Загальна характеристика програмного забезпечення «Монітор 2»

Програма «Монітор-2» дозволяє [32]:

- зчитувати інформацію про пристрій захисту (тип пристрою, серійний номер пристрою, версія і дата запису програмного забезпечення);
- переглядати вимірювані величини в первинних або вторинних величинах;
- синхронізувати годинник пристрою з ПК;
- переглядати стан дискретних входів, стан контактів реле, стан СДІ, стан віртуальних виходів пристрою;
- виробляти дистанційне керування пристроєм (включення, відключення, квотування, пуск осцилограм та ін.) По командам з ПК;
- переглядати події в реальному часі;
- переглядати і змінювати параметри пристрою такі як: пароль, адреси та швидкості портів, відображення вимірювань, перемикання групи уставок, коефіцієнти трансформації ТС і ТН та ін;
- переглядати і змінювати налаштування мережевих інтерфейсів RS-485 і USB;
- переглядати і змінювати уставки функцій захисту, автоматики і контролю, а також режими роботи ДВ, реле і СДІ;
- зберігати значення уставок в файл і завантажувати їх з файлу в пристрій;
- зберігати таблиці налаштувань параметрів і уставок в форматі Excel;
- переглядати журнал подій пристрою, налаштовувати і зберігати його в форматі Excel;

- зчитувати з пристрою аварійні і призначені для користувача осцилограми, налаштовувати і зберігати їх на ПК в форматі COMTRADE;
- налаштовувати умови записи користувача осцилограм (за допомогою СПЛ або уставок);
- здійснювати запис користувача осцилограм в пристрої по команді з ПК;
- здійснювати друк лічених осцилограм;
- переглядати, зберігати і роздруковувати журнал адрес MODBUS пристрої;
- формувати і переглядати звіти щодо подій;
- створювати і редагувати власні логічні схеми, в пристроях, які підтримують СПЛ;
- зберігати в файл і завантажувати логічні схеми (для пристроїв, які підтримують СПЛ);

Управління пристроєм захисту можливо, як при підключенні через передній порт USB, так і через інтерфейс RS-485.

### **3.2 Особливості конфігурування та налаштування терміналів РЕЛСІС 05 Л**

Управління пристроєм, конфігурація функцій, регулювання, перегляд та налаштування параметрів пристрою може здійснюватися з трьох джерел [32]:

- за допомогою клавіш клавіатури і дисплея на передній панелі пристрою;
- з переносного комп'ютера (ПК) з відповідним програмним забезпеченням, що підключається до переднього порту;
- з АСУТП через один з двох портів RS-485 на задній панелі пристрою.

На фронтальній панелі пристрою розташовані такі органи управління:

- клавіатура, що включає 16 кнопок для навігації по меню пристрою;
- дві кнопки управління вимикачем, для оперативного управління вимикачем з передньої панелі;
- кнопка для квітування аварійного стану світлової сигналізації і реле сигналізації. Всі кнопки на передній панелі виконані на основі плівковою клавіатури;
- з'єднувач USB для зв'язку пристрою з ПК.

На передній панелі є наступні органи індикації:

- LED-дисплей, що містить два рядки по 20 знакомісць;
- 4 світлодіода з жорстко фіксованою функцією:
  - а) «Живлення» (колір зелений), світиться при наявності напруги живлення;
  - б) «Справно» (колір зелений), світиться при штатній нормальній роботі контролера і замиканні контактів реле несправності Kwd;
  - в) «ВКЛ» (колір червоний), світиться при включеному вимикачі при наявності сигналу «РПВ» (ДВ контролю положення вимикача «Включено» («РПВ» активний);
  - г) «ОТКЛ» (колір зелений ), світиться при відключеному вимикачі при наявності сигналу «РПО» (ДВ контролю положення вимикача «Відключено» (« РПВ » активний);

- 16 світлодіодів «1» - «16» (колір - червоний), які використовуються для контролю роботи релейного захисту та автоматики, стану ВВ (включений / відключений), наявності вхідних, вихідних впливів і т.п.);

Вільно програмовані світлодіоди можуть працювати в режимі повторювача, Блінкер або в миготливому режимі.

При роботі в режимі Блінкер вони можуть бути скинуті за сигналом на дискретній вході, по команді з меню, по інтерфейсу зв'язку.

Ряд операцій (перегляд поточних значень вимірів, запити на читання журналів подій і осцилограм, зміна положення функціональних кнопок) може здійснюватися без авторизації доступу усіма трьома джерелами.

Інші операції (зміна налаштувань, уставок і окремі види управління) вимагають обов'язкової авторизації доступу – введення пароля.

Для налаштування параметрів і уставок, а також реєстрації вимірювань і осцилограм за допомогою ПК поставляється фірмове ПЗ «Монітор-2», яке забезпечує зручне відображення і редагування параметрів і уставок в табличній формі з докладними назвами всіх величин, що виключають плутанину і занесення помилкових даних. Порядок роботи з ПЗ «Монітор-2» описаний в ААБ.648239.130 РП, яке поставляється в електронному вигляді разом з пристроєм.

Системні вимоги до персонального комп'ютера (ПЕОМ), необхідні для функціонування програмного забезпечення «Монітор-2»:

- IBM сумісний комп'ютер (не нижче Pentium II);
- Windows / XP / 7/8/10;
- SVGA сумісний; відеоадаптер;
- клавіатура, маніпулятор «миша»;
- вільне місце на жорсткому диску не менше 100 Мбайт;
- вільний USB-порт.

Зняття результатів вимірювань, регулювання параметрів пристрою. Налаштування здійснюються за допомогою кнопок переміщення по меню і індикатора дисплея. При вмиканні пристрою на екрані відображається пункт основного меню, який призначений на кнопку «швидкого» доступу «1» (за замовчуванням встановлений пункт меню «Вимірювання»). У пристрої реалізовано циклічне пересування по меню, тобто при русі по меню в одну сторону, наприклад, вниз і досягненні останнього пункту меню здійснюється перехід на початок меню, і цикл пересування повторюється.

Для роботи через USB-порт, перед підключенням пристрою, необхідно встановити драйвер з диска. Для цього необхідно скопіювати папку «VCP2\_2015» на ПК. Далі необхідно підключити пристрій до ПК за допомогою кабелю USB, який йде в комплекті. Після підключення пристрою, ОС Windows автоматично визначає його. Після успішного визначення, пристрій повинен з'явитися у списку «Диспетчера пристроїв» ОС Windows в розділі «Порти (COM і LTP)» з назвою «USB Serial Port (COMn)», де n - номер порту [32].

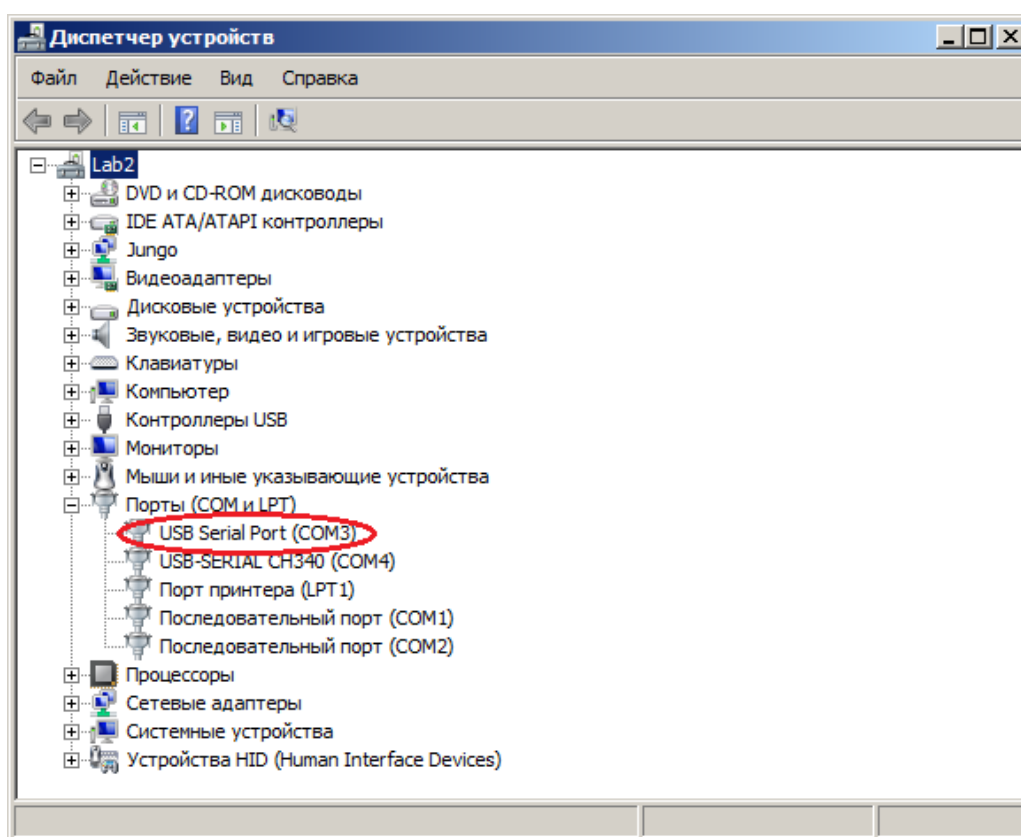


Рисунок 3.1 – Підключення пристрою РЕЛСІС через USB-порт

Якщо установка драйвера не відбулася автоматично (пристрій не з'явився в розділі «Порти (COM і LTP)»), то драйвер необхідно встановити вручну. Для цього необхідно в списку «Диспетчера пристроїв» ОС Windows в розділі «Інші пристрої» вибрати непізнаний пристрій (рис. 3.2) і натиснувши праву кнопку миші (ПКМ) перейти в «Властивості» →

«Драйвер» → «Оновити» → «Виконати пошук драйверів на цьому комп'ютері », і вказати шлях папки з драйвером« VCP2\_2015 ».

Після виконання даної операції пристрій повинен з'явитися в розділі «Порти ( COM і LTP)».

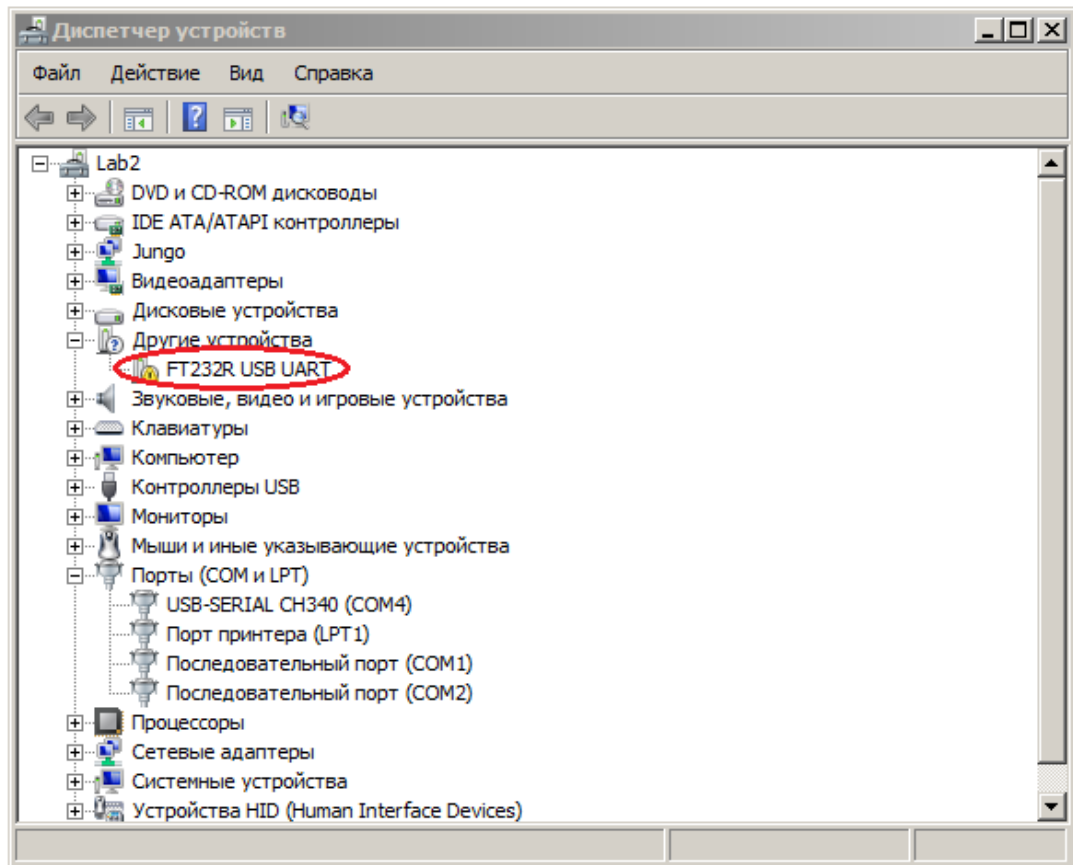


Рисунок 3.2 – Підключення пристрою РЕЛСІС через USB-порт, при ручному встановленні драйверу

Для підключення пристроїв до комп'ютера необхідно визначити:

- номер COM-порту, до якого підключений пристрій (визначається і змінюється в «Диспетчері пристроїв» ОС Windows);
- швидкість, на яку налаштований пристрій для роботи з комп'ютером (визначається або змінюється на передній панелі (ПП) пристрою в меню «Параметри»);
- адресу пристрою (визначається або змінюється на ПП пристрою в розділі «Параметри»).

Перед запуском програми необхідно переконатися, що адреса кожного пристрою має унікальний номер серед адрес всіх підключених пристроїв до вибраного СОМ-порту.

Після запуску програми «Монітор-2», відкриється вікно «Менеджера пристроїв» (гаряча клавіша «F5»).

У вікні «Менеджера пристроїв» показані:

- рядки функціональних кнопок, «1»;
- вікно списку каналів підключень з основними типами підключення пристроїв: Канали RTU, Канали ТСП, Канали Агента, «2»;
- вікно з налаштуваннями атрибутів обраних каналів підключення, «3».

### **Висновки до третього розділу**

Для налаштування параметрів і уставок терміналу РЕЛСІС, а також реєстрації вимірювань і осцилограм за допомогою ПК використовується програмне забезпечення «Монітор-2», яке забезпечує зручне відображення і редагування параметрів і уставок в табличній формі з докладними назвами всіх величин, що виключають плутанину і занесення помилкових даних.

Аналіз програмного забезпечення «Монітор 2» для реле РЕЛСіС РЗЛ 05 Л свідчить про те, що: програма «Монітор-2» дозволяє: [32]: зчитувати інформацію про пристрій захисту (тип пристрою, серійний номер пристрою, версія і дата запису програмного забезпечення); переглядати вимірювані величини в первинних або вторинних величинах; синхронізувати годинник пристрої з ПК; переглядати стан дискретних входів, стан контактів реле, стан СДІ, стан віртуальних виходів пристрою і т.д.

## 4 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМОВОГО СТУПЕНЕВОГО ЗАХИСТУ РЕЛСІС 05Л

### 4.1 Початкові дані для визначення параметрів уставок релейного захисту повітряної лінії електропередач 10 кВ

З метою визначення параметрів уставок релейного захисту повітряної лінії електропередач 10 кВ (рис. 4.1), виконаного з використанням мікропроцесорного реле РЕЛСіС 05Л, розглянемо розрахунок уставок струмового ступеневого захисту, які потрібно виставити на цьому реле.

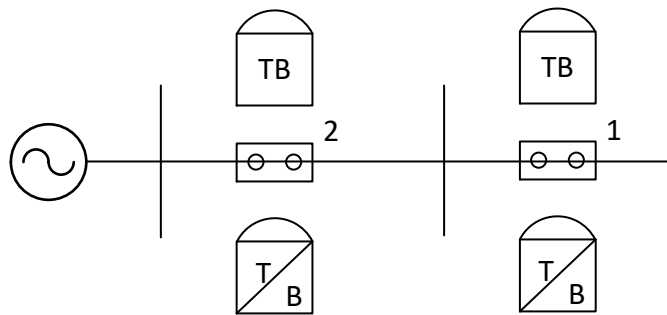


Рисунок 4.1 – Схема ділянки радіальної мережі з максимальним струмовим захистом відповідно з незалежною і обмежено залежною характеристикою часу спрацьовування: Т – струм, В – час.

Спочатку визначаємо ступінь селективності між двома суміжними максимальними струмовими захистами з витримкою часу 1 і 2 для випадків:

- а) захисти мають незалежну від струму характеристику часу спрацьовування;
- б) захисти мають обмежено залежну від струму характеристику часу спрацьовування.



Для подальшого розрахунку будемо використовувати наступні початкові дані:

1. Час спрацювання захисту 1 секунда (в подальшому використовуватимемо позначення «с»), а для незалежної захисної характеристики – 1,4 с;

2. Час спрацювання в незалежній від струму частини обмежено залежною характеристикою захисту дорівнює 1 с.

Ці захисти мають мікропроцесорні реле з часозалежними характеристиками, які продовжують працювати (отримують живлення від джерела оперативного постійного струму 220 В) після відключення короткого замикання (к. з.). Їх похибка  $t_{п.в} = 0,14$  с.

3. Час відключення вимикача захистом 1, тобто час з моменту подачі імпульсу в котушку відключення до розриву струму к. з. контактами вимикача,  $t_{в.в} = 0,1$  с.

Розглянемо наступний алгоритм визначення уставок релейного струмового захисту ЛЕП 10 кВ. Для забезпечення селективного дії захисту 2, встановленого ближче до джерела живлення, по відношенню до захисту 1 необхідно, щоб при к. з. праворуч від вимикача захисту 1 і при будь-яких значеннях струмів к. з., час спрацювання захисту 2 має бути більше, ніж захисту 1 на час ступені селективності  $\Delta t$ , тобто

$$t_{32} = t_{31} + \Delta t \quad (4.1)$$

#### **4.2 Визначення ступені селективності захисту з незалежною характеристикою ЛЕП 10 кВ**

Ступінь селективності для захистів з незалежною характеристикою часу спрацювання становить суму проміжків часу та похибок (4.2):

$$\Delta t_{\text{нез}} = \Delta t_{\text{р.в1}} + \Delta t_{\text{р.в2}} + t_{\text{в.в}} + t_{\text{зап}} , \quad (4.2)$$

де  $\Delta t_{\text{р.в1}}$  – похибки реле часу захисту 1 в бік збільшення часу спрацьовування;  $\Delta t_{\text{р.в2}}$  – похибки реле часу захисту 2 в бік зменшення часу спрацьовування,  $t_{\text{в.в}}$  – час вимкнення вимикача,  $\Delta t_{\text{зап}}$  – час запасу:  $\Delta t_{\text{зап}} = 0,1$  с. Цей час запасу враховує неточність налаштування реле і розкид часу викликаний неякісною роботою елементів реле [26].

Для зменшення витримок часу пристроїв релейного захисту рекомендується в умовах експлуатації по можливості зменшувати ступінь селективності (не понижуючи надійності) через фактичне врахування похибок реле часу, шляхом заміни наявних електромеханічних реле часу на мікропроцесорні реле, які дозволяють більш чітко виставити, а потім реалізувати витримку часу з меншими діапазонами шкали. Відомо, що чим більший діапазон шкали електромеханічного реле часу спрацьовування, тим більше його похибка.

Відповідно до досліджуваного фрагменту електричної мережі 10 кВ, під час визначення уставок струмового ступеневого захисту, а також враховуючи те, що час спрацьовування захисту 1 дорівнює 1,4 с, слід обрати електромеханічне реле часу захистів ділянок ЛЕП1 і 2 з діапазоном шкали 6,25-3,5 с, у яких похибка  $\Delta t_{\text{р.в}} = \pm 0,06$  с. Для мікропроцесорного реле РЕЛСіС таке обмеження не існує тому, що необхідні уставки по часу виставляються в будь якій модифікації цього реле в широкому діапазоні з достатньою точністю. Це є ще однією перевагою мікропроцесорних реле і терміналів.

В цьому випадку за (4.2)

$$\Delta t = 0,06 + 0,06 + 0,1 + 0,1 = 0,32 \text{ с.}$$

Якщо прийняти реле часу з діапазоном шкали 0,5-9 с, у яких  $\Delta t_{р.в} = \pm 0,125$  с, то

$$\Delta t = 0,125 + 0,125 + 0,1 + 0,1 = 0,45 \text{ с.}$$

Якщо витримки часу знаходяться в межах до 1,3 с, то слід прийняти реле у яких  $\Delta t_{р.в} = \pm 0,03$  с і в цьому випадку

$$\Delta t = +0,03 + 0,03 + 0,1 + 0,1 = 0,26 \text{ с.}$$

#### **4.3 Визначення ступені селективності захисту з обмежено залежною характеристикою ЛЕП 10 кВ**

Для захистів з обмежено залежною характеристикою часу спрацьовування ступінь  $\Delta t_{зал}$  в незалежній частини характеристики визначається за формулою (4.3), в якій враховується також інерційна похибка ( $\Delta t_{i.п}$ ) реле

$$\Delta t_{зал} = \Delta t_{р1} + \Delta t_{р2} + t_{в.в} + \Delta t_{i.п} + t_{зап}, \quad (4.3)$$

де  $\Delta t_{р1}$  і  $\Delta t_{р2}$  – похибки реле струму захистів 1 і 2 ( див. рис. 4.1). відповідно в бік збільшення і зменшення часу спрацьовування.

Якщо електромеханічне реле захисту 1 при уставці в незалежній від струму частині характеристики має похибку  $\Delta t_p = \pm 0,15$  с, а також інше електромеханічне реле наступної ступені на будь-який уставці за часом має похибку в незалежній частині характеристики  $\Delta t_p = \pm 0,15$  с, а також час вимкнення вимикача  $t_{в.в.}=0,1$ с, а також інерційна похибка  $\Delta t_{i.п.}=0,15$ с, то тоді за виразом (4.3), маємо:

$$\Delta t_{\text{зал}} = 0,15 + 0,15 + 0,1 + 0,15 + 0,1 = 0,65 \text{ с.}$$

Однак відомо те, що у мікропроцесорного реле РЕЛСіС  $\Delta t_{i,п} = 0$ , отже,  $\Delta t_{\text{зал}} = 0,5 \text{ с.}$  Якщо захист 1 є швидкодіючим, то в (4.2) і (4.3) слід прийняти:

$$\Delta t_{p1} = 0 \text{ та } \Delta t_{p1} = 0.$$

На рис. 4.2 наведена схема живлення радіальних мереж 35 і 10 кВ від понижувальної підстанції 110/35/10 кВ.

Визначаємо витримки часу максимальних струмових захистів мереж 10 і 35 кВ і трансформаторів ТР1 і ТР2 для наступних початкових даних (рис. 4.2):

1. При к.з. в точках К1, К2 і К3 починають одночасно працювати послідовно включені захисти.

2. Всі захисти узгоджені за чутливістю.

3. Захисти 1-5 виконані з вторинними реле прямої дії з обмежено залежною від струму характеристикою часу дії, захисти 6-16 мають незалежну від струму характеристику часу дії.

4. На всіх секційних вимикачах є автоматика увімкнення резервного живлення (АВР) двосторонньої дії (в нормальному режимі вони вимкнені).

5. Витримки часу захистів 1 і 3 в незалежній частині характеристики  $t_1 = t_2 = 0,5 \text{ с}$ , захистів 15 і 16 відповідно –  $t_{15} = 1,2 \text{ с}$  і  $t_{16} = 1,8 \text{ с}$ .

6. Час відключення вимикачів  $t_{в.в} = 0,1 \text{ с}$ .

Відомо, що ступінь селективності в незалежній частині характеристики реле типу РТВ при  $t_{в.в} = 0,1 \text{ с}$  та  $t_{\text{зал}} = 0,5 \text{ с}$  і для захистів з незалежною характеристикою часу  $\Delta t_{\text{нез}} = 0,32\text{--}0,45 \text{ с}$ .

Приймаємо  $t_{\text{нез}} = 0,4 \text{ с}$ .

Розрахунки уставок захистів починаємо з мережі 10 кВ. Захист 3 має бути відлаштований за часом в незалежній частині своєї характеристики

від захистів 1 і 2, тобто  $t_3 = t_1 + \Delta t_{\text{зап}} = 0,5 + 0,5 = 1$  с. Аналогічно захисти 4 і 5 узгоджуються в часі з захистом – 3, тобто  $t_4 = t_5 = t_3 + \Delta t_{\text{зап}} = 1 + 0,5 = 1,5$  с.

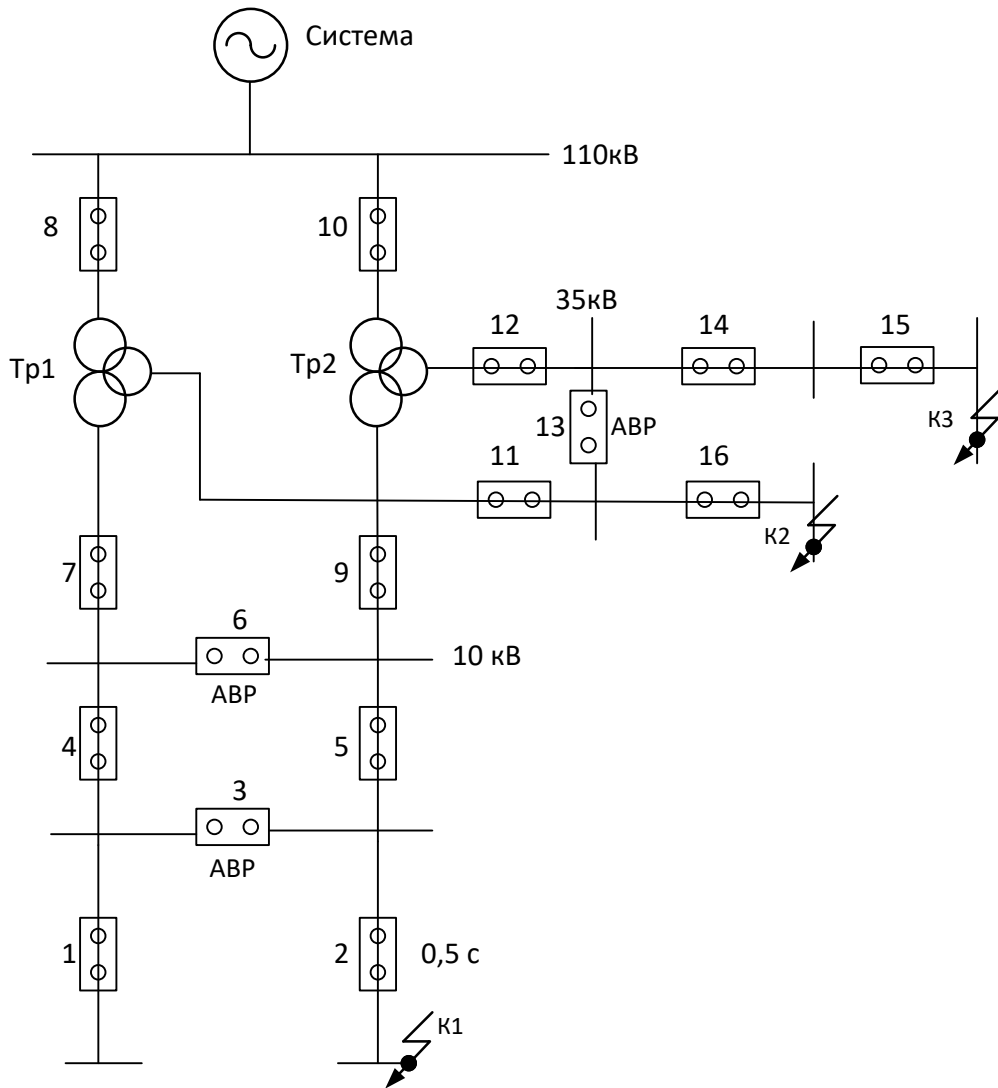


Рисунок 4.2 – Фрагмент схеми розподільної електричної мережі

Ступінь селективності між двома захистами з різними характеристиками часу дії визначаємо на підставі (4.2) і (4.3) за формулою (4.4)

$$\Delta t = \Delta t_{p1} + \Delta t_{p2} + t_{\text{в.в}} + t_{\text{зап}}, \quad (4.4)$$

або

$$\Delta t = 0,06 + 0,15 + 0,1 + 0,1 = 0,41 \text{ с.}$$

Ступінь селективності визначена за умови застосування реле часу з межами уставок 0,25-3,5 с. Таким чином,

$$t_6 = t_5 + \Delta t = 1,5 + 0,4 = 1,9 \text{ с.}$$

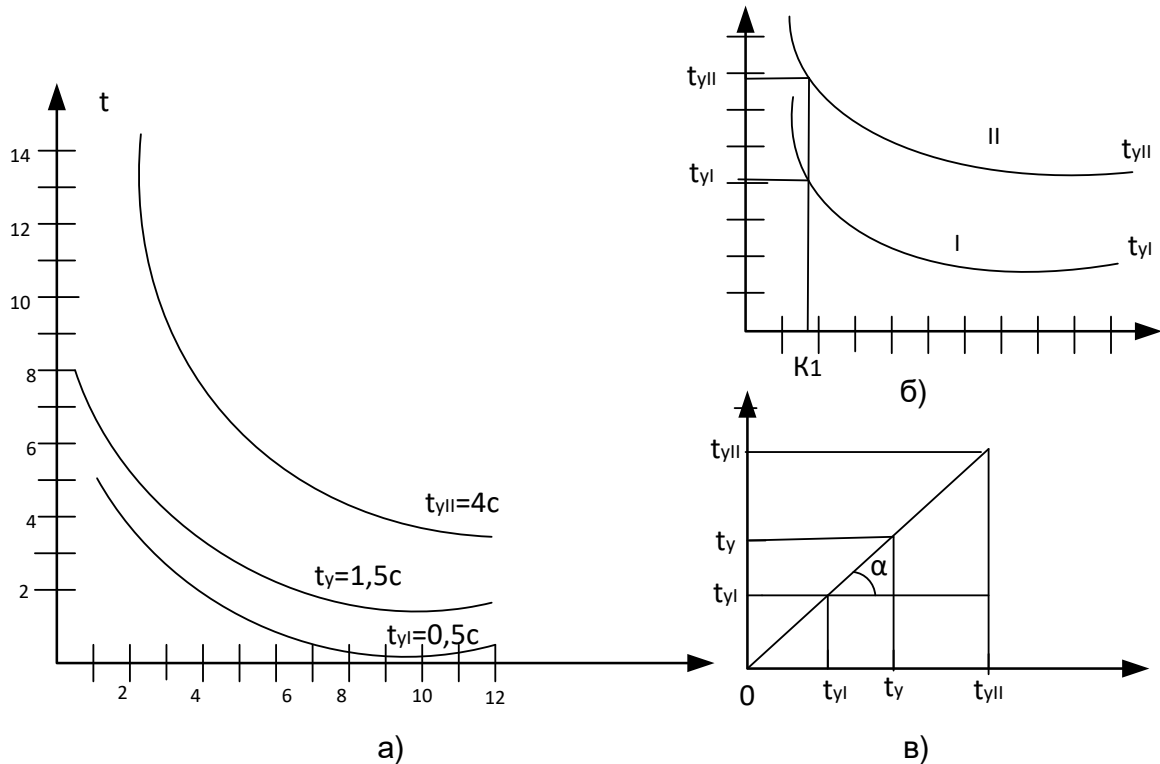


Рисунок 4.3 – Характеристики часу спрацьовування реле РЕЛСіС:

а – при уставках 0,5; 1,5 і 4 с; б і в – до визначення проміжної характеристики реле.

Визначаємо витримки часу захистів з незалежною характеристикою часу дії  $t_{14} = t_{15} + \Delta t_{\text{нез}} = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ с}$ ;  $t_{13} = t_{16} + t_{\text{нез}} = 1,8 + 0,4 = 2,2 \text{ с}$ ;  $t_{11} = t_{18} = t_{13} = 2,2 + 0,4 = 2,6 \text{ с}$ ;  $t_7 = t_9 = t_6 + \Delta t_{\text{нез}} = 1,9 + 0,4 = 2,3 \text{ с}$ ;  $t_8 = t_{10} = t_{11} + \Delta t_{\text{нез}} = 2,6 + 0,4 = 3 \text{ с}$ .

Зазвичай в інструкціях з експлуатації реле наводяться обмежено залежні характеристики часу спрацьовування реле для уставок в незалежній частині 0,5; 1; 2; 3 і 4 с.

#### 4.4 Побудова характеристик часу спрацювання реле

За характеристиками для двох крайніх уставок  $t_{yI} = 0,5$  с і  $t_{yII} = 4$  с, наведених на рис. 4.3, побудуємо характеристику часу спрацьовування реле РЕЛСіС для будь-якої проміжної уставки за часом.

Також побудуємо обмежено залежну характеристику часу спрацьовування реле РЕЛСіС для однієї з проміжних уставок за часом, наприклад для уставки  $t_y = 1,5$  с. Виходимо з основного положення: залежність витримки часу від уставки за часом при одній і тій же кратності струму в реле рисується у вигляді прямої лінії від «0» до «а» (рис. 4.3, в). На рис. 4.3, в на осі абсцис відкладені уставки (не в масштабі) ( $t_{yI}$ ,  $t_{yII}$ , і проміжна уставка –  $t_y$ , а на осі ординат витримки часу  $t_I$  і  $t_{II}$  для однієї і тієї ж кратності струму в реле, отримані з характеристик I і II (рис. 4.3, а).

На осі ординат відкладено також шуканий час  $t$  (для проміжної уставки  $t_y$  рис. 4.3, визначаємо цей час за виразом (4.5):

$$t = t_1 + t_{\text{вв}} \quad . \quad (4.5)$$

Для різних кратностей струму в реле  $k_p = I_p / I_{c.p}$  з кривих I до II знаходимо  $t_I$ ,  $t_{II}$ , за формулою (4.4) обчислюємо значення  $t$  результати обчислень наведені в табл. 4.1.

За даними табл. 4.1 на рис. 4.3, побудовано характеристику часу спрацьовування реле для проміжної уставки за часом  $t_y = 1,5$  с.

Слід зазначити, що проміжна характеристика може бути побудована при двох будь-яких відомих характеристиках, які розташовані вище і нижче шуканої, і які приводяться в довідниках.

Таблиця 4.1– Результати розрахунків

| Кратність струму в реле | $t_{\perp}, c$ | $t_{\parallel}, c$ | $t, c$ |
|-------------------------|----------------|--------------------|--------|
| 1                       | 5              | 15,0               | 7,85   |
| 1,5                     | 2,5            | 11,5               | 5,27   |
| 2                       | 1,7            | 9,1                | 3,8    |
| 3                       | 0,9            | 6,65               | 2,54   |
| 4                       | 0,6            | 5,55               | 2,0    |
| 6                       | 0,5            | 4,6                | 1,67   |
| 8                       | 0,5            | 4,2                | 1,56   |
| 10                      | 0,5            | 4,0                | 1,5    |
| 12                      | 0,5            | 4,0                | 1,5    |

#### 4.5 Розрахунок параметрів елементів електромеханічних реле часу

Розглянемо електромеханічні реле часу типу ЕВ, які ще зустрічаються в експлуатації. Для полегшення роботи контактів реле часу типу ЕВ на 110 і 220 В постійного струму, паралельно обмотці реле включається іскрогасний контур, який складається з послідовно з'єднаних опору та ємності. Ємність зменшує іскріння контактів, що відключають обмотку реле часу від джерела постійного струму. Ємність, крім контактів, що розривають коло обмотки, створює для струму коло через обмотку реле часу, що в свою чергу перешкоджає швидкому підвищенню напруги при розмиканні контактів.

Опір, що включається послідовно з ємністю зменшує зарядний струм ємності в момент замикання контактів.

Визначимо оптимальні величини опору  $R$  і ємності  $C$  іскрогасного контуру для реле часу типу ЕВ-124 на 220 В постійного струму.



Для цього приймаємо такі початкові дані: активний опір котушки реле часу  $R_p = 1750$  Ом; постійна часу котушки при втягнутому якорі реле  $T_p = L_p / R_p = 0,0025$  с, де  $L_p$  – індуктивність котушки.

Відомо, що оптимальні значення  $R$  і  $C$  в перехідному і усталеному режимах мають місце тільки в тому випадку, коли навантаження на контакти при їх розмиканні, що складається з обмотки реле та іскрогасного контуру, еквівалентне активному опору [28].

Оптимальні значення  $R$  і  $C$  визначаються за формулами:  $R = R_p = 1750$  Ом;  $C = L_p / R_p^2 = T_p / R_p = 0,0025 / 1750 = 1,43 \cdot 10^{-6}$  Ф = 1,43 мкФ.

Зазвичай на практиці, з метою зменшення ємності  $C$ , не виконують оптимальні умови. Так, в реле типу ЕВ на 110 і 220 В прийнято  $C = 0,5$  мкФ і  $R = 1000$  Ом. Однак з практики відомо, що при неоптимальних значеннях  $C$  і  $R$  контур допомагає загасити дугу при розмиканні контакту і тому називається іскрогасним контуром.

#### 4.6 Особливості розрахунку уставок захисту кабельної ЛЕП

На рис. 4.4 приведена схема ділянки радіальної кабельної мережі 10 кВ.

Визначимо уставки спрацювання захистів 2, 3 і 4 і побудуємо графіки узгодження захистів за наступними вихідними даними:

а) захист 1 елементів, приєднаних до шин IV 10 кВ, є швидкодіючими (відсічка);

б) час відключення вимикачів  $t_{в.в} = 0,1$  с;

в) поодинокі кабелі: алюмінієвими жилами прокладені в землі;

г) захист виконаний за двофазною дворелейною схемою з реле РЕЛСіС, у яких вибрана обмежено залежна від струму характеристика часу спрацювання, а до цього реле підключена котушка контактора, який має потужний перемикаючий контакт, здатний дешунтувати і шунтувати кероване коло при струмах до 150 А (рис. 4.4);

- д) значення максимальних робочих навантажень в ЛЕП невідомі;  
 е) дані струмів при трифазних к. з., ЛЕП і трансформаторів струму (ТС) показані на рис. 4.4.

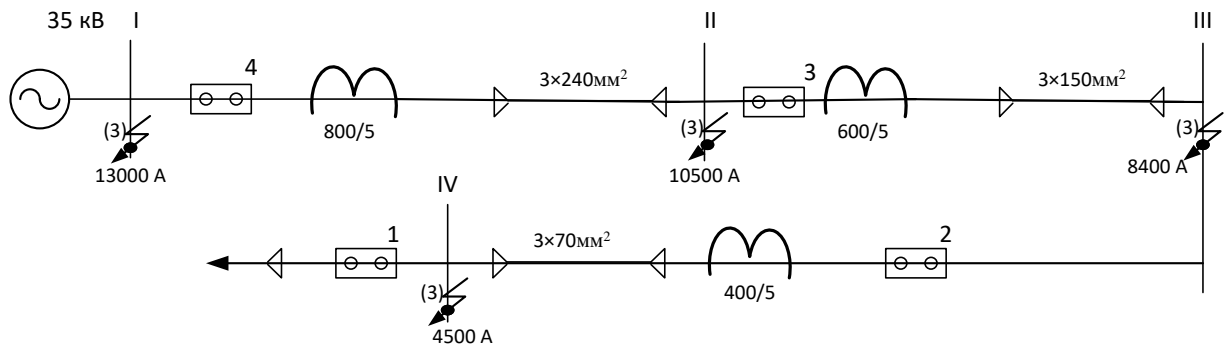


Рисунок 4.4 – Схема ділянки радіальної кабельної мережі.

Далі вибір уставок максимальних струмових захистів полягає у визначенні первинних і вторинних струмів спрацьовування, часу спрацьовування, типів реле, мінімальних коефіцієнтів чутливості при металевих к.з. в кінці зони, що захищають, коли цей захист діє в якості основного або резервного. Крім того, захист двох і більше послідовно з'єднаних елементів, наприклад трансформатор-лінії-двигуни, повинні бути узгоджені за чутливістю і за часом. Вони повинні діяти селективно: відключати місце пошкодження найближчими вимикачами.

Первинний струм спрацьовування максимального струмового захисту повинен бути відбудований від струмів самозапуску повністю загальмованих електродвигунів та іншого навантаження, при включенні елемента, що захищається, після ліквідації к. з. Крім того, захисти не повинні приходити в дію при максимально можливому робочому струмі навантаження. Виходячи з цих умов первинний струм спрацьовування захисту в симетричному нормальному режимі обчислюється за формулою:

$$I_{c.з} = \frac{K_H \cdot K_3 \cdot I_{роб.макс}}{K_B}, \quad (4.6)$$

де  $K_H = 1,2 \div 1,3$ ;  $K_B, K_3$  – коефіцієнти відповідно надійності реле, повернення (нижній індекс «в» – повернення) реле та самозапуску навантаження (електричних двигунів).

Струм спрацьовування реле визначається за формулою (4.7):

$$I_{c.з} = \frac{K^{(3)}_{cx} \cdot I_{c.з}}{n_T}, \quad (4.7)$$

де  $K^{(3)}_{cx}$  – коефіцієнт схеми, я саме: відношення струму в реле до вторинного струму ТС в симетричному нормальному режимі і при трифазному к.з. При з'єднанні ТС в трикутник або на різницю струмів двох фаз  $K^{(3)}_{cx} = \sqrt{3}$ ; при з'єднанні ТС в повну чи неповну зірку  $K^{(3)}_{cx} = 1$ .

У тих випадках коли для кабелів  $I_{роб.макс}$  невідомий, його приймають таким, який дорівнює  $I_{дов.доп}$  – довготривалому (індекс «дов») допустимому струму навантаження (за ПУЕ), тобто

$$I_{роб.макс} = I_{дов.доп} \quad (4.8)$$

Коефіцієнт чутливості визначають при мінімальних струмах к.з. за формулою:

$$k_{ч} = \frac{I_p}{I_{c.п}} = \frac{k_{cx} I_{к.мін} n_T}{k_{cx}^{(3)} I_{c3} n_T} = \frac{k_{cx} I_{к.мін}}{k_{cx}^{(3)} I_{c3}} \quad (4.9)$$

Розглянемо захист 2.

Оскільки  $I_{\text{роб.макс}}$  і  $k_3$  не задані, приймаємо для всіх кабелів за номінальний струм кабелю  $I_{\text{каб.ном}} = I_{\text{роб.макс}} = I_{\text{дов.доп}}$  і відповідно до вимог, наведених в [26, 27],

$$I_{\text{с.з2}} = 4 \cdot I_{\text{ном}} = 4 \cdot I_{\text{дов.доп}} ; \quad (4.10)$$

$I_{\text{с.з2}} = 4 \cdot 190 = 760$  А, де по ПУЕ для алюмінієвого кабелю, перерізом  $3 \times 70$  мм<sup>2</sup>,  $I_{\text{дов.доп}} = 190$  А; струм спрацьовування реле обчислюємо по (4.7):

$$I_{\text{с.р}} = 1 \cdot 760 / 80 = 9,5 \text{ А.}$$

Приймаємо  $I_{\text{с.р2}} = 10$  А, тоді  $I_{\text{с.з2}} = 10 \cdot 80 = 800$  А, уставка часу в незалежній частині характеристики реле захисту 2 налаштовується від швидкодіючих захистів елементів, приєднаних до шин IV по (4.3) без урахування похибки  $\Delta t_{\text{р1}}$  оскільки в захисті відсутні реле з витримкою часу

$$t_{\text{зав}} = \Delta t_{\text{зав}} = \Delta t_{\text{р2}} + t_{\text{в.в}} + t_{\text{і.п.}} + t_{\text{зап}} = 0,1 + 0,1 + 0,15 + 0,1 = 0,45 \text{ с.}$$

Приймаємо мінімально можливу уставку в незалежній частині характеристики часу спрацьовування реле –  $T_{2y} = 0,5$  с.

Коефіцієнт чутливості обчислюємо при двофазному к.з. на шинах IV по (4.9). З огляду на, що  $k_{\text{сх}}^2 = k_{\text{сх}}^3 = 1$

$$K_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{k_{\text{сх}}^{(2)} \cdot I_{\text{к.мін}}}{k_{\text{сх}}^{(3)} \cdot I_{\text{сз2}}} \quad (4.11)$$

$$K_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{0,867 \cdot 4300}{800} = 4,66$$

За ПУЕ  $k_{\text{ч}}$  повинен бути приблизно 1,5.

Термічна стійкість кабелю при к.з. визначається за формулою:

$$S_{\text{доп.мін}} = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_{\phi}}}{C}, \quad (4.12)$$

де  $S_{\text{(доп.мін)}}$  – мінімальний допустимий переріз жил кабелю,  $\text{мм}^2$ ;

$I_{\infty}$  – струм к.з. при пошкодженні на початку кабелю, А;

$t_{\phi}$  – час відключення к.з., с;  $C$  – постійна, що залежить від матеріалу проводів (шин) ( $\text{А} \cdot \text{с}^{0,5} / \text{мм}^2$ ), а саме від його початкової і максимально допустимої кінцевої температури [26].

Для розподільних мереж 10 кВ  $I_{\infty} = I_{\text{к}} = I_{\text{к}}$  :

$$t_{\phi} = t_{\text{с.з}} + t_{\text{в.в.}}, \quad (4.13)$$

де  $t_{\text{с.з}}$  і  $t_{\text{в.в.}}$  – час спрацьовування захисту і відключення вимикача.

Постійна «С» дорівнює 90 і 160 відповідно для кабелів з алюмінієвими і мідними жилами;

$$S_{\text{(доп.мін)}} = \frac{4300 \cdot \sqrt{(0,5 + 0,1)}}{90} = 37 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо уставки захисту 3.

Струм спрацьовування захисту і реле обчислюємо по (4.10) і (4.7)

$$I_{\text{с.з3}} = 4 I_{\text{дов.доп}} = 4 \cdot 275 = 1100 \text{ А.}$$

Цей захист має бути узгоджений за чутливістю з захистом 2; його струм спрацьовування вибирається більше на 30-40%, ніж струм спрацьовування захисту 2 [26], тобто

$$I_{\text{с.з3}} = k_{\text{н.с}} \cdot I_{\text{с.з2}},$$

де  $k_{н.с}=1,3 \div 1,4$ – коефіцієнт надійності узгодження для реле серії РЕЛСіС, або РТ-80 та РТ-90 встановлених на лініях 6, 10 і 35 кВ; а для реле РТ-40 і РТВ відповідно  $k_{(н.с)}=1,25$  і  $1,5$ ;

Для захисту 3  $I_{с.з3} = I_3 \cdot 800 = 1040$  А, тому умова узгодження близька до умови налагоджування від струмів самозапуску навантаження. Струм спрацьовування реле  $I_{с.р3} = k_{сх}^{(3)} I_{с3} / n_T = 1100/120 = 9,15$  А. З огляду на те, що захист надійно відбудований від струмів самозапуску, приймаємо найближчу уставку, наявну на контактній колодці реле  $I_{с.р3} = 9$  А, тоді:

$$I_{с.з3} = 9 \cdot 120 = 1080 \text{ А.}$$

Обчислюємо коефіцієнт чутливості захисту ( $k_{ч}$ ) при дії його в якості основного при к. з. на шинах III і в якості резервного при к.з. на шинах IV:

$$k_{ч.осн} = \frac{I_{кIII}^2}{I_{с.з3}}$$

$$k_{ч.осн} = 0,867 \cdot \frac{8400}{1080} = 6,74 > 1,5.$$

$$k_{ч.рез} = \frac{I_{кIV}^2}{I_{с.з3}}$$

$$k_{ч.рез} = 0,867 \cdot \frac{4300}{1080} = 3,45 > 1,2$$

Ступінь селективності обчислюємо по (4.3), з огляду на, що при уставці реле РТ-81/1  $t_y = 0,5$  с похибка  $\Delta t_{p2} = \pm 0,03$  с [26];

$$\Delta t = \Delta t_{p2} + \Delta t_{p3} + t_{в.в} + \Delta t_{i.п} + t_{зап} = 0,1 + 0,15 + 0,1 + 0,15 + 0,1 = 0,6 \text{ с.}$$

Для забезпечення селективності при будь-яких значеннях струму приймаємо  $\Delta t_{\text{зап}} = 0,6$  с в незалежній частини характеристики [26], і тоді уставка реле складе  $t_{y3} = t_{y2} + \Delta t_{\text{заб}} = 0,5 + 0,6 = 1,1$  с.

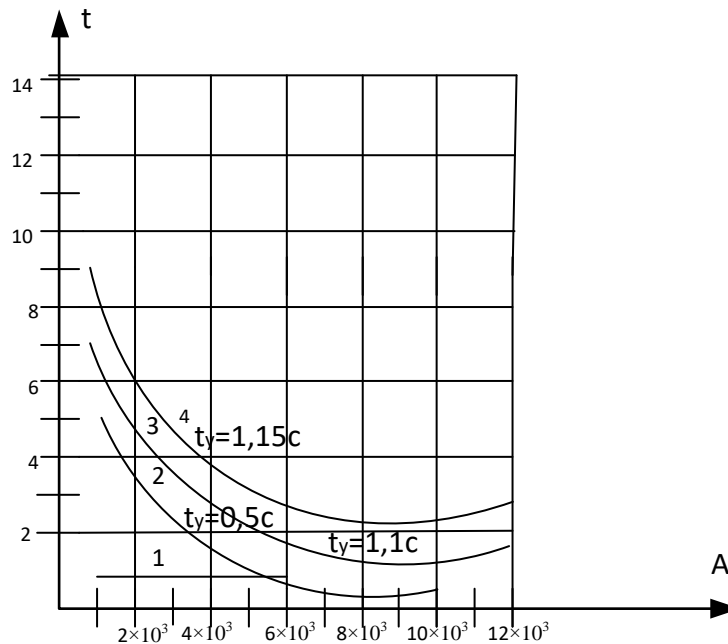


Рисунок 4.6 – Графіки узгодження захисту 1–4 з реле типу РТ–85/1

Слід зазначити, що узгодження захистів з обмежено залежною характеристикою в незалежній її частини [26] забезпечує селективну їх дію при будь-яких значеннях струму к.з. На практиці узгодження цих захистів виконують і в залежній частини характеристики [26]. В цьому випадку при збільшенні струмів к.з. в мережі внаслідок заміни трансформаторів на підстанціях на більш потужні потрібен перегляд уставок розглянутих захистів.

Точна графоаналітична побудова характеристики 3 показана на рис. 4.6.

Термічну стійкість кабелю перевіряємо по (4.10) при трифазному к.з. у шин II:

$$S_{\text{доп. min}} = \frac{(I_{\infty}(\sqrt{t_{\phi}}))}{C},$$

$$S_{\text{доп.мін}} = \frac{10500 \cdot \sqrt{(1,1+0,1)}}{90} = 128 \text{ мм}^2 < 150 \text{ мм}^2$$

де  $t_{(с.з3)} = 1,1$  с – час спрацьовування захисту 3 при струмі 10 500 А.

Визначаємо уставки захисту 4.

Обчислення аналогічні виконаним для захисту 3:

$$I_{с.з4} = k_{(н.с)} \cdot I_{с.з3} = 1,3 \cdot 1080 = 1405 \text{ А};$$

$$I_{с.з4} = 4 \cdot I_{\text{дл.доп}} = 4 \cdot 355 = 1420 \text{ А};$$

$$I_{с.р4} = \frac{1420}{160} = 8,87 \text{ А}.$$

Приймаємо,  $I_{с.р4} = 9$  А, тоді  $I_{с.з4} = 9 \cdot 160 = 1440$  А;

$$k_{(ч.осн)}^2 = 0,867 \cdot 10500 / 1440 = 6,32;$$

$$k_{(ч.рез)}^2 = \frac{0,867 \cdot 8400}{1440} = 5,05.$$

Уставка витримки часу в незалежній частині характеристики 4 (рис. 4.6).

$$t_{y4} = t_{y3} + \Delta t_{\text{зав}} = 1,1 + 0,65 = 1,75 \text{ с}.$$

де  $\Delta t_{\text{зав}}$  відповідає обчисленому по (4.2).

Характеристика 4 побудована по (4.5).

Термічна стійкість кабелю

$$S_{(\text{доп.мін})} = 13000 / (90 \sqrt{(1,8 + 0,1)}) = 199 \text{ мм}^2 < 240 \text{ мм}^2.$$



Зазвичай для наочності на креслення наносять всі характеристики спрацьовування захистів, що показують їх узгодження по струму і часу. На рис. 4.6 наведені графіки узгодження захистів 1-4. Рисунок називають також карткою селективності.

Надійність роботи посиленого за допомогою зовнішнього контактора перемикаючого контакту у реле РЕЛСіС захистів 2÷4 забезпечується тому, що вторинний струм к. з, при дешунтуванні котушки відключення вимикачів менше 150 А.

#### **4.7 Розрахунок уставок захисту кабельної ЛЕП, приєднаної до трансформатора**

Розглянемо визначення уставок захисту кабельної ЛЕП, приєднаної до трансформатора. На рис. 4.7 показано схему ділянки кабельної мережі, приєднаної до секції шин 10 кВ понижувального трансформатора з розщепленими обмотками 20 МВ · А, 115/35/35 кВ,  $Y_{\Delta/\Delta}$ -35, 100/525/525А,  $u_k = 10,5\%$ .

Максимальний струмовий захист виконаний по двофазній дворелейній схемі. Захист 1 і 2 з реле типу РТ-81/1, у яких обмежено залежна характеристика часу спрацьовування, захист 3 – з незалежною характеристикою часу спрацьовування. Потужність к.з. на шинах 110 кВ  $S_k = 1000$  МВА.

Результати розрахунків струмів при трифазних к.з, а також тривалий час допустимого навантаження на кабелі  $I_{\text{дов.доп}}$  і  $n_t$  наведені на рис. 4.7. Необхідно розрахувати уставки по струму і часу захистів 1, 2 і 3 за даними:

- а) уставка за часом на реле РТ-85/1 захисту 1  $t_{y.p1} = 0,7$  с;
- б) коефіцієнт самозапуску навантаження для всіх розглянутих захистів  $k_3 = 2,1$ ;
- в) для кабелів  $I_{\text{роб.макс}} = 0,9 I_{\text{дов.доп}}$ ;

г) характеристики реле РТ-85/1 для крайніх уставок за часом  $t_{y1} = 0,5$  с і  $t_{yII} = 4$  з приведені на рис. 4.3, а;

д) відомо, що збільшення струмів к.з в даній мережі не матиме місця;

е) час відключення вимикачів  $t_{в.в} = 0,1$  с.

Первинний струм спрацьовування захистів обчислюємо по (4.6):

$$I_{c.31} = k_H k_3 I_{роб.макс} / k_B = 1,2 \cdot 2,1 \cdot 0,9 \cdot 205 / 0,8 = 581 \text{ А.}$$

$I_{c.p.}$  обчислюємо по (4.7), з огляду на, що  $k_{cx}^{(3)} = 1$ :  $I_{c.p1} = I_{c.31} / n_{T1} = 581/80 = 7,26 \text{ А.}$

Приймаємо найближчу велику установку по струму, наявну на контактній колодці реле,  $I_{c.p1} = 8 \text{ А}$ , тоді  $I_{c.31} = I_{c.p1} \cdot n_{T1} = 8 \cdot 80 = 640 \text{ А.}$

Коефіцієнт чутливості обчислюємо при двофазному к.з на шинах III по (4.9):

$$k_{ч1}^2 = (I_{кII}^2) / I_{c.31} = 0,867 \cdot 2140 / 640 = 2,9 > 1,5,$$

$$I_{c.32} = 1,2 \cdot 2,1 \cdot 0,9 \cdot 275 / 0,8 = 780 \text{ А.}$$

За умовою узгодження з захистом 1 по (4.12):

$$I_{c.32} = k_{н.с} I_{c.31} = 1,3 \cdot 640 = 832 \text{ А;}$$

$$I_{c.p2} = 832 / 120 = 6,93 \text{ А.}$$

Приймаємо  $I_{c.p2} = 7 \text{ А}$ , тоді  $I_{c.32} = 7 \cdot 120 = 840 \text{ А}$  і  $R_{ч2оч}^{(2)} = I_{кIII}^2 / I_{c.32} = 0,867 \cdot 2780 / 840 = 2,86$ ;  $R_{ч2оч}^{(2)} = I_{кIII}^2 / I_{c.32} = 0,867 \cdot 2140 / 840 = 2,2$ .

Ступінь селективності між реле РТ-85/1 захистів 2 і 1 обчислюємо по (4.3) з урахуванням того, що при уставці  $t_{y1} = 0,7$  с  $\Delta t_{p1} = 0,1$  с

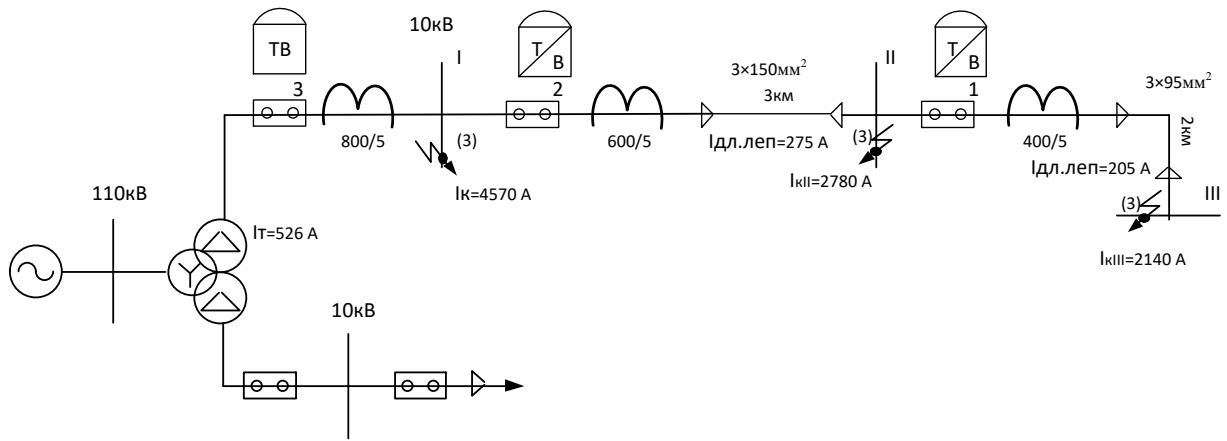


Рисунок 4.7 – Фрагмент розподільної мережі з розрахунковими значеннями струмів к.з.

$$\Delta t = \Delta t_{p1} + \Delta t_{p1} + t_{o.v} + t_{i.o} + t_{зап} = 0,1 + 0,15 + 0,1 + 0,15 + 0,1 = 0,6 \text{ с.}$$

Узгодження по часу захисту 2 із захистом 1 виконуємо при найбільшому струмі, що має місце при к. з на початку лінії II-III у шин II. Кратність струму в реле захисту 1 при к.з. у шин II

$$K_{p1} = I_{нII} / I_{с.з1} = 2780/640 = 4,34.$$

За обчисленої кратності за характеристиками  $t_{y1} = 0,5 \text{ с}$  і  $t_{yII} = 4 \text{ с}$ , наведеними на рис. 4.3, а, маємо для  $t_{y1} = 0,5 \text{ с}$   $t_I = 0,5 \text{ с}$ ; для  $t_{yII} = 4$  з  $t_{II} = 5,3 \text{ с}$ .

З огляду на прямолінійну залежність часу від уставки за часом при даній кратності струму, знаходимо час спрацювання реле захисту 1 для заданої уставки:  $t_{y.p1} = 0,7 \text{ с}$  по (4.4).

Вважаючи в (4.4)  $t = t_{p1}$   $t_y = t_{y.p1}$  отримуємо:

$$t_{p1} = t_1 + (t_{y.p1} - t_{y1}) \frac{t_{II} - t_I}{t_{yII} - t_{yI}} = 0,5 + (0,7 - 0,5) \frac{5,3 - 0,5}{4 - 0,5} = 0,774 \text{ с}$$

Визначаємо необхідну уставку за часом реле РТ-85/1 захисту 2.

Кратність струму в реле захисту 2 при к. 3. у шин II

$$k_{p2} = I_{кII} / I_{c32} = 2780/840 = 3,31.$$

При цьому необхідний час дії реле захисту 2 для виконання умови селективності  $t_{p2} = t_{p1} + \Delta t = 0,774 + 0,6 = 1,374$  с.

За характеристиками реле  $t_{yI}$  і  $t_{yII}$  (рис. 4.3, а) при кратності  $k_{p2} = 3,31$  маємо: для  $t_{yI} = 0,5$  с:  $t_1 = 0,75$  с; для  $t_{yII} = 4$  з  $t_{II} = 6,2$  с.

З огляду на прямолінійну залежність часу від уставки за часом для даної кратності, знаходимо уставку по часові для реле захисту 2, вирішуючи рівняння (4.4) щодо  $t_y$ :

$$t_y = t_{yI} + (t_{yII} - t_{yI})(t - t_1) / (t_{II} - t_1) . \quad (4.13)$$

Вважаючи в (4.12)  $t_y = t_{yp2}$  і  $t = t_{p2}$  маємо:

$$t_{y,p2} = 0,5 + (4 - 0,5) \cdot (6,2 - 0,75) / (1,374 - 0,75) = 0,9$$

Для цієї уставки і уставки захисту 1  $t_{y,p1} = 0,7$  с графо-аналітичним методом, викладеним в завданні 4-3, виконуємо розрахунок характеристик за формулою (4.5) і даними відомих характеристик реле РТ-85/1 для двох уставок  $t_{yI} = 0,5$  с і  $t_{yII} = 4$  с, наведеними на рис. 4.3, а. Слід зазначити, що побудова будь-якої проміжної характеристики може бути виконано за двома будь-яким (необов'язково крайнім) відомим характеристикам реле, що приводиться в каталогах і довідниках. Результати розрахунку характеристик захистів 1 і 2 наведені в табл. 4.2.

За даними табл. 4.2 на рис. 4.8 нанесені характеристики часу спрацьовування реле захистів 1 і 2 типу РТ-85/1.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку параметрів захистів 1 і 2

| Кратність струму в реле | $t_{1,c}$ | $t_{II,c}$ | Захист 1 $t_{y.p1} = 0,c$ |            | Захист 2 $t_{y.p2} = 0.9c$ |       |
|-------------------------|-----------|------------|---------------------------|------------|----------------------------|-------|
|                         |           |            | Первинні струми, А        | $t_{P1,c}$ | Первинні струми, А         | Втор. |
| 1                       | 5         | 15         | 640                       | 5,57       | 840                        | 6,14  |
| 1,5                     | 2,5       | 11,5       | 960                       | 3,14       | 1260                       | 3,52  |
| 2                       | 1,7       | 9,1        | 1280                      | 2,12       | 1680                       | 2,54  |
| 3                       | 0,9       | 6,65       | 1920                      | 1,23       | 2520                       | 1,56  |
| 4                       | 0,6       | 5,55       | 2560                      | 0,88       | 3360                       | 1,17  |
| 5                       | 0,5       | 4,95       | 3200                      | 0,764      | 4200                       | 1,01  |
| 6                       | 0,5       | 4,6        | 3840                      | 0,734      | 5040                       | 0,97  |
| 8                       | 0,5       | 4,2        | 5120                      | 0,71       | 6720                       | 0,92  |

Первинний струм спрацьовування максимального захисту 3, встановленої на стороні 10 кВ розщепленої обмотки трансформатора, визначаємо по (4.6):

$$I_{сзIII} = k_{HK3} I_{роб.макс} / k_B = 1,2 \cdot 2,1 \cdot 1,4 \cdot 526 / 0,8 = 2320 \text{ А,}$$

де  $I_{роб. макс} = 1,4 I_{Т.ном}$  – струм в розщепленій обмотці з урахуванням допустимого 40% -ого перевантаження трансформатора.

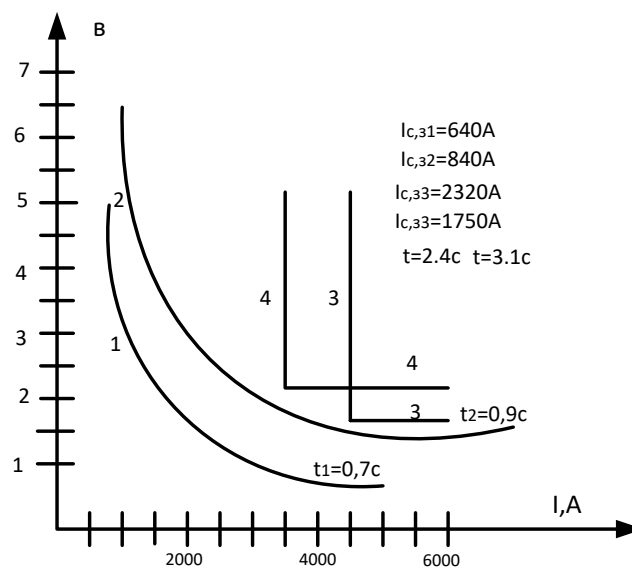


Рисунок 4.8 – Карта селективності захистів 1–3 по рис 4.7

Коефіцієнт чутливості цього захисту в якості основної і резервної при двофазному к.з. на шинах I і II:

$$K^{(2)}_{\text{ч.осн}} = I^{(2)}_{\text{кI}} / I_{\text{с.з3}} = 0,867 \cdot 4570 / 2320 = 1,71 > 1,5;$$

$$K^{(2)}_{\text{ч.рез}} = I^{(2)}_{\text{кII}} / I_{\text{с.з3}} = 0,867 \cdot 2780 / 2320 = 1,04 < 1,2.$$

Як видно, захист 3 не забезпечує резервування захисту 2 при двофазному к. з. на шинах II. При врахуванні 40%-ого перевантаження трансформатора і при відмові від резервування час дії захисту становить  $t_{\text{с.з3}} = 2,4$  с (характеристика 3). Однак вибір уставки захисту 3 слід здійснювати без урахування 40%-ого перевантаження через рідкі випадки роботи трансформатора в такому аварійному режимі. В цьому випадку  $I_{\text{с.з3}} = k_{\text{н}} k_{\text{з}} I_{\text{т.ном}} / k_{\text{в}} = 1,2 \cdot 2,1 \cdot 526 / 0,8 = 1660$  А і  $t_{\text{с.з3}} = 3,6$  с. З огляду на необхідність зниження витримок часу, остаточно приймаємо  $I_{\text{с.з3}} = 1750$  А, тоді  $t_{\text{с.з3}} = 3,1$  с (характеристика 4 на рис. 4.8).

При такій уставці ( $I_{\text{с.з3}} = 3,33 I_{\text{т.ном}}$ ) захист 3 надійно узгоджений по струму і часу із захистом 2 і забезпечує резервування при к. з. на шинах II.

Для прийнятої уставки коефіцієнти чутливості захисту при дії його в якості основного і резервного:

$$K^{(2)}_{\text{ч.осн}} = I^{(2)}_{\text{кI}} / I_{\text{с.з3}} = 0,867 \cdot 4570 / 1750 = 2,26 > 1,5;$$

$$K^{(2)}_{\text{ч.рез}} = I^{(2)}_{\text{кII}} / I_{\text{с.з3}} = 0,867 \cdot 2780 / 2320 = 1,38 < 1,2.$$

Оскільки струм спрацьовування реле 7 і 8 А, то при дешунтуванні забезпечується надійна робота котушок відключення вимикачів 1 і 2, у яких номінальний струм 5 А.

Кабелі I-II і II-III перевірені на термічну стійкість при к.з. відповідно у шин I чи II за (4.11). Для зниження витримок часу можливе застосування захистів з незалежною чи малозалежною від струму характеристикою часу спрацьовування (наприклад, реле типу РТ-95).

У цьому випадку розглядаються захисти ліній з одностороннім і двостороннім живленням, а також захисти паралельних ліній. В більшості випадків при виборі уставок захистів наводяться кінцеві результати розрахунків струмів к. з.

#### 4.8 Визначення уставок струмових захистів нульової послідовності

Розглянемо особливості визначення уставок струмових захистів нульової послідовності.

За даними, наведеними на рис. 4.9, для струмових захистів нульової послідовності 1 і 2 необхідно визначити первинні струми: першого ступеня - відсічки без витримки часу - захисту 2 лінії БВ, другого і третього ступеня захисту 1 лінії АБ.

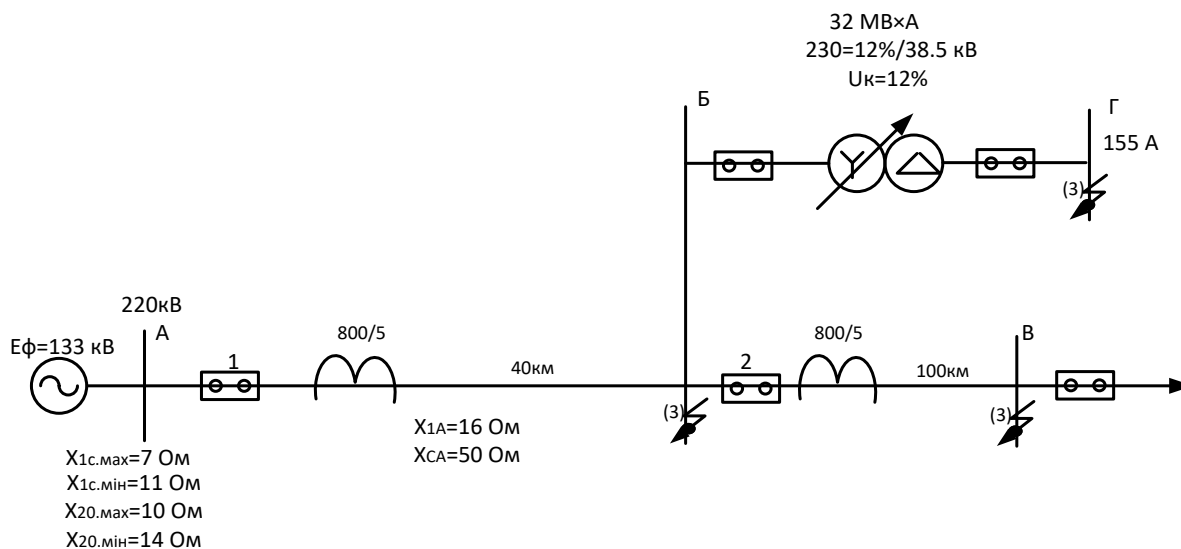


Рисунок 4.9 – Струмовий захист нульової послідовності 1 і 2

Крім того, для відсічки захисту 2 визначити графічно максимальну і мінімальну зону дії, а для другого і третього ступеня захисту 1 - коефіцієнти чутливості.

На рис. 4.10 наведено триступеневий спрямований захист нульової послідовності. Для ліній АБ і БВ з одностороннім протіканням струму нульової послідовності при к.з. на землю на цих лініях захист виконується ненаправленим. Цей захист випускається у вигляді комплектного пристрою типу КЗ 15.

Первинний струм спрацьовування першого ступеня – відсічки без витримки часу – захисту 2 лінії БВ  $I_{сз2}$  для забезпечення її селективної дії повинен бути відбудований від розрахункового максимального потроєного струму нульової послідовності в цій лінії ( $3I_{0\text{макс}}$ ) при металевому к. з. на землю на протилежному її кінці, тобто на шинах В, за формулою (4.13):

$$I_{сз2}^I = k_n I_{\text{расч}} = k_n 3I''_{\text{пл.макс}} \quad (4.13)$$

де  $k_n = 1,2 \div 1,3$  - коефіцієнт надійності, що враховує помилки реле, вплив аперіодичною складає і необхідний запас.

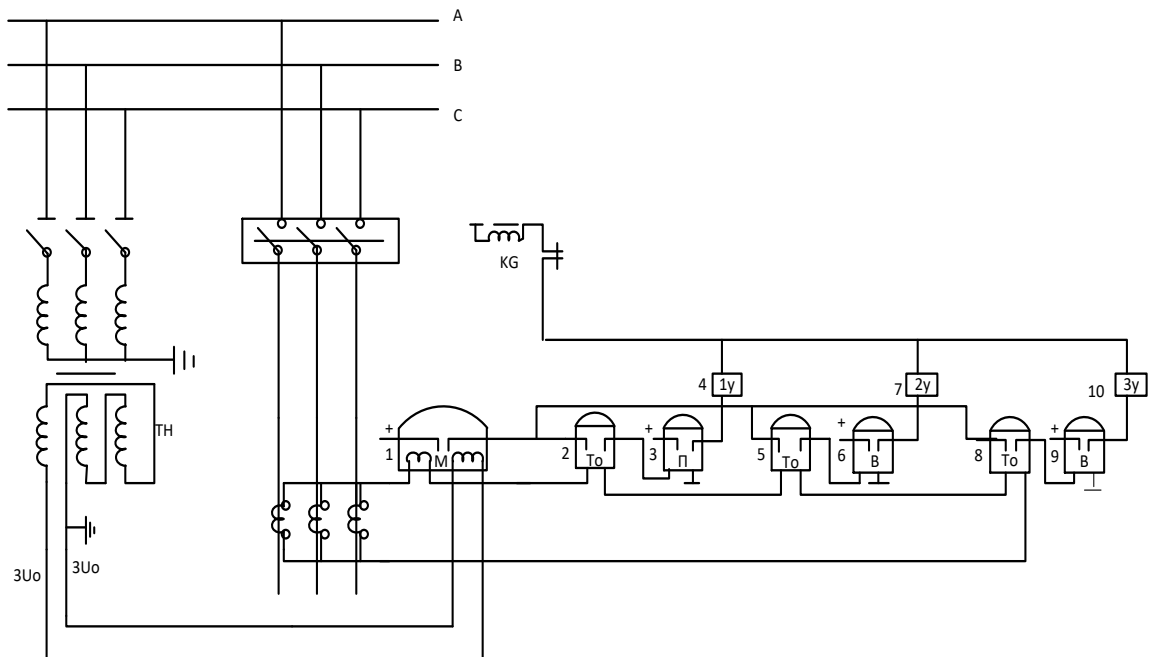


Рисунок 4.10 – Схема триступеневої струмового направленої захисту нульової послідовності: перший ступінь - реле 2, 3, 4; другий ступінь - реле 5, 6, 7; третій ступінь - реле 3, 9, 10



Розрахунковий струм в (4.13) приймають рівним діючому значенню періодичної складової початкового надперехідного струму замикання на землю для всіх ступенів захисту, при цьому розрахунок струмів к.з. виконують, виходячи з е.р.с. генераторів, рівних середнім напругам в мережі, без урахування активних і навантажувальних опорів [26].

У цьому розділі з метою спрощення записів верхній індекс (два штриха) у струмів було упущено.

Найбільше значення струму  $I_0$  в лініях АБ і БВ має місце при однофазному к. з. в максимальному режимі системи, так як для заданої схеми мережі  $X_{0\Sigma} > X_{1\Sigma} \approx X_{2\Sigma}$ .

Мінімальне значення струму  $I_0$  в лініях має місце в цьому випадку при двофазних к.з. на землю в мінімальному режимі системи.

На рис.4.9 наведені результати розрахунку струмів  $I_0^{(1)}$  і  $I_0^{(1,1)}$  відповідно при однофазних і двофазних к.з. на землю на шинах Б і В, а на рис. 4.3 – криві струмів при к. з. в різних точках лінії БВ.

По вхідним даними, наведеними на рис. 4.9. По (4.13) обчислюємо

$$I_{c.3.2}^I = K_H \cdot 3I_{\text{ОБВ.макс}}$$

$$I_{c.3.2}^I = 1,2 \cdot 1125 = 1350 \text{ А.}$$

На рис. 4.11 проводимо пряму, відповідну II с.в.2. Точки перетину цієї прямої з кривими струмів в лінії БВ при однофазним к.з. в максимальному режимі і двофазному к.з. на землю в мінімальному режимі, системи показують відповідно максимальну і мінімальну зону, яка захищається, які рівні 75,3 і 37,3%.

При пофазному керуванні приводами вимикача лінії або наявності в схемі швидкодіючого вихідного проміжного реле перший ступінь повинен бути відбудований від струмів нульової послідовності в лінії, що виникають внаслідок неодночасного включення фаз вимикача.

При різнотривалих включеннях окремих фаз вимикача, що перевищує час дії першого ступеня захисту, вона повинна бути також відбудована від струмів нульової послідовності в лінії внаслідок кидків струмів намагнічування силових трансформаторів, підключених до цієї лінії.

*Розрахунок кидків струмів намагнічування силових трансформаторів.*

1. Для радіальної лінії або для паралельних ліній в режимі каскадного відключення к. з. зона першого ступеня захисту при однофазному к. з. обчислюється аналітично за виразом (4.14):

$$z_{отс} = \frac{[3 \cdot E_{с.ф} - I_{с.з}^I (2 \cdot z_{1с} + z_{ос})]}{I_{с.з}^I \cdot (2 \cdot z_{1п} + z_{оп})} \quad (4.14)$$

де індексом «с» позначений опір системи до шин в місці установки захисту.

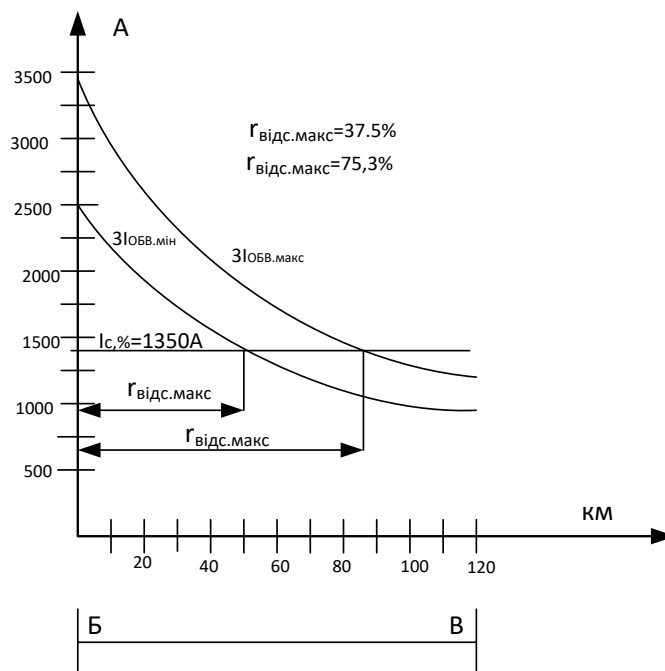


Рисунок. 4.11 – Графічне визначення зон дії струмової відсічки нульової послідовності без витримки часу

2. Первинний струм спрацьовування другого ступеня захисту 1 лінії АБ  $I_{\text{сз1}}$  за умовою узгодження по чутливості налаштовується від максимального розрахункового струму в даній лінії  $3I_{\text{ОАБМАКС}}$  при замиканні на землю на суміжній ділянці в кінці зони, що захищається першим ступенем захисту 2 (рис. 4.9) попередньої лінії БВ. Цей розрахунковий струм для мереж радіальної конфігурації і кільцевих мереж з поодинокими лініями без діагональних зв'язків визначається аналітичним або графоаналітичним способом [26].

В даному випадку відсутнє живлення з боку підстанція Б, тому при к. з. на землю в будь-якій точці лінії БВ струми нульової послідовності в цій лінії і лінії АБ однакові і струм спрацьовування другого ступеня обчислюється за формулою (4.15):

$$I_{\text{с.з1}}^{\text{II}} = 3I_{\text{обвмакс}} = k_{\text{н}} I_{\text{с.з2}}^{\text{I}} \quad (4.15)$$

де  $k_{\text{н}} = 1,1$  – коефіцієнт надійності.

Підставляючи  $I_{\text{сз2}}^{\text{I}} = 1350$  А,  $I_{\text{с.з1}}^{\text{II}} = 1,1 \cdot 1350 = 1486$  А.

Визначаємо мінімальний і максимальний коефіцієнт чутливості другого ступеня захисту 1 відповідно при замиканні двох фаз і однієї фази на землю на шинах Б1

$$K_{\text{ч (1.1)}}^{\text{II}} = 3I_{\text{ОАБМАКС}}^{(1,1)} / I_{\text{с.з1}}^{\text{II}} = 2390/1485 = 1,61;$$

$$K_{\text{ч (1.1)}}^{\text{II}} = 3I_{\text{ОАБМАКС}}^{(1)} / I_{\text{с.з1}}^{\text{II}} = 3620/1485 = 2,44.$$

Витримку часу другого ступеня захисту 1 приймаємо на рівень селективності більше відсічення - першого ступеня без витримки часу - захисту 2, т. е.  $T_{\text{II}} = \Delta t \approx 0.4$  с.

Другий ступінь захисту 1 узгоджується по чутливості і часу з другим ступенем захисту 2 попередньої ділянки.

3. Первинний струм спрацьовування третього ступеня захисту 1 лінії АБ  $I_{III.c.31}$  повинен бути відлаштований від струму небалансу в нульовому проводі ТС при зовнішніх замиканнях між трьома фазами, якщо витримка часу цього ступеня дорівнює або менше, ніж у захисту від замикань між фазами на пошкодженому елементі. Правило відповідає умові налагодження від струмів небалансу при трифазних металевих к. з. за трансформаторами підстанцій, що примикають до обох кінців лінії.

Витримка часу третьої, резервної, ступені захисту визначається по можливості за ступінчастим принципом, а струм спрацьовування узгоджується по чутливості з третім ступенем попереднього захисту з урахуванням максимального струморозподілу (якщо є підживлення), що визначається для випадку к. з. на землю в кінці суміжної ділянки.

По [26]  $I_{III.c.31}$  обчислюють за формулою (4.16):

$$I_{III.c.31}^{III} = k_n \cdot I_{нб.розр} = k_n \cdot I_{нб.уст} \quad (4.16)$$

де  $I_{нб.уст}$  - струм небалансу в нульовому проводі ТС в режимі, що встановився при зовнішніх трифазних к. з. ;  $k_n = 1,25$  - коефіцієнт надійності, що враховує помилку реле і необхідний запас;  $k_{апер}$  - коефіцієнт, що враховує перехідний режим (при відсутності прискорення третього ступеня після АПВ  $k_{апер} = 1$ , а при наявності прискорення після АПВ  $k_{апер} = 2$ ).

Струм небалансу наближено може бути визначений за формулою (4.17) в припущенні, що повна похибка  $TC_\epsilon = 10\%$  в розрахунковому режимі [26]:

$$I_{нб.уст} = k_{одн} \cdot I_{розр} \quad 4.17$$

де  $k_{одн} \approx 0,5 \div 1$  - коефіцієнт однотипності ТС.

У нашому випадку  $I_{\text{розр}} = 755 \text{ A}$  (струм трифазного к. з. на шинах при мінімальному опорі трансформатора на крайній ступені регулювання і максимальному режимі системи).

Підставляючи (4.17) в (4.16), отримуємо наближений вираз для обчислення струму спрацьовування третьої ступені:

$$I_{\text{с.зт}}^{\text{III}} = k_{\text{н}} k_{\text{апер}} k_{\text{одн}} I_{\text{к.макс}}^{(3)} t \quad (4.18)$$

Вважаючи наявність прискорення після АПВ та приймаючи  $k_{\text{одн}} = 1$ , обчислюємо  $I_{\text{с.зт}}^{\text{III}}$  по (4.18):

$$I_{\text{с.зт}}^{\text{III}} = k_{\text{н}} \cdot k_{\text{апер}} \cdot k_{\text{одн}} \cdot I_{\text{к.макс}}^{(3)} \cdot t$$

Мінімальний  $k_{\text{чIII}}$  визначаємо при двофазному к. з. на землю в кінці зони резервування, тобто на шинах В:

$$k_{\text{ч(1.1)}}^{\text{III}} = \frac{3 \cdot I_{\text{ОБВ.min}}}{I_{\text{с.зт}}^{\text{III}}},$$

$$k_{\text{ч(1.1)}}^{\text{III}} = \frac{774}{189} = 4,1.$$

За [26, 30] цей коефіцієнт повинен бути не менше 1,2.

#### 4.9 Визначення уставок захисту ліній з двостороннім живленням

За початковими даними, наведеними на рис. 4.12, для лінії 10 кВ АБ з двостороннім живленням визначаємо первинні струми спрацьовування перших ступенів - струмових відсічок нульової послідовності без витримки часу 1,2 і графічно визначити зони їх дії при однофазних к.з.

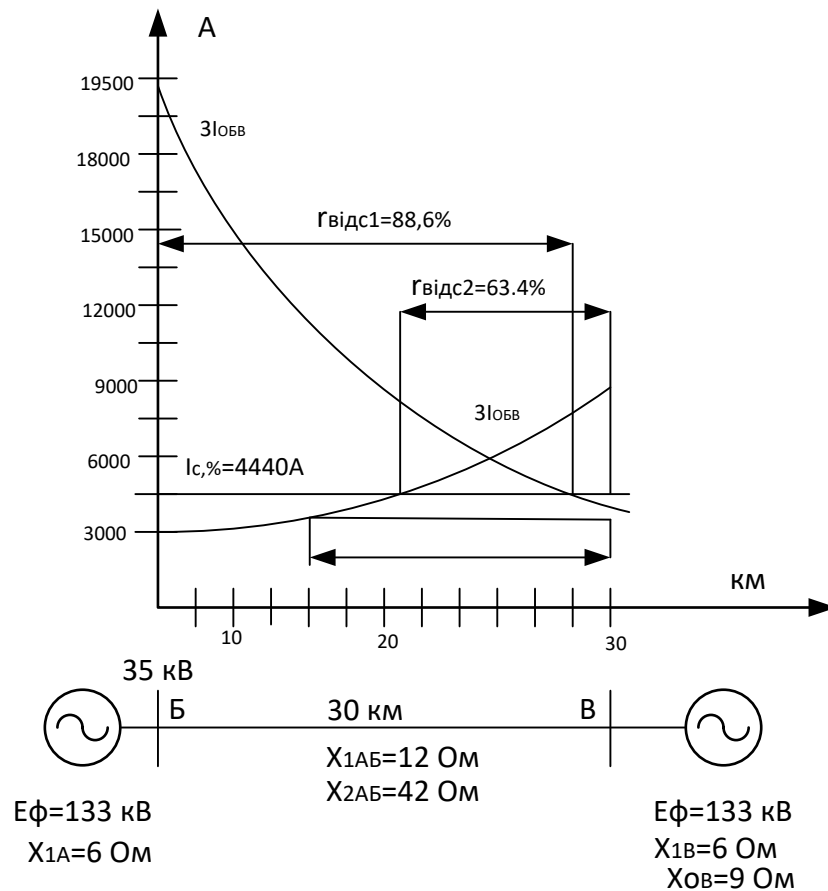


Рисунок. 4.12 – Графічне визначення зон дії ненаправленої і спрямованої струмових відсічок нульової послідовності на лінії з двостороннім живленням.

Первинний струм спрацьовування першого ступеня – струмової відсічки нульової послідовності без витримки часу на лінії з двостороннім живленням повинен бути відлаштований від максимального струму нульової послідовності в лінії при к. з. на землю на шинах, до яких підключена ця лінія.

При  $X_{0\Sigma} > X_{1\Sigma} \approx X_{2\Sigma}$  струми  $I_0^{(1)} > I_0^{(1.1)}$ , тому струми нульової послідовності в лінії обчислювалися для випадку металевого однофазного к. з. на шинах А, Б і в двох місцях на лінії АБ, Результати розрахунку наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку струмів нульової послідовності

| Місце однофазного к. з. | Струми нульової послідовності<br>в лінії АБ |        |
|-------------------------|---|--------|
|                         | Початок лінії біля шин А                    | 19 650 |
| 10 км от шин А          | 9 070                                       | 4 410  |
| 20 км от шин А          | 5 690                                       | 6 010  |
| Початок лінії у шин Б   | 3 700                                       | 9 000  |

За даними табл. 4.3 на рис. 4.12 показані криві струму  $3I_0$  в лінії АБ, що притікають до місця однофазного к. з, від систем А і Б.

Струм спрацьовування першого ступеня без елемента напрямку захистів 1 і 2 обчислюємо по (4.13):

$$I_{с.з1}^I = I_{с.з2}^I = k_n 3I_{0л.макс} = 1,2 \cdot 3700 = 4440 \text{ А.} \quad (4.19)$$

На рис. 4.12, а проводимо пряму  $I_{с.з1}^I$  паралельно осі абсцис, при цьому точки перетину цієї прямої з кривими струмів в лінії від систем А і В  $I_{с.з1}^I$  і  $I_{0лА}^{(1)}$  і  $I_{0лБ}^{(1)}$  показують зони дії відсічок 1 і 2 при однофазному к. з., які відповідно становлять 86,6 та 63,4% .

Зону дії відсічки 2 можна збільшити, застосувавши для цього захисту елемент напрямку потужності  $M_0$  (рис. 4.12). У цьому випадку захист буде діяти тільки при направленні потужності к. з. від шин Б в сторону лінії БА і не діяти при к. з. на землю на шинах Б. Спрямована струмовий захист нульової послідовності 2 повинна бути відбудована від максимального струму в лінії 3  $I_{0лБмакс}^{(1)}$  при однофазному к. з. на протилежному кінці у шин А, тобто від струму 2850 А, а не від струму 3700 А.

В цьому випадку  $I_{с.32}^1 = 1,2 \cdot 2850 = 3420$  А. Проводячи пряму  $I_{с.32}^1 = 3420$  А від шин Б до перетину з кривою струму ЗІЮл.Б, визначаємо зону дії спрямованої струмового відсічення нульової послідовності 2 при однофазному к.з., яка дорівнює 85,7%.

Слід підкреслити, що при двофазному к.з. на землю струми нульової послідовності менш обчислених і, отже, захищаються зони будуть також менш обчислених.

На практиці необхідно визначати і мінімальні зони дії відсічки. Зазвичай спрямовані захисту нульової послідовності з витримкою часу і без такої застосовують в мережах з заземленими нульовими точками, розташованими по обидва боки ділянки мережі.

Ці захисту діють при одному напрямку потужності - від шин в сторону захищаються ліній, і їх витримки часу підбираються по ступінчастому принципом. Вони встановлюються з метою підвищення чутливості на тому кінці ліній, де при зовнішніх к, з. на шинах струми нульової послідовності, в лінії мають більше значення.

### **Висновки до четвертого розділу**

Розрахунки параметрів струмового ступеневого захисту РЕЛСіС РЗЛ 05Л на прикладах ЛЕП 10 кВ свідчать про можливість визначення з метою подальшого виставлення на реле РЕЛСіС РЗЛ-05л розрахованих уставок РЕЛСіС РЗЛ-05л та про можливість селективного відключення пошкодженої ділянки ПЛ 10 кВ.



## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У даному розділі розглядаються основні питання конкурентоспроможності продукту та комерційного потенціалу розробки.

### 5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Для оцінки комерційного потенціалу розробки, що описується в даній роботі, було залучено трьох експертів. В якості експертів були обрані: викладач кафедри Електричних станцій та систем ВНТУ к.т.н., проф. – Рубаненко О. Є. (основний напрям науково-дослідної діяльності – технічна діагностика силового електрообладнання, мікропроцесорна протиаварійна автоматика та релейний захист); Печерога Д. П. – начальник служби релейного захисту АТ Вінницяобленерго; Килимчук А. В. – начальник служби релейного захисту ПрАТ Рівнеобленерго, які мають великий досвід роботи з пристроями релейного захисту [25].

Рівень комерційного потенціалу розробки. Виготовлення пристрою контролю часових характеристик з метою перевірки справності та похибки в роботі релейного захисту (а саме перевірки похибки в спрацюванні релейного захисту саме з заданою витримкою часу) бажано було б здійснювати спільно з вітчизняною чи з закордонною електротехнічною компанією, що має відповідні виробничі потужності на території України, наприклад, з такими, як: «Київприлад», «Київський електротехнічний завод», РЗА Системз, .Omicon та з іншими.

Досліджуваний в магістерській кваліфікаційній роботі пристрій для випробовувань обладнання РЗА має здійснювати перевірку релейного захисту в частині реалізації уставок за часом спрацювання та перевірку селективності дії захисту за часом.

На аналоговому вході пристрою має бути напруга джерела оперативного постійного струму 220 В.

На «цифровому» виході RS232 пристрою та на вбудованому в пристрій РКІ – інформація про зміну напруги керування в часі та про зміну положення контактів контрольованого реле або релейного терміналу у часі. Також на моніторі пристрою та на підключеному до пристрою ноутбуку – результати випробовувань у вигляді протоколу.

Таблиця 5.1 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

| Критерій                          | Прізвище, ініціали, посада експерта |               |               |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|
|                                   | Рубаненко О.Є.                      | Печерога Д.П. | Килимчук А.В. |
|                                   | Бали виставлені експертами          |               |               |
| 1                                 | 2                                   | 3             | 3             |
| 1                                 | 2                                   | 3             | 3             |
| 2                                 | 3                                   | 3             | 4             |
| 3                                 | 2                                   | 1             | 2             |
| 4                                 | 3                                   | 3             | 4             |
| 5                                 | 4                                   | 4             | 2             |
| 6                                 | 2                                   | 3             | 1             |
| 7                                 | 2                                   | 2             | 2             |
| 8                                 | 4                                   | 4             | 4             |
| 9                                 | 1                                   | 1             | 2             |
| 10                                | 4                                   | 3             | 4             |
| 11                                | 3                                   | 2             | 2             |
| 12                                | 2                                   | 1             | 1             |
| Сума балів                        | 36                                  | 36            | 38            |
| Середньоарифметична сума балів СБ | 37                                  |               |               |

Напрямки організації подальшого впровадження розробки.

Для подальшого впровадження розробки необхідно буде провести додаткові дослідження та підібрати параметри пристрою перевірки часових характеристик релейного захисту.

Необхідно залучити фахівців з програмування мікроконтролерів для оптимізації коду програми мікроконтролера запропонованого пристрою, а

також для створення програмного забезпечення для обслуговування пристрою контролю релейного захисту [27-29]. Необхідно створити усю відповідну документацію та інструкції зі встановлення, налагодження та обслуговування пристрою діагностики РЗА.

## 5.2 Прогнозування витрат на проведення науково-дослідної роботи

Проведемо прогнозування витрат на виконання науково-дослідної та конструкторської роботи згідно з методичними вказівками [33]. Розрахуємо основну заробітну плату кожного із розробників, вираз (5.1):

$$Z_o = \frac{M_1}{T_p} \cdot t, \quad (5.1)$$

де  $M_1$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн.;  $T_p$  – кількість робочих днів у місяці;  $t$  – кількість робочих днів роботи розробника.

Для подальших розрахунків приймаємо, що  $t = 25$  днів. Необхідні розрахунки проведемо в табличній формі.

Таблиця 5.2 – Розрахунок основної заробітної плати кожного із розробників

| № П.П. | Найменування посади виконавця | Місячний посадовий оклад, грн. (робота за сумісництвом) | Оплата за робочий день, грн. | Кількість днів роботи | Витрати на оплату праці, грн. |
|--------|-------------------------------|---|------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 1      | Доцент, к.т.н.                | 3000  | 120                          | 14                    | 1680,00                       |
| 2      | Магістрант                    | 1000  | 40                           | 50                    | 2000,00                       |
| Разом  |                               |   |                              |                       | 3680,00                       |

Оскільки робітники до виконання даної дослідної роботи не залучалися, то розраховувати їх заробітну плату немає потреби.

Розрахуємо додаткову заробітну плату  $Z_d$  для розробників за виразом (5.2):

$$Z_d = 0,1 \cdot Z_o . \quad (5.2)$$

$$Z_d = 0,1 \cdot 3680 = 368,00 \text{ (грн.)}.$$

Розрахуємо нарахування на заробітну плату  $H_{зп}$  розробників, які брали участь у виконанні науково-дослідної та конструкторської роботи, за виразом (5.3)

$$H_{зп} = (Z_o + Z_p + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100} , \quad (5.3)$$

де  $Z_o$  – основна заробітна плата розробників, грн.;  $Z_p$  – основна заробітна плата робітників, грн.;  $Z_d$  – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;  $\beta$  – ставка єдиного внеску на загальнообов’язкове державне соціальне страхування, %. Для подальших розрахунків, згідно з таблицею 5.2 [33], приймаємо коефіцієнт  $\beta = 36,3\%$

$$H_{зп} = (3680,00 + 368,00) \cdot \frac{36,3}{100} = 1489,26 \text{ (грн.)} . \quad (5.4)$$

Розрахуємо амортизацію обладнання, комп’ютерів та приміщень  $A$ , які використовувались підчас виконання науково-дослідної та конструкторської роботи за формулою (5.5):

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де Ц – загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів приміщень тощо, що використовувались для виконання дослідної та конструкторської роботи, грн.;  $H_a$  – річна норма амортизаційних відрахувань (приймаємо  $H_a=10\%$ ); Т – термін використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Як приклад для таблиці 5.3 (лише перший рядок) покажемо нижче розрахунок для стаціонарного комп'ютеру (5.6).

$$A_{\text{стац. комп.}} = \frac{6000 \cdot 10}{100} \cdot \frac{3}{12} = 150 \text{ (грн)}. \quad (5.6)$$

Однотипні розрахунки для решти техніки зведемо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок амортизаційних відрахувань («А» до (5.9))

| Найменування обладнання, приміщень тощо | Балансова вартість, грн. | Норма амортизації, % | Термін використання, міс. | Величина амортизаційних відрахувань, грн. |
|---|--------------------------|----------------------|---------------------------|---|
| Стаціонарний комп'ютер                  | 6000                     | 10                   | 3                         | 150,00                                    |
| Ноутбук                                 | 4500                     |                      | 8                         | 300,00                                    |
| Аудиторія 3214                          | 30000                    |                      | 3                         | 2000,00                                   |
| Аудиторія 3218                          | 27000                    |                      | 8                         | 675,00                                    |
| Всього                                  |                          |                      |                           | 3125,00                                   |

Підчас виконання даної дослідної роботи не було виконано дослідних зразків пристрою, так як це не ставилось за мету. Тому витрати на матеріалів набудуть нульових значень.

Витрати на комплектуючі, що були використані підчас виконання роботи розрахуємо за формулою (5.7):

$$K = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i , \quad (5.7)$$

де  $H_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;  $C_i$  – ціна комплектуючих  $i$ -го виду, грн.;  $K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат, приймаємо  $K_i = 1,1$ ;  $n$  – кількість видів комплектуючих.

Таблиця 5.4 – Витрати на комплектуючі, що були використані підчас виконання науково-дослідної роботи («М+К» у формулі 5.9)

| №  | Назва                            | Тип                       | К-сть | Ціна    | Сума    |
|----|----------------------------------|---------------------------|-------|---------|---------|
| 1  | Блок живлення                    | MeanWell PD110A           | 1     | 254,00  | 254,00  |
| 2  | Датчик температури               | TCM1-3-50M-B-3-60-6-40-Д  | 1     | 126,00  | 126,00  |
| 3  | Нормуючий перетворювач           | TCMU-50M-0,5-Д            | 1     | 264,00  | 264,00  |
| 4  | Цифровий мультиметр              | UNIT UT139B               | 1     | 756,00  | 756,00  |
| 5  | Процесорний модуль формату PC104 | Advantech PCM-3353F-L0A1E | 1     | 3011,80 | 3011,80 |
| 6  | Рідкокристалічний дисплей        | WC0802C-STBLWNC-06        | 1     | 39,00   | 39,00   |
| 7  | Друкована плата модуля В/В       | MBV01                     | 1     | 340,00  | 340,00  |
| 8  | Конденсатор електролітичний      | 2200 мкФ х 16В            | 4     | 2,40    | 9,60    |
| 9  | Конденсатор електролітичний      | 100 мкФ х 16В             | 12    | 1,10    | 13,20   |
| 10 | Конденсатор електролітичний      | 47 мкФ х 16В              | 4     | 1,10    | 4,40    |

продовження таблиці 5.4

| №  | Назва                              | Тип                     | К-сть | Ціна   | Сума   |
|----|------------------------------------|-------------------------|-------|--------|--------|
| 11 | Конденсатор<br>електролітичний     | 10 мкФ х 16В            | 2     | 1,00   | 2,00   |
| 12 | Конденсатор керамічний             | 0,1 мкФ х 50В           | 27    | 0,11   | 2,97   |
| 13 | Конденсатор керамічний             | 0,01 мкФ х 50В          | 4     | 0,11   | 0,44   |
| 14 | Реле                               | HJR-21FF-12VDC-S-Z      | 1     | 3,50   | 3,50   |
| 15 | Транзистор                         | BC847                   | 1     | 0,54   | 0,54   |
| 16 | Діод                               | 1N4007                  | 1     | 0,32   | 0,32   |
| 17 | Клемник                            | 78H-05P                 | 2     | 19,80  | 39,60  |
| 18 | Мікросхема ПЛМ                     | Altera EPM3064STC100-10 | 1     | 29,30  | 29,30  |
| 19 | Мікросхема АЦП                     | AnalogDevices AD7680    | 4     | 49,98  | 199,92 |
| 20 | Мікросхема підсилювач              | LM358D                  | 4     | 3,62   | 14,48  |
| 21 | Мікросхема стабілізатор<br>напруги | LM78L05                 | 4     | 1,50   | 6,00   |
| 22 | Супресор                           | P6KE12CA                | 4     | 1,30   | 5,20   |
| 23 | Перетворювач DC-DC                 | RB1212D                 | 4     | 46,00  | 184,00 |
| 24 | Оптопара                           | PC817                   | 12    | 1,30   | 15,60  |
| 25 | Роз'єм                             | MF-16F                  | 1     | 6,90   | 6,90   |
| 26 | Роз'єм                             | MF-16M                  | 1     | 4,80   | 4,80   |
| 27 | Роз'єм                             | BH-10                   | 1     | 1,20   | 1,20   |
| 28 | Дросель                            | DL1206-10               | 4     | 1,50   | 6,00   |
| 29 | Резистор                           | 270 Ом; 0,125Вт         | 12    | 0,07   | 0,84   |
| 30 | Резистор                           | 620 Ом; 0,125Вт         | 12    | 0,07   | 0,84   |
| 31 | Резистор                           | 820 Ом; 0,125Вт         | 4     | 0,07   | 0,28   |
| 32 | Резистор                           | 1 кОм; 0,125Вт          | 12    | 0,07   | 0,84   |
| 33 | Резистор                           | 10 кОм; 0,125Вт         | 18    | 0,07   | 1,26   |
| 34 | Кнопка                             | TS102S H9.5             | 4     | 0,60   | 2,40   |
| 35 | Корпус приладу                     | KJA6200-220             | 1     | 180,00 | 180,00 |
| 36 | Вимикач                            | H8653VBBR3              | 1     | 20,80  | 20,80  |
| 37 | Тримач запобіжника                 | P-12                    | 2     | 1,80   | 3,60   |
| 38 | Запобіжник                         | 5x20мм, 3А, 25В         | 2     | 0,30   | 0,60   |

продовження таблиці 5.4

|        |                                   |                     |     |      |                |
|--------|-----------------------------------|---------------------|-----|------|----------------|
| 39     | Стійка металева                   | DBLM3/10            | 8   | 0,90 | 7,20           |
| 40     | Стійка металева                   | DBLM3/20            | 6   | 1,90 | 11,40          |
| 41     | Тримач провідників<br>самоклейкий | PTL-2               | 8   | 0,80 | 6,40           |
| 42     | Провідники (метрів)               | 0,35мм <sup>2</sup> | 2,1 | 2,40 | 5,04           |
| 43     | Провідники (метрів)               | 0,5мм <sup>2</sup>  | 0,6 | 3,10 | 1,86           |
| 44     | Гвинт                             | M3x6                | 28  | 0,10 | 2,80           |
| 45     | Гвинт                             | M4x10               | 8   | 0,18 | 1,44           |
| Разом: |                                   |                     |     |      | <b>5588,37</b> |

Розрахуємо цифрове значення інших витрат, прийнявши відсоток на інші витрати за 100% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників за виразом (5.8):

$$B_{ин} = 100\% \cdot (Z_o + Z_p) . \quad (5.8)$$

$$B_{ин} = 1 \cdot 3680,00 = 3680,00 \text{ (грн.)}.$$

За виразом (5.9) розрахуємо витрати на виконання даної частини науково-дослідної роботи, як суму усіх попередніх статей витрат.

$$B = Z_o + Z_d + H_{зп} + A + M + K + B_{ин} . \quad (5.9)$$

$$B = 3680,00 + 368,00 + 1489,26 + \\ + 3125,00 + 5588,37 + 3680,00 = 15930,63 \text{ (грн.)}.$$

де  $M+K = 5588,37$  грн. – витрати на комплектуючі та матеріали (з табл. 5.4),



Оскільки робота над пристроєм діагностики в майбутньому буде продовжена, то розрахуємо загальні витрати на виконання даної науково-дослідної та конструкторської роботи з урахуванням інших витрат  $B_{ін}$ .

$$B_{заг} = \frac{B_{ін}}{\alpha} , \quad (5.10)$$

де  $\alpha = 0,2$  – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даної науково -дослідної та конструкторської роботи, у відн.од.

$$B_{заг} = \frac{3680,00}{0,2} = 18400,00 \text{ (грн.)}$$

Прогнозування загальних витрат здійснимо за формулою (5.11):

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta} , \quad (5.11)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який враховує стадію виконання даної роботи.

Оскільки розробка знаходиться на стадії розробки конструкторської документації, то приймаємо  $\beta = 0,4$ .

$$ЗВ = \frac{18400,00}{0,4} = 46000,00 \text{ (грн.)}$$

### **5.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки**

Дослідимо комерційний ефект від переходу від випуску застарілого вартісного приладу для контролю часових характеристик реле часу,

терміналів для захисту ЛЕП та панелей релейного захисту на нову більш дешеву модель без погіршення надійності та якості її функціонування.

Необхідність досліджень викликана зменшенням обсягів продаж досліджуваного приладу та очікуваним припиненням продаж на протязі наступних трьох років. Для повного завершення науково-дослідної роботи потрібно 1,5 роки. Позитивні результати від впровадження розробки очікуємо отримати через 2 роки. Впровадження даного приладу разом з алгоритмом використання його даних для врахування результатів під час налаштування уставок з метою забезпечення селективності дії захисту в залежності від стану та похибки реле дозволить значно зменшити витрати на ремонти ЛЕП після раптових помилок першого або другого роду в роботі реле та релейного захисту в цілому.

Найближчим аналогом даного приладу є випробувальна система РЕлеТЕСТер 05 (рис.5.1), яка дозволяє контролювати багато параметрів релейного захисту, при цьому вартість такої системи у 2019 році складає близько 1000 тис. грн. Провівши моніторинг ринку, дійшли висновку що вартість аналогу складає мінімум 800 тис. грн. Це означає, що з запровадженням нашого зразка пристрою скорочується на 200 тис. грн. До впровадження наукової розробки обсяг продаж складав у поточному році – один пристрій за рік, а надходження від продажу одиниці продукції, які отримувало підприємство – біля 100000 грн.



Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд випробувальної системи РЕТЕСТер – 05



Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд розробленого пристрою для контролю часових характеристик реле

Після впровадження даної розробки і отримання позитивних відгуків про відсутність хибних спрацювань релейного захисту та нормальне функціонування приладу, на енергооб'єктах, що вже його впровадили очікується **збільшення кількості** одиниць реалізованої продукції та зменшення кількості хибної роботи релейного захисту, особливо в частині забезпечення селективності відключення пошкодженої ділянки ЛЕП, або пошкодженої ЛЕП в цілому: у першому (після закінчення розробки, тобто у наступному) році – на 0 од.; у другому році – на 4 од. (очікуваний обсяг продаж застарілої моделі – 0 одиниць); у третьому році на 2 од. (очікуваний обсяг продаж застарілої моделі – 0 одиниць); у четвертому році – на 1 од. Далі виправдано знову модернізувати досліджуваний пристрій.

Оцінимо зростання чистого прибутку розробника за наступною формулою (5.12):

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_{я,i} \cdot N_i + \Pi_{я,i} \cdot \Delta N_i) , \quad (5.12)$$

де  $i$  – номер року випуску нового зразка (починаючи з наступного року),  $n$  – кількість років спостережень за результатами впровадження нового зразка пристрою ( $n=4$  роки),  $\Delta\Pi_{\text{я}}$  – покращення основного показника (прибутку розробника) від впровадження результатів розробки в поточному році,  $\Pi_{\text{я}}$  – основний показник, який визначає діяльність розробника у даному році після впровадження результатів наукової розробки,  $N$  – основний кількісний показник, який визначає діяльність розробника у наступному році до впровадження результатів розробки (продано застарілої моделі пристрою – 1 одиниця);  $\Delta N$  – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки (зростання кількості продаж пристрою).

$$\Delta\Pi_{\text{я}} = m_1 \cdot \Pi_{\text{нов.}} - m_2 \cdot \Pi_{\text{стар.}},$$

де  $m_{1(I)} = 1$  од. – очікувана кількість продаж нового пристрою,  $\Pi_{\text{нов.}} = 800000$  грн. – вартість нового пристрою,  $m_{2(I)} = 1$  од. – очікувана кількість продаж старого пристрою за перший рік продаж,  $\Pi_{\text{стар.}} = 1000000$  грн. – вартість старого пристрою,  $\Delta N_I$  – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки (очікується продати нову модель пристрою у кількості однієї одиниці в перший же рік продаж, раніше такий пристрій взагалі не продавався, замість продажу старої моделі в першому році в кількості – також одна одиниця):

$$\Delta N_I = N_{\text{нов.},I} - N_{\text{стар.},I} = 1 - 1 = 0 \text{ одиниць.}$$

Отже очікувана кількість продаж за перший рік продаж не змінилась, а залишилась на тому ж рівні тобто очікується продати один пристрій

нової конструкції замість одного пристрою старої конструкції. Однак вартість нової розробки на 200 тис. грн. менша старої.

Тому прибуток за рахунок продажу одного приладу нової розробки замість одного приладу старої конструкції за перший рік продажу становить:

$$\Delta\Pi_{я,I} = m_{1,I} \cdot \Pi_{нов.} - m_{2,I} \cdot \Pi_{стар.} = 1 \cdot 800000 - 1 \cdot 1000000 = -200000 \text{ грн.}$$

Тому у першому році продаж очікується зменшення очікуваного прибутку від продажу досліджуваного пристрою тому, що новий пристрій дешевший ніж старий, а кількість продаж однакова.

За другий рік продаж за рахунок позитивного досвіду експлуатації та схвальних відгуків споживачів планується зростання кількості продаж до 4-х одиниць пристроїв за рік.

Тому, очікується, що прибуток за рахунок продажу чотирьох приладів нової розробки за відсутності продажу приладу старої конструкції за другий рік продаж становитиме:

$$\Delta\Pi_{я,II} = m_{1,II} \cdot \Pi_{нов.} - m_{2,II} \cdot \Pi_{стар.} = 4 \cdot 800000 - 0 \cdot 1000000 = 3200000 \text{ грн,}$$

тобто у другому році очікується прибуток 3200000 грн.

У третьому році очікується зменшення кількості продаж до 2 одиниць нових пристроїв в умовах очікуваної відсутності продаж застарілої моделі.

Тому, очікується, що прибуток за рахунок продажу двох приладів нової розробки за відсутності продажу приладу старої конструкції за третій рік продаж становитиме:

$$\Delta\Pi_{я,III} = m_{1,III} \cdot \Pi_{нов.} - m_{2,III} \cdot \Pi_{стар.} = 2 \cdot 800000 - 0 \cdot 1000000 = 1600000 \text{ грн,}$$

тобто у третьому році очікується прибуток 1600000 грн.

У четвертому році очікується зменшення кількості продаж до 1 одиниці нових пристроїв в умовах очікуваної відсутності продаж застарілої моделі.

Тому, очікується, що прибуток за рахунок продажу одного приладу нової розробки за відсутності продажу приладу старої конструкції за четвертий рік продаж становитиме:

$$\Delta\Pi_{я,IV} = m_{1,IV} \cdot \Pi_{нов.} - m_{2,IV} \cdot \Pi_{стар.} = 1 \cdot 800000 - 0 \cdot 1000000 = 800000 \text{ грн,}$$

тобто у четвертому році очікується прибуток 1600000 грн.

Нажаль стійке зменшення очікуваної кількості продаж нової моделі пристрою, викликане появою на ринку нових пристроїв з більшим набором функцій та з меншою вартістю (виготовлених з використанням спеціалізованого, більш рентабельного виробництва) викликає необхідність нових капіталовкладень в подальше вдосконалення пристрою.

Загальне збільшення прибутку підприємства за чотири досліджувані роки після закінчення розробки ( тобто з року – початку продаж) становитиме:

$$\sum_{i=1}^{n=4} \Delta\Pi_i = -200000 + 3200000 + 1600000 + 800000 = 5400000 \text{ (грн.) .}$$

#### **5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності**

Розрахуємо ефективність вкладених інвестицій та період їх окупності, використовуючи алгоритм запропонований в [33].

В якості теперішньої вартості інвестицій, що вкладаються в наукову розробку,  $PV$  приймаємо величину загальних втрат на виконання і впровадження результатів науково-дослідної роботи ЗВ, вираз (5.13).

$$PV = ZB = 46000,00 \text{ (грн.)}. \quad (5.13)$$

Використаємо значення очікуваного збільшення прибутку, що його отримає підприємство від впровадження розробки, розраховані в пункті 5.2.

Побудуємо вісь часу, як показано на рис. 5.3, на яку нанесемо усі інвестиції та прибутки, що мають місце підчас виконання даної науково-дослідної роботи.

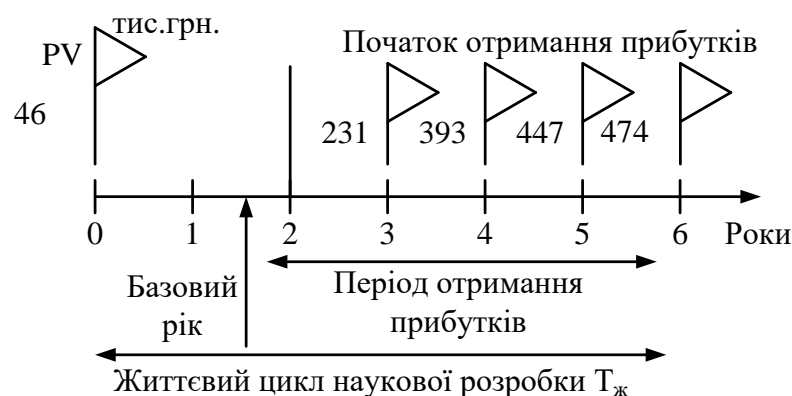


Рисунок 5.3 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце підчас розробки і впровадження результатів даної науково-дослідної роботи

Визначимо значення приведеної вартості всіх чистих прибутків ПП за формулою:

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^i}, \quad (5.14)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної роботи;  $t$  – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої науково-дослідної роботи;  $\tau$  – ставка дисконтування, для України – 0,1;  $t$  – період часу від моменту отримання чистого прибутку до точки “0”.

$$ПП = \frac{3200}{(1+0,1)^3} + \frac{16000}{(1+0,1)^4} + \frac{800}{(1+0,1)^5} = 5596,64 \text{ (тис. грн.)}.$$

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій  $E_{абс}$  за формулою (5.15):

$$E_{абс} = ПП - PV . \quad (5.15)$$

$$E_{абс} = 5596,64 - 46,0 = 5550,64 \text{ (тис. грн.)}.$$

Оскільки  $E_{абс} > 0$ , то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження може принести прибуток.

Розрахуємо відносну ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_B$  за наступною формулою (5.16):

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 , \quad (5.16)$$

де  $T_{ж}$  – життєвий цикл наукової розробки.

$$E_B = \sqrt[6]{1 + \frac{5550,64}{46,0}} - 1 = 0,672 .$$



Порівняємо отримане значення відносної ефективності капіталовкладень  $E_B$  з бар'єрною ставкою дисконтування  $\tau_{\min}$ , що визначається за формулою (5.17):

$$\tau_{\min} = d + f, \quad (5.17)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках, у 2019 році в Україні  $d = (0,14 \dots 0,2)$ ;  $f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень,  $f = (0,05 \dots 0,1)$ .

Для подальших розрахунків приймаємо  $d = 0,2$  і  $f = 0,1$ .

$$\tau_{i\%} = 0,2 + 0,1 = 0,3. \quad (5.18)$$

Оскільки  $E_B > \tau_{\min}$ , очікуємо, що інвестор буде зацікавленим у фінансуванні даної наукової розробки.

Визначимо термін окупності вкладених в реалізацію наукового проекту інвестицій за наступним співвідношенням (5.19):

$$T_{OK} = \frac{1}{E_B}. \quad (5.19)$$

$$T_{OK} = \frac{1}{0,672} = 1,488 \text{ (року)}.$$

Оскільки  $T_{OK} < 3$  років, то фінансування даної розробки є доцільним.

### **Висновки до п'ятого розділу**

В даному розділі була дана оцінка економічній доцільності розробки пристрою контролю часових характеристик реле та релейних терміналів.

Висновок про економічний ефект від впровадження цього пристрою спочатку було підтверджено експертами – фахівцями в галузі електроенергетики, що мають найбільший практичний досвід а також добре знайомі з ситуацією на сучасному ринку випробовувального релейного обладнання. Експерти оцінили економічний потенціал розробки та різні можливі аспекти на шляху її впровадження.

Отримані результати мають зацікавити:

- покупців (власників розподільчих мереж та енергетичних підприємств), для яких впровадження розробки підвищить надійність роботи;
- виробників, які отримають прибуток від переходу на запроваджену технологію за рахунок зниження собівартості та збільшення обсягу продажів;
- інвесторів, які швидко зможуть повернути свій вкладений капітал із оговореним відсотком прибутку.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

У даній роботі досліджується релейний захист повітряних ЛЕП 10 кВ. Згідно ГОСТ 12.003-74, на операторів, які здійснюють розрахунки режимів електричних мереж, впливають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори [35].

Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційне перевантаження).

### 6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

#### 6.1.1 Вимоги до організації робочих місць операторів

Організація робочого місця користувача ПК має відповідати ергономічним вимогам ГОСТ 12.2.032. ССБТ. “Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”, ДНАОП

0.00-1.31-99, ДСан Пін 3.3.2.007-98, характеру та особливостям трудової діяльності.

Площа одного робочого місця користувача ПК повинна складати не менше 6 м<sup>2</sup>, а об'єм – не менше 20 м<sup>3</sup>.

Конструкція робочого місця користувача ПК повинна відповідати сучасним вимогам ергономіки, характеру виконуваної роботи і забезпечити оптимальне розміщення на робочій поверхні документів, рухомого пюпітра (тримача документів) та обладнання ПК (монітора, системного блоку, клавіатури, пристрою “миша”, принтера та інших периферійних пристроїв з урахуванням їх кількості та конструктивних особливостей (мал.6).

Монітор на робочому місці встановлюється так, щоб верхній край екрана знаходився на рівні очей.

Розташування монітора ПК має забезпечувати: безпечність роботи в цілому; зручність та ефективність здорової роботи з екраном в вертикальній площині під кутам  $\pm 30^{\circ}$  від лінії зору, площина екрана при цьому має бути перпендикулярною нормальній лінії зору користувача.

Клавіатура розміщується на поверхні столу або висувній полиці на відстані 100-300мм від краю, ближчого до користувача. Кут нахилу клавіатури має бути в межах 5-15<sup>0</sup>. Поверхня клавіатури повинна бути матовою з коефіцієнтом відбиття 0,4. Клавiші клавіатури мають бути зручними в роботі і м'якими при натисканні (хід всіх клавiш має бути однаковим з мінімальним опором натискання 0,25Н та максимальним – не більше 1,5Н).

Оптимальна робоча поза:

- ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг (застосування підставки є обов'язковим для тих, у кого ноги не дістають до підлоги, коли робоче сидіння знаходиться на висоті, потрібній для забезпечення оптимальної робочої пози);
- стегна – в горизонтальній площині;

- передпліччя – вертикально;
- лікті – під кутом  $70-90^{\circ}$  до вертикальної площини;
- зап'ястя зігнуті під кутом не більше  $20^{\circ}$  відносно горизонтальної площини;
- нахил голови –  $15-20^{\circ}$  відносно вертикальної площини.

Робочий стіл, крісло і інші елементи обладнання робочого місця повинні бути зручними для вас. Так, наприклад, незручне крісло в якому ви сидите багато годин на день, може призвести до розвитку самих різних захворювань.

Глибина на рівні колін не менше 450, а на рівні витягнутої ноги – не менше 650.

Висота поверхні сидіння робочого крісла має регулюватися в межах 400-500 мм, а кут нахилу поверхні – від  $15^{\circ}$  вперед і до  $5^{\circ}$  назад.

При виконанні великого обсягу роботи кращим варіантом (для хребта) буде, якщо сидіння буде трошки нахилене вперед.

Кут нахилу спинки крісла повинен регулюватися в межах  $0-30^{\circ}$  відносно вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння повинна регулюватися в межах 260-400 мм.

Для зниження статичного напруження м'язів рук доцільно застосовувати стаціонарні або знімні підлокітники, що регулюються по висоті над сидінням в межах  $230 \pm 30$  мм та по відстані між підлокітниками в межах 350-500 мм.

Поверхня сидіння і спинки робочого крісла має бути напівм'якою з нековзким та повітронепроникним покриттям, що неелектризується та добре чиститься.

Підставка для ніг має бути регульованою по висоті в межах 150 мм, з кутом нахилу опорної поверхні в межах  $20^{\circ}$ . Її розміри: ширина – не менше 300мм, глибина – не менше 400 мм. Підставка повинна мати не слизьку поверхню та бортик на передньому краї заввишки 10 мм.

Робоче місце користувача ПК необхідно розташовувати відносно світлових прорізів (вікон) так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

### 6.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

Для надання першої медичної допомоги при нещасних випадках повинна бути аптечка з набором необхідних перев'язочних матеріалів та медикаментів.

Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмовідних частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять в рух, необхідно зупинити двигун і на його пусковому пристрої або ключі

керування, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ним механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засуви і шибери цих механізмів, а також вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Забороняється знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються під час їх роботи.

Під час роботи електродвигунів заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднують електродвигуни з РУ (збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаної з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти, заземлювати кабельну лінію не слід.

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлюють поряд з тим, на якому проводять роботи, слід вивісити плакат «Стій! Напруга» незалежно від того, чи перебувають вони у роботі чи у резерві.

## **6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії**

### **6.2.1 Мікроклімат**

Мікроклімат приміщення - це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються



напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми. Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оператора силової установки відноситься до легкої фізичної роботи категорія Ia, бо людина-оператор практично весь свій робочий день проводить сидячи. Параметри мікроклімату в кабіні крану наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Нормування параметрів мікроклімату

| Період року | Категорія робіт | Температура, °С | Відносна вологість | Швидкість руху |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|
| Теплий      | Ia              | 22-28           | 55 при 28°С        | 0,1-0,2        |
| Холодний    | Ia              | 21-25           | 75 при 25°С        | Не більше 0,1  |

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року - використання калорифера;
- в літню пору - застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву, провітрювання кабіни.

### 6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони в кабіні оператора установки

| Назва речовини     | ГДК, мг/м <sup>3</sup> |                 | Клас небезпечності |
|--------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
|                    | Максимально-разова     | Середньо-добова |                    |
| Вуглецю оксид (СО) | 3                      | 1               | 4                  |
| Пил нетоксичний    | 0,5                    | 0,15            | 4                  |

Таблиця 6.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ВДТ та ПЕОМ (відповідно до СН 2152-80)

| Рівні                 | Кількість іонів в 1 см куб. повітря |                |
|-----------------------|-------------------------------------|----------------|
|                       | n <sup>+</sup>                      | n <sup>-</sup> |
| Мінімально необхідні  | 400                                 | 600            |
| Оптимальні            | 1500-3000                           | 3000-5000      |
| Максимально допустимі | 50000                               | 50000          |

Для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації позитивних та негативних іонів необхідно передбачати установки або прилади зволоження та/або штучної іонізації, кондиціонування повітря.

### 6.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення - один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає

передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні.

При періодичному нагляді за ходом виробничого процесу на станції освітленість повинна складати не менше 50 лк. Оскільки в приміщенні знаходяться вимірювальні прилади та система управління, то освітленість повинна складати 300 лк. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи.

Приміщення кабіни оператора забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу але ввечері постає проблема в штучному освітленні.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці в кабіні. Кабіна відноситься до IV розряду зорової праці, тобто розряду середньої точності. Наведено норми при штучному та комбінованому освітленні в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Норми освітлення робочих поверхонь у виробничих приміщеннях.

| Характеристики зорової роботи                |             | Малої точності |
|--|-------------|----------------|
| Мінімальний розмір об'єкту розпізнавання, мм |             | Від 1 до 5     |
| Розряд зорової роботи                        |             | V              |
| Підрозряд зорової роботи                     |             | б              |
| Контраст об'єкта розпізнавання з фоном       |             | Середній       |
| Освітленість                                 | Загальне    | 150            |
| Штучне освітлення                            | Комбіноване | 200            |

В приміщенні кабіни оператора, особливо в зимовий період, коли світлий день досить короткий, природнього освітлення може бути недостатньо, тому використовується місцеве штучне освітлення (табл. 6.5).

Штучне освітлення здійснюється лампами розжарювання, що живляться від трансформатора власних потреб (12В).

Таблиця 6.5 - Вибір освітлюваного пристрою

|                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| Тип світильника     | Лампа розжарювання |
| Світло розподілення | Несиметричне       |
| Потужність ламп, Вт | До 200             |

Згідно [35]: характер зорової роботи - середня точність; розряд - IV; бокове значення коефіцієнта природної освітленості, %: суміщене 0,9.

$$e_N = e_h \cdot m_N,$$

$m_N$  – коефіцієнт світлового клімату,  $m_N = 0,9$  при орієнтації вікон на північний схід.

$$e_N = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8 \text{ \%}.$$

Для забезпечення нормативного значення  $e_N$  передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме ламп розжарювання;
- необхідна кількість природного світла (великі вікна);
- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви – не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком

#### 6.2.4 Виробничий шум

Шум вище гранично допустимих рівнів несприятливо діє на людину. Шум у приміщенні широкосмуговий. Нормуємо шум на робочому місці. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ВДТ ЕОМ і ПЕОМ, мають

відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-85, ГР 2411-81 і приведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

| Вид трудової діяльності, робочі місця   | Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньо геометричними частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      |      | Рівні звуку, еквівалентні рівні звуку, дБА/дБАекв. |
|---|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
|   | 31   | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |  |
| Програмісти ЕОМ   | 86   | 71 | 61  | 54  | 49  | 45   | 42   | 40   | 38   | 50   |
| Оператори в залах обробки інформації на ЕОМ та оператори комп'ютерного набору | 96   | 83 | 74  | 68  | 63  | 60   | 57   | 55   | 54   | 65   |
| В приміщеннях для розташування шумного обладнання ЕОМ                         | 103  | 91 | 83  | 77  | 73  | 70   | 68   | 66   | 64   | 75   |

Устаткування, що є джерелом шуму (АЦП, принтери тощо), слід розташовувати поза приміщенням для роботи ВДТ ЕОМ і ПЕОМ.

Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Акустична обробка приміщень – це облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинаючими матеріалами, а також розміщення в приміщенні штучних звукопоглиначів, які представляють собою вільно підвішені об'ємні поглинаючі тіла довільної форми.

Найбільший ефект при акустичній обробці можливо отримати в точках, які розташовані в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювання набагато менший.

Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь.

У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицьованими, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

### 6.3. Розрахунок заземлювального пристрою

Визначимо параметри заземлювального пристрою, який складається з дванадцяти вертикальних електродів, що з'єднані горизонтальним заземлювачем за формою квадрату та має опір  $R_n$  не більше 2 Ом. Значення питомого опору ґрунту в районі розміщеного заземлювального пристрою складає  $75 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Конструктивна схема заземлювального пристрою складається з 12 вертикальних електродів довжиною по 3 м кожен ( $12 \cdot 3 = 36 \text{ м}$ ), які з'єднані за формою квадрат горизонтальним заземлювачем сумарною довжиною 36 м.

Для подальших розрахунків приймаємо:

$R_n = 2 \text{ Ом}$  – нормоване значення опору заземлювального пристрою.

$R = 75 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  – значення питомого опору ґрунту.

$h = 0.7 \text{ м}$  – глибина закладання горизонтального заземлювача.

$L_B = 3 \text{ м}$  – довжина одного вертикального заземлювача.

$d_B = 0,0172$  м – діаметр вертикального заземлювача (стрижень 17,2 мм)

$s = 3$  м – відстань між вертикальними електродами в групі.

$L_T = 36$  мм – довжина горизонтального заземлювача (круг 10 мм).

$d_T = 0,03$  м – ширина горизонтального заземлювача (круг 10 мм).

Визначаємо опір одиничного вертикального заземлювача [34]

$$R_\gamma = \frac{75}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \left[ \log_e \left( \frac{8 \cdot 3}{0,0172} \right) - 1 \right] = 24,84 \text{ Ом.}$$

Визначаємо значення опору для групи з 12 вертикальних електродів при їх розташуванні у формі квадрата

$$\alpha = \frac{p}{2 \cdot \pi \cdot R_\gamma \cdot s} = \frac{75}{2 \cdot \pi \cdot 24,84 \cdot 3} = 0,16$$

$$R_T = R_\gamma \cdot \left( \frac{1 + \lambda \cdot \alpha}{N} \right) = 24,84 \cdot \left( \frac{1 + 5,46 + 0,16}{12} \right) = 3,88 \text{ Ом.}$$

Значення коефіцієнта  $\lambda = 5,46$  прийняте для чотирьох вертикальних електродів на одній стороні квадрата.

Значення опору горизонтального заземлювача у формі рівностороннього квадрата визначається як паралельне приєднання двох горизонтальних заземлювачів з'єднаних під прямим кутом.

$$R_{1L} = \frac{p}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \log_e \left( \frac{L^2}{k \cdot h \cdot d} \right) = \frac{75}{2 \cdot \pi \cdot 18} \cdot \log_e \left( \frac{18^2}{0,813 \cdot 0,7 \cdot 0,01} \right) = 7,26 \text{ Ом}$$

$$R_{2L} = \frac{7,26}{2} = 3,63 \text{ Ом}$$

На рис. 6.1 показані креслення розробленого заземлювального пристрою.

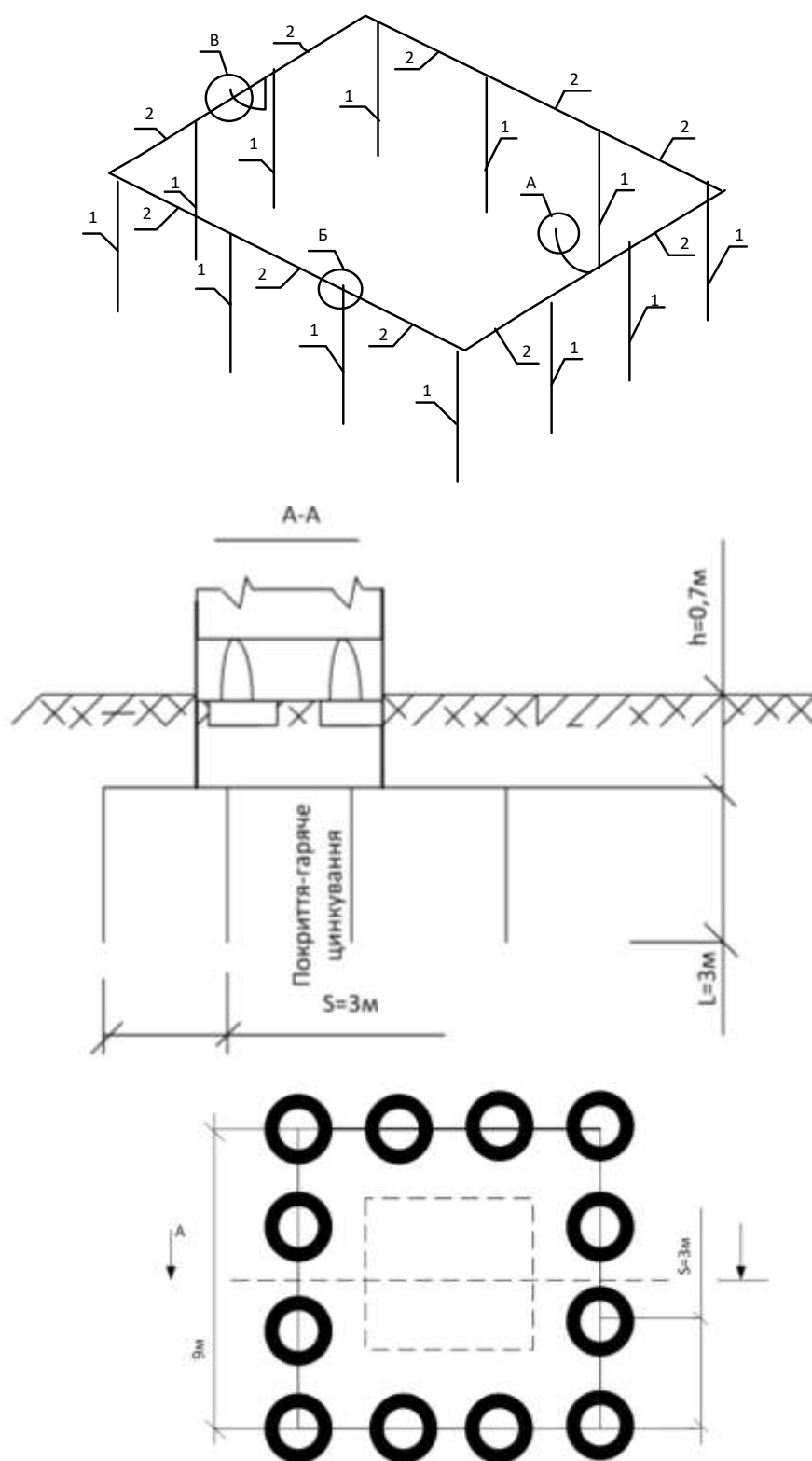


Рисунок 6.1 – Креслення заземлювального пристрою



Визначаємо сумарний опір заземлювального пристрою

$$R_{зп} = \frac{3,88 \cdot 3,63}{3,88 + 3,63} = 1,88 \text{ Ом}$$

Порівнюємо отримане розрахункове значення опору  $R_{зп}$  з необхідним нормованим  $R_n$

$$R_{зп} \leq R_n, \quad 1,88 \leq 2.$$

Відомості про заземлення приведені у табл.6.7.

Таблиця 6.7 – Відомості про заземлення

| Позиція | Позначення | Найменування матеріалів для заземлення                                | Кількість | Маса  | Примітка |
|---------|------------|---|-----------|-------|----------|
| 1       | ЕК2 017    | Стержень заземлений збірний покриття. Гаряче цинкування 17мм, l =1,5м | 24        | 2,75  | одиниць  |
| 2       | АК2 010    | Провідник заземлення – круг 10мм                                      | 36        | 0,72  | одиниць  |
| 3       | С-СІатр    | З'єднувач для круглих провідників з стрижнем заземлення               | 4         | 0,140 | одиниць  |
| 4       | АР6 819    | З'єднувач для круглих провідників з стрижнем заземлення               | 8         | 0,150 | одиниць  |

#### 6.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Системи електропостачання, як частина енергетичного господарства зустрічаються повсюди, тому їх функціонування є надзвичайно важливим при НС. Вихід з ладу електричної мережі збільшить кількість жертв в рази

і призведе до зупинки підприємств, викидів небезпечних речовин, зупинки об'єктів інфраструктури тощо.

Найбільш піддаються впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) системи управління, сигналізації електропостачання. ЕМІ ушкоджують напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. ЕМІ має велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників. Слід також пам'ятати, що механічний захист апаратури не захищає від впливу ЕМІ. Апаратура може бути знищена навіть знаходячись у надійних спорудах [35].

Системи електропостачання в умовах НС вони повинні працювати без перебоїв, тому розробка заходів щодо покращення їх роботи в умовах ЕМІ та дії іонізуючих випромінювань є актуальною задачею при проектуванні.

Дія електромагнітного імпульсу також може призвести до загоряння чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях параметрів електричної мережі. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, елементи, викликає коротке замикання тощо. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

#### **6.4.1 Оцінка безпеки роботи релейного захисту ЛЕП 35 кВ тину РЕЛСіС в умовах дії іонізуючих випромінювань**

За критерій безпеки роботи РЗА РЕЛСіС в дії іонізуючих випромінювань приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази, при якому в елементній базі можуть виникнути зміни, але ЕМ ще буде працювати з необхідною якістю. Максимально допустимі значення потужності дози елементів ЕМ наведені в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Максимально допустимі потужності дози елементів ЕМ

| № | Блок | Елементи блоків ЕМ               | $P_{гр,i}$ (Р/год) | $P_{гр}$ (Р/год) |
|---|------|----------------------------------|--------------------|------------------|
| 1 | БЖ   | Транзистори КТЗ102В              | $10^5$             | $10^4$           |
|   |      | Діоди загального призначення S1M | $10^5$             |                  |
| 2 | БП   | Конденсатори SMD1206 Inf, 16V    | $10^6$             |                  |
|   |      | Резистори SMD1206 0,125 - 10кОм  | $10^6$             |                  |
| 3 | БКП  | Мікросхеми PIC16F877             | $10^4$             |                  |
|   |      | Діелектрики GTP15                | $10^4$             |                  |

1. За мінімальним значенням  $p_{гр}$  межа стійкості  $p_{гр}$  роботи мереж РЗА складає  $p_{гр} = 10^4$  (Р/год).

2. Для оцінки безпеки роботи мережі РЗА РЕЛСіС визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ( $p_{гр}$ ) за наступною формулою:

$$P_{зр} = K \cdot p_{зр} \cdot K_{пос}, \quad (6.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт надійності,  $K = 0,9..0,95$ ;  $p_{гр}$  – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;  $K_{пос}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{пос} = 2$ ),  $P_{гр} = 0,9 \cdot 10^4 \cdot 2 = 1,8 \cdot 10^4$  (Р/год).

З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що безпека ЕМ в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації РЗА РЕЛСіС не перевищуватиме  $P_{гр} = 1,8 \times 10^4$  (Р/год).

Розрахуємо допустимо максимальний час перебування ЕМ в умовах дії іонізуючих випромінювань та ЕМІ:

$$D_m = \frac{2P_{зр}(\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{1}, \quad (6.2)$$

де:  $\sqrt{t_{II}^2}$ , дорівнює 1;  $D_M$  – дорівнює  $10^3$ ;  $t_{доп} = 12,6 \cdot 10^3$  (год).

Отже електрична мережа буде працювати досить безпечно в умовах іонізуючих випромінювань і не потребує особливих додаткових заходів по захисту від цього фактора.

#### **6.4.2 Розробка превентивних заходів по підвищенню безпеки роботи ЛЕП 10 кВ в умовах надзвичайних ситуацій**

Для підвищення безпеки роботи РЗА ЛЕП 10 кВ типу РЕЛСіС, необхідно використовувати екранування мікропроцесорних терміналів захисту виготовлених з застосуванням мікроелектронних комплектуючих апаратури, а саме досліджуваних пристроїв релейного захисту РЕЛСіС і кабельних ліній електричного зв'язку «РЕЛСіС» з вимірювальними трансформаторами струму, напруги та реле, а також необхідно використовувати захист оптоволоконних ліній зв'язку «РЕЛСіС» з сервером підстанцій 110/10 кВ, 35/10 кВ та ін.. Для цього визначимо перехідне гасіння енергії електричного поля сталевим екраном.

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (6.3)$$

де  $f$  – найбільш характерна частота, ( $f = 15$  кГц).

Обираємо товщину стінки на порядок вище, для того щоб забезпечити необхідний захист обладнання. Прийmemo  $t=1$ мм.

$$A = 5,2 \cdot 0,102 \cdot \sqrt{15000} = 65 \text{ (дБ)} \quad (6.4)$$

Отже нам потрібно використовувати сталевий екран товщиною 1 мм, який забезпечує згасання енергії електричного поля не менше 65 дБ.

### **Висновки до шостого розділу**

В результаті проведених розрахунків визначено, що безпека роботи мікропроцесорного реле РЗЛ-05 забезпечується при рівні радіації до  $6,3 \times 10^4$  (Р/год). До дії ЕМІ на ЕМ необхідно застосовувати екранування РЕА, що суттєво підвищує її стійкість безпеку роботи в умовах впливу електромагнітного імпульсу. В результаті застосування екранів ЕМ буде працювати безпечно аж до значення напруженості вертикальної складової 25,2 В/м.

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальне питання дослідження систем контролю та розрахунок параметрів релейного захисту ЛЕП 10 кВ електропостачання АПК для підвищення надійності сільських розподільних мереж 10 кВ.

1. На основі проведених досліджень особливості ЛЕП 10 кВ з'ясовано те, що ці лінії бувають повітряними, тоді вони виконуються неізолюваними проводами та виготовляються однодротовими, багатодротовими монометалічними, багатодротовими біметалічними та з порожніми проводами та кабельними лініями;

2. В якості релейного захисту ЛЕП 10 кВ використовуються: максимальний струмовий захист, струмовий направлений захист, диференційний захист, газовий захист, логічний захист шин, дистанційний захист, захист мінімальної напруги (груповий та індивідуальний); захист максимальної напруги;

3. На основі аналізу технічної документації з'ясовано те, що пристрої серії РЗЛ-05.ВХ призначені для виконання функцій релейного захисту, автоматики, сигналізації, реєстрації аварійних параметрів, діагностики та управління вимикачами різних приєднань напругою 6 - 154 кВ комплектних розподільних пристроїв з постійним, з змінним або випрямленим оперативним струмом;

4. Пристрій РЕЛСіС-05 виконує наступні основні функції: функції захистів, автоматики та управління; завдання внутрішньої конфігурації через меню або з персонального комп'ютера; місцеве та дистанційне введення і зберігання уставок захистів та ін.;

5. Розрахунки параметрів струмового ступеневого захисту РЕЛСіС РЗЛ 05Л на прикладах ЛЕП 10 кВ свідчать про можливість визначення з метою подальшого виставлення на реле РЕЛСіС РЗЛ-05л розрахованих

установок РЕЛСіС РЗЛ-05л та про можливість селективного відключення пошкодженої ділянки ПЛ 10 кВ;

6. Висновок про економічний ефект від впровадження цього пристрою спочатку було підтверджено експертами – фахівцями в галузі електроенергетики, що мають найбільший практичний досвід а також добре знайомі з ситуацією на сучасному ринку випробовувального релейного обладнання. Експерти оцінили економічний потенціал розробки та різні можливі аспекти на шляху її впровадження.

7. Отримані в магістерській кваліфікаційній роботі результати мають зацікавити: покупців (власників розподільчих мереж та енергетичних підприємств), для яких впровадження розробки підвищить надійність роботи; виробників, які отримають прибуток від переходу на запроваджену технологію за рахунок зниження собівартості та збільшення обсягу продажів; інвесторів, які швидко зможуть повернути свій вкладений капітал із оговореним відсотком прибутку.