

НУБІП України

Н

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

02.02 – МКР. 324 “С” 2023.03.06. 029 ПЗ

Н

**Новак Дмитра Олександровича**

**2023 р.**

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 631.171:621.311  
**ПОГОДЖЕНО**

Директор ННІ енергетики,

автоматики і енергозбереження

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри

електротехніки, електромеханіки

**НМБіП**  
проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./

вчене звання, науковий ступінь підпис

**У**  
доц., к.т.н. /ОКУШКО О.В./

вчене звання, науковий ступінь підпис

”\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 р.  
число місяць рік

”\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 р.  
число місяць рік

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Дослідження та випробування електричних апаратів за допомогою апаратно-програмної випробувальної установки ISA CBA-1000»

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(назва)

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

К.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Усенко С.М.

(підпис)

(ПІБ)

**Керівник магістерської роботи**

Д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Наливайко В.А.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Новак Д. О.

(ПІБ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки  
та електротехнологій

д.т.н., професор Окушко О. В.  
науковий ступінь, вчене звання підпис ППБ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року  
число місяць рік

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

**Новаку Дмитру Олександровичу**

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Дослідження та випробування електричних апаратів за допомогою апаратно-програмної випробувальної установки ISA CBA-1000»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 06 ” 03 2023 р. № 324 “С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2023.11.17

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

1. Документи і законодавчі акти в галузі електроенергетики та охорони праці.
2. Нормативні матеріали з проектування, монтажу та експлуатації електроустановок.
3. Каталогів дані електрообладнання.
4. Дані результатів обстеження підприємства.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Огляд літературних та інтернет-джерел за напрямками досліджень.
2. Електротехнічна частина.
3. Проектування ремонтно-обслуговуючої бази електротехнічного обладнання.
4. Дослідження параметрів і характеристик апаратно-випробувального комплексу .
5. Визначення методики для проведення випробувань комутаційних апаратів за використанням випробувального комплексу ISA CBA-1000.
6. Охорона праці.

Дата видачі завдання “ 04 ” березня 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

**Наливайко В.А.**

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

**Новак Д. О.**

(прізвище та ініціали студента)

<b>Зміст</b>	
<b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b> .....	<b>4</b>
<b>Вступ</b> .....	<b>7</b>
<b>Розділ 1. Вибір напрямків досліджень, огляд літературного матеріалу...</b>	<b>9</b>
1.1 Принцип та опис роботи ідеального вимикача .....	9
1.2 Відключення навантаження.....	16
<b>Висновок</b> .....	<b>27</b>
<b>Розділ 2. Електротехнічна частина</b> .....	<b>29</b>
2.1 Проведення сервісного обслуговування електротехніки.....	29
2.2 Побудова енергетичної сервісної служби господарства.....	31
2.3 Порядок розрахунку об'ємів робіт по ТО і НР обладнання.....	36
2.4 Вибір кабельно-провідникових матеріалів.....	38
2.5. Відповідальність за експлуатацію електроустановок та рівень кваліфікації персоналу.....	39
2.6. Норми приймально-здавальних і профілактичних випробувань електрообладнання .....	41
<b>Розділ 3. Проекування ремонтно-обслуговуючої бази електротехнічного обладнання</b> .....	<b>43</b>
3.1 Аналіз існуючої служби обслуговування.....	43
3.2. Обґрунтування та створення проекту бази технічної підтримки та обслуговування електротехнічного обладнання .....	44
<b>Висновок</b> .....	<b>47</b>
<b>Розділ 4. Перевірка основних вузлів апарату</b> .....	<b>48</b>
4.1 Загальний опис досліджень.....	48
4.2. Вимірювання температури контактних з'єднань обладнання.....	49
4.3. Вимоги експлуатації та захисні функції.....	51
<b>Розділ 5. Характеристики апаратно-випробувального комплексу, методи виконання випробувань</b> .....	<b>54</b>
5.1. Загальні відомості про випробувальне обладнання. ....	54
5.1.1. Апаратна частина .....	54
5.1.2. Програмне забезпечення (Technical Data Management System). ..	56
5.3. Характеристики випробувань.....	65
5.4. Схема керування випробуванням .....	66

5.5. Випробування силових вимикачів.....	67
5.6. Електрична принципова схема діагностування і тестування.....	68
5.7. Виконання підключення схеми вимірювання і управління.....	69
5.8 Відповідність стандартам та нормативній документації.....	70
<b>Розділ 6. Вимоги безпеки під час проведення діагностики електрообладнання.....</b>	
6.1. Проведення випробувань підвищеною напругою.....	72
6.2. Дотримання безпеки при роботі з електровимірювальними кліщами та штангами.....	76
6.3. Вимоги безпеки при аваріях.....	77
6.4. Забезпечення пожежної безпеки.....	78
6.5. Вимоги безпеки після закінчення робіт.....	80
Висновки.....	81
Список використаних джерел.....	82

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## Вступ

Актуальність теми. Процеси діагностування, усунення несправностей, проведення технічного обслуговування та ремонту вимагають використання дуже точного вимірювального та випробувального обладнання. Для досягнення найкращих результатів використовуються електронно-обчислювальні машини та сучасні математичні моделі. Це дозволяє інженерам швидко проводити дослідження, випробування та ремонт, а також надавати точні та важливі рекомендації щодо надійності електрообладнання. З огляду на сучасні вимоги до продуктивності та ефективності в промисловості, інженерам необхідно оперативно реагувати і забезпечувати мінімальні економічні втрати в разі простою обладнання. Тому для того щоб покращити економічні показники, збільшити ефективність, ККД і точність, рекомендується використовувати випробувальні апаратно-програмні комплекси.

## Мета та Завдання.

Метою нашого дослідження є розробка електричних схем і необхідного програмного забезпечення що дозволить досягнути максимальної ефективності при випробуванні силових вимикачів.

## Предмет та об'єкт:

Об'єктом дослідження є силові вимикачі середнього та високого класу напруги. Предметом нашого дослідження є структура та процеси перевірки параметрів автоматичних вимикачів.

Для досягнення поставлених цілей ми вивчили нормативну документацію, документацію від виробників, використовували математичні моделі та апаратні комплекси, пов'язані з випробуванням силових вимикачів.

Проведено експериментальні дослідження у поєднанні з вимірюванням параметрів об'єкту дослідження і їх подальшим дослідженням і аналізом.

Наукова новизна одержаних результатів. Описаний метод покращення ефективності і якості процесів випробування силових АВ.

НУБІП УКРАЇНИ

Практичне значення одержаних результатів. Використовуваний шлях виконання процесу випробування дозволить значно зменшити кількість хибних показників випробувань, покращити надійність роботи автоматичних вимикачів та запобігти виникненню відмов, несправностей та/або аварій на більш ранніх стадіях.

НУБІП УКРАЇНИ

Результати даних випробувань дадуть змогу в значній мірі скороти кількість хибних значень, заздалегідь запобігти появі несправностей, відмов, аварій та покращити надійність обладнання.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

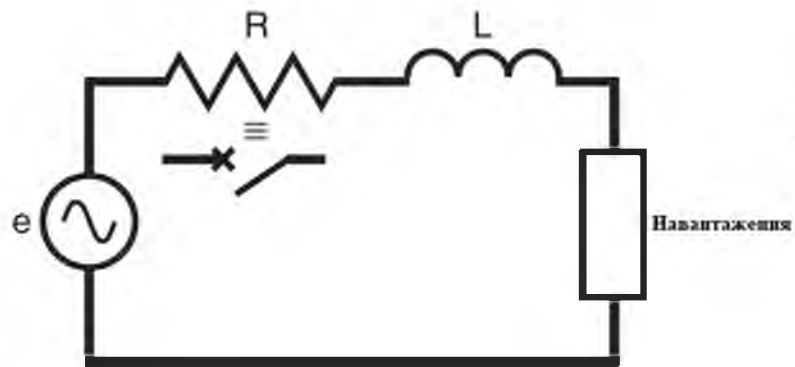


# НУБІП УКРАЇНИ

## 1.1 Принцип та опис роботи ідеального вимикача

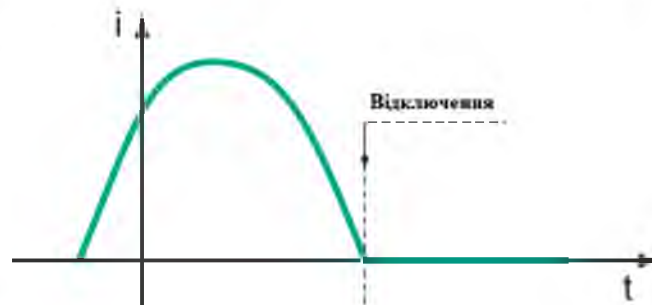
Уявімо ідеальний вимикач, який має здатність миттєво перервати струм, переходячи із стану провідника у стан ізолятора. Такий "ідеальний" вимикач має опір, який має раптово перейти від нуля до нескінченності як показано на Рис. 1.1.

НУБЕ



ИИ

НУБЕ



ИИ

НУБЕ



ИИ

НУБЕ

Рис. 1.1 Опис роботи ідеального вимикача

Такий вимикач повинен мати наступні характеристики:

# НУБІП УКРАЇНИ

- Поглинає всю електромагнітну енергію, накопичену в ланцюгу до моменту відключення, таку як у випадку короткого замикання, де  $\frac{1}{2}Li^2$  через індуктивний характер мережі.

- Витримує перенапруги ( $Ldi/dt$ ), які виникають на виводах пристрою, і можуть досягати нескінченності, якщо перехід від стану ізолятора до стану провідника відбувався за нескінченно малий проміжок часу, що призвело б до пробоя діелектрика.

Якщо уявити, що ці труднощі можна подолати шляхом досягнення повної синхронізації природного переходу струму через нуль та переходу від стану ізолятора в стан провідника пристрою, необхідно також врахувати серйозне явище - виникнення перехідної відновлювальної напруги.

Практично, після відключення струму, напруга на виводах вимикача додається до напруги мережі, що в цей момент є максимальною для індуктивних ланцюгів. Це стає можливим завдяки наявності ємнісного опору мережі, що запобігає різкому розриву ланцюга. Таким чином, встановлюється перехідний режим, який додає виниклу напругу до напруги мережі.

Дана напруга, відома як перехідна відновлювальна напруга, залежить від характеристик мережі і швидкості зростання цієї напруги ( $dV/dt$ ) та може сягати значних значень, порядку кількох кіловольт на мікросекунду. Іншими словами, ідеальний вимикач повинен витримувати цю напругу протягом менше мікросекунди після переходу від стану провідника в стан ізолятора для успішного відключення [1].

Розрив електричної дуги під час відключення

Утворення електричної дуги може бути пояснено двома основними причинами:

1. Практично неможливо розімкнути контакти точно в момент природнього переходу струму через нуль через можливі похибки в вимірах та організації керування. Наприклад, при діючому струмі 10 кА миттєвий струм за 1 мкс до досягнення нульового значення, як і раніше, залишається на рівні 3000 А. Миттєва перенапруга ( $Ldi/dt$ ), яка виникає на виводах пристрою, якщо вимикач негайно перейде в стан ізолятора, буде нескінченною і негайно призведе до пробоя протягом дуже короткого часу між контактами.

2. Розмикання контактів має відбуватися досить швидко, щоб електрична міцність між контактами була більшою за перехідну відновлювальну напругу. Це вимагає механічної енергії, яка на практиці не може бути забезпечена жодним пристроєм.

Розглянемо процес відключення з розривом електричної дуги, який складається з трьох етапів:

1. *Етап очікування:*

Перед досягненням нульового струму, два контакти роз'єднуються, спричиняючи діелектричний пробій у міжконтактному середовищі. Утворюється дуга, яка складається з плазмового стовпа, що складається з іонів та електронів в міжконтактного середовища або пари металу, які виділяються електродами (див. рисунок 1.2). Ця дуга залишається провідною доти, доки її температура підтримується на достатньо високому рівні. Таким чином, дуга "живиться" енергією, яку вона випромінює завдяки ефекту Джоуля-Ленца.

Напруга, яка виникає між двома контактами через опір дуги та падіння поверхневої напруги (катодна чи анодна напруга), називається напругою дуги ( $U_a$ ). Її величина залежить від характеру дуги та впливають на неї

інтенсивність струму та теплообмін із середовищем (стінками, матеріалами тощо). Цей теплообмін включає радіаційний, конвективний і провідний компоненти, що характеризуються здатністю пристрою до тепловиклиду.

Роль напруги дуги є надзвичайно важливою, оскільки великою мірою визначає потужність, яка втрачається в пристрої під час відключення:  $W = \int_{(t_0)}^{(t_{arc})} U_a \cdot i dt$ , де  $t_0$  - момент початку дуги і  $t_{arc}$  - момент

відключення. У мережах середньої і високої напруги, напруга дуги ( $U_a$ ) завжди менше, ніж напруга мережі і, зазвичай, не має суттєвого впливу, за винятком певних ситуацій, які розглядаються нижче. Таким чином,

відключення зазвичай здійснюється наближено до моменту "природного" нуля змінного струму.

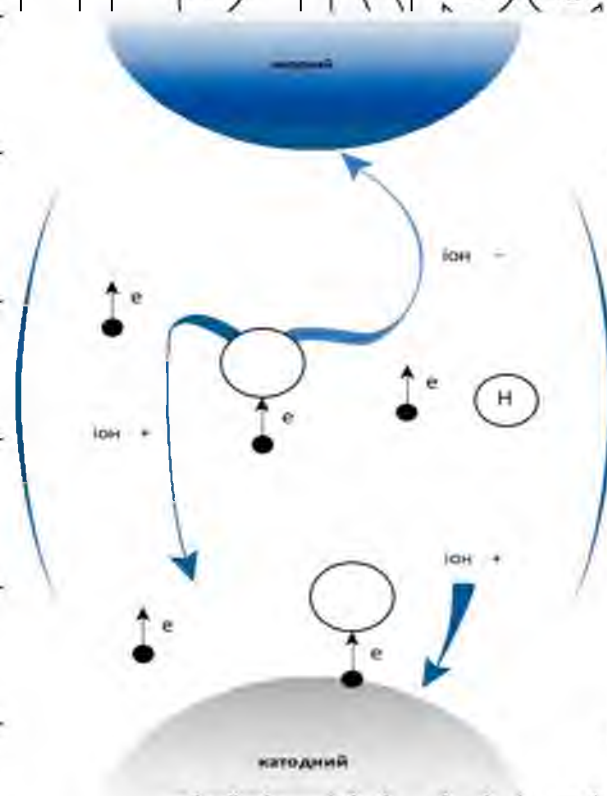


Рис. 1.2 Виникнення дуги у середовищі газу

# НУБІП України

## 2. Етап затухання дуги:

Припинення струму, що веде до гасіння дуги, вимагає досягнення

нульового струму в умовах швидкого ізоляційного переходу

середовища. Для досягнення цього результату необхідно порушити канал іонізованих молекул. Процес гасіння може бути уявлений наступним чином: при наближенні до нульового струму опір дуги

починає різко зростати відповідно до характеристики, головний чинник

якої - це час деіонізації міжконтактного середовища (див. рисунок 1.3).

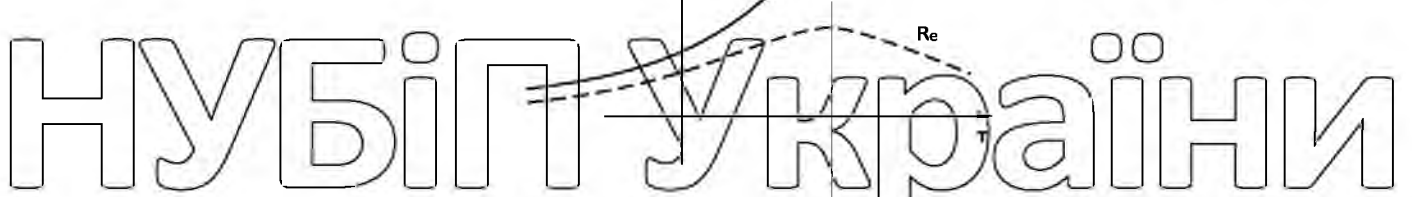
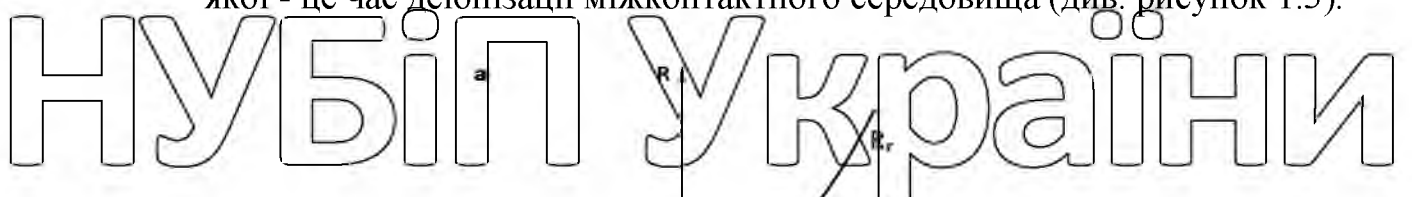


Рис. 1.3 Зміна опору дуги (а), зміна струму та напруги (б) протягом затухання при успішному відключенні (г) чи теплового пошкодження (е)

# НУБІП України

### 3. Етап після дуги:

Для успішного розриву дуги важливо, щоб швидкість відновлення діелектрика була набагато вищою, ніж швидкість відновлювальної напруги (див. рис. 1.4). В іншому випадку може відбутися діелектричний пробій. Під час руйнування діелектрика середовище знову стає провідним, що породжує перехідні явища, які будуть детально розглянуті нижче.

Ці пошкодження діелектрика після розриву можуть бути розділені на дві категорії:

- Виникнення повторного займання (може відбуватися під час періоду нульового струму);
- Виникнення повторного пробію .

### Напруга відновлення згідно зі стандартами

Точне значення величини швидкості збільшення напруги відновлення (НВ) неможливо визначити для всіх конфігурацій мережі, незважаючи на відключаючу здатність пристроїв. Відповідно до стандарту IEC 60056, для кожної номінальної напруги встановлюється діапазон НВ, який відповідає типовим вимогам (див. рис. 1.5). Отже, відключаюча здатність вимикачів визначається як максимальний струм, що можливо вимкнути при номінальній напрузі з НВ.

Автоматичний вимикач має бути здатний відключити всі струми, які менші за його відключаючу здатність НВ, значення яких нижче номінальної НВ.



Рис. 1.4. Графіки діелектричної регенерації  
 (а) вдале відключення, (б) пошкодження діелектрика.

Номинальна напруга ( $U_n$ , кВ)	7,4	12	17,6	24	36	52
Пікова НВ ( $U_{NB}$ , кВ)	12,3	20,8	36	40	64	90
Час $t_3$ (мкс)	51	60	72	89	108	130
Темп підвищення ( $U/t_3$ )	0,24	0,35	0,41	0,45	0,6	0,69

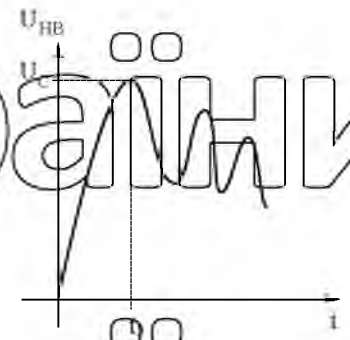


Рис. 1.5. Номінальна відновлювальна напруга при КЗ на виводах (згідно МЕК60056)

## 1.2 Відключення навантаження

# НУБІП України

У звичайних умовах роботи мереж середньої напруги відключення мереж відбувається в таких ситуаціях:

# НУБІП України

- коли струм навантаження становить декілька ампер до декількох сотень ампер і менший за струм короткого замикання (10-60 кА);
- коли коефіцієнт потужності більше або дорівнює 0,8, і розсув фази між напругою у ланцюзі та струмом невеликий, і мінімальна напруга знаходиться недалеко від мінімальних значень струму (у ланцюзі з великим активним опором).

# НУБІП України

Як наслідок на виводах обладнання з'являється напруга, при цьому напруга мережі не утворює перехідних процесів (рис. 6). Відключення відбувається коли струм проходить через нульовий провідник, тому це не створює ніяких перевантажень, оскільки пристрій розрахований на струм більшої потужності, зсунутий по фазі відносно напруги на  $90^\circ$ .

# НУБІП України

## Відключення індуктивних струмів

# НУБІП України

- Обрив струму

При невеликих індуктивних струмах (від одиниць до кількох десятків ампер) охолоджувальна здатність пристроїв, розрахованих на струм короткого замикання, набагато вища, ніж енергія, яка розсіюється в дузі.

# НУБІП України

Дане явище може спричинити нестабільність дуги, що призводить до коливань, пов'язаних із обміном енергії між ємностями, які "бачать" вимикачі відключення, і індуктивними котушками (рис. 1.7 та 1.8).

# НУБІП України



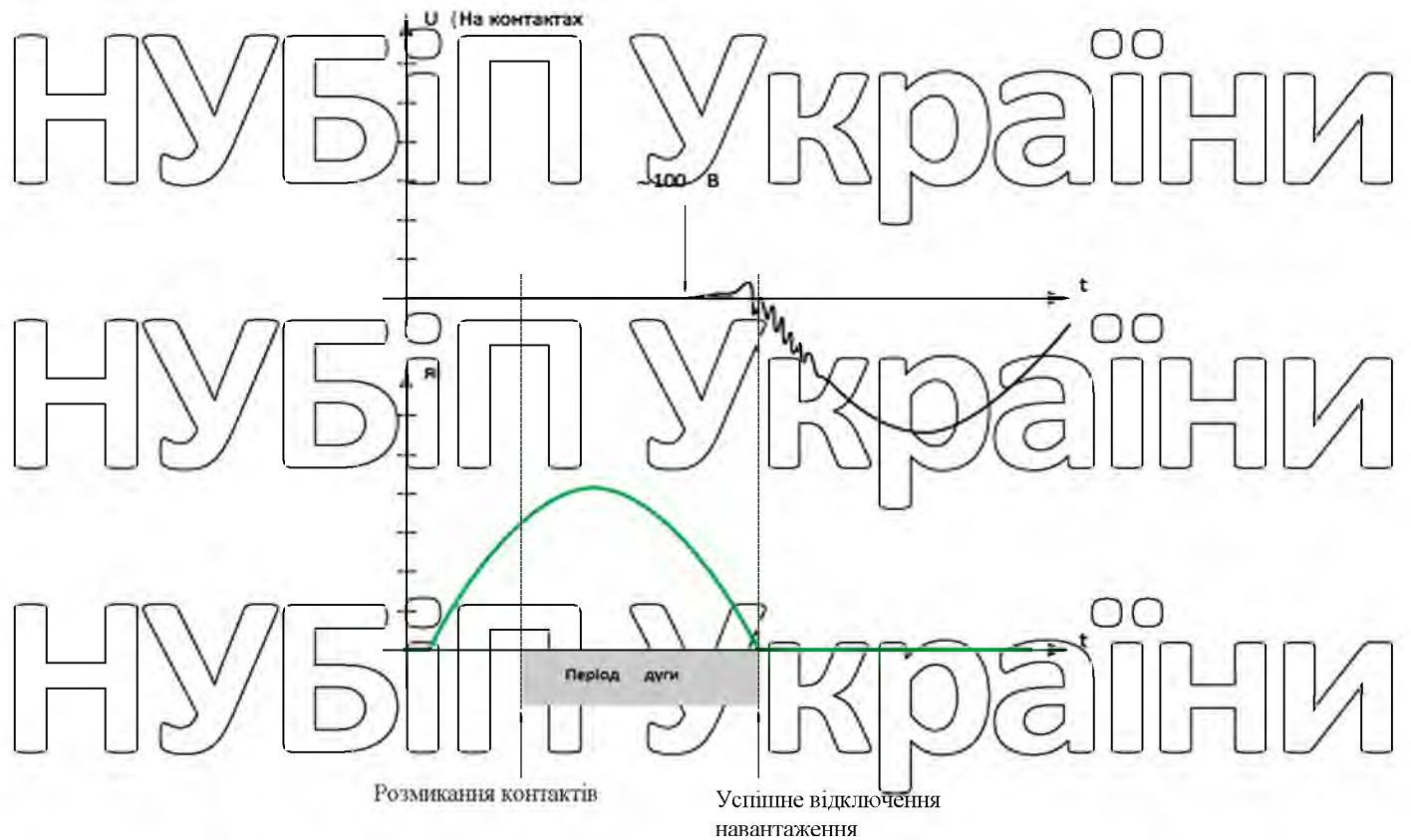
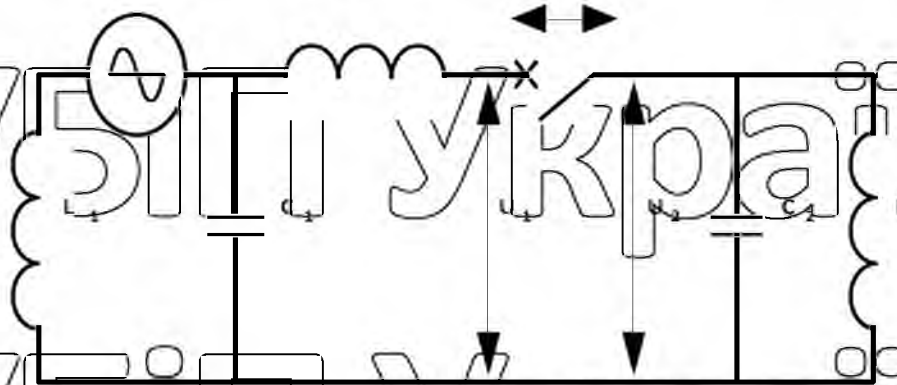


Рис. 1.6. Утворення незначних перехідних процесів при відключенні резистивного навантаження



L1,C1 – котушка індуктивності і ємність (підключені з сторони джерела живлення);

L2,C2 – котушка індуктивності і ємність, (підключенні до первинної обмотки трансформатора);

L – котушка індуктивності підключена до джерела живлення та вимикача.

Рис. 1.7. Схема відключення індуктивного навантаження



Рис. 1.8, Графік високочастотного коливального процесу.

Обрив струму супроводжується перенапругою, через коливальний стан, який утворюється зі сторони навантаження (див. рис. 1.9). Максимальне значення перенапруги ( $U_{Cmax}$ ) зі сторони навантаження розраховується за формулою:

$$U_{Cmax}^2 = u_a^2 + \left[ \frac{n_{lm} + L_2 + i_a^2}{C_2} \right],$$

де: країни

$U_a$  – напруга при обриві;  
 $I_a$  – струм при обриві;  
 $\eta_{\text{пр}}$  – магнітний коефіцієнт корисної дії.

Зі сторони джерела живлення значення напруги рівне  $U_a$  і прямує до величини напруги мережі  $U_{\text{пр}}$  при коливальному режимі, яка залежить від  $C1$  і  $L1$ . Значення напруги між контактами вимикача рівне різниці між цими двома напругами.

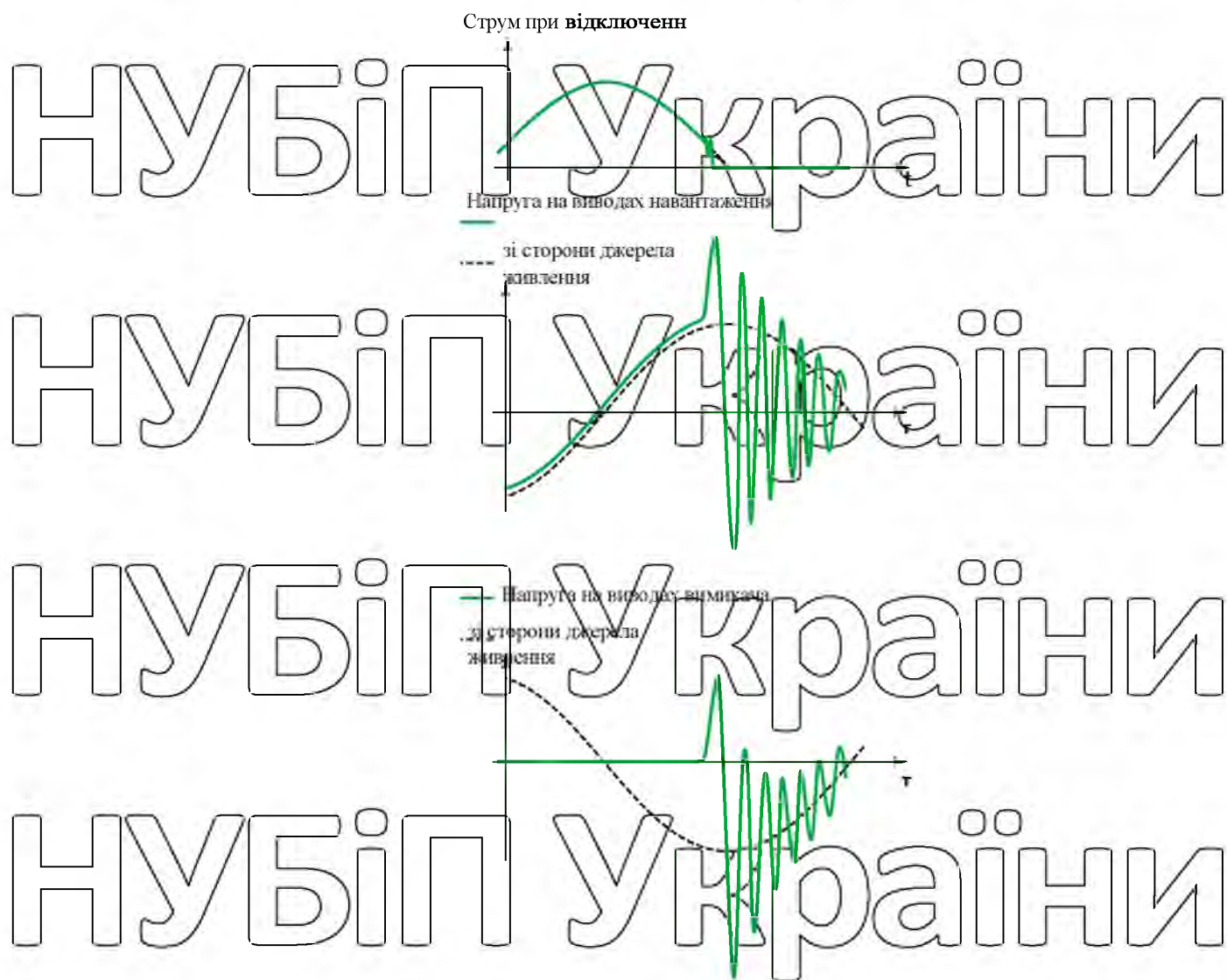


Рис. 1.9. Графіки струму і напруги при відключенні слабких індуктивних струмів

Це співвідношення показує вплив параметрів мережі, з урахуванням того, що струм обриву сильно залежить від величини  $C1$  і від використання відповідного пристрою.

Повторне запалювання і перенапруги

# НУБІП УКРАЇНИ

Виникнення значних перенапруг може бути наслідком явища, відомого як повторне запалювання під час відключення. Поява цього явища обумовлена короткотрасним імпульсним відключенням електричного контакту.

# НУБІП УКРАЇНИ

Загалом, повторне запалювання стає немишучим, коли дуга горить дуже короткий час, оскільки відстань між контактами надто мала, аби здатися на витримку напруги, яка виникає при відключенні. Це явище має місце кожен раз, коли дуга виникає надто близько до моменту змикання силових контактів.

# НУБІП УКРАЇНИ

У такому випадку напруга зі сторони навантаження додається до напруги зі сторони джерела живлення в результаті коливань, що виникають при високій частоті (приблизно 1 МГц). Таким чином, пікове значення напруги підвищується вдвічі порівняно з попереднім значенням.

# НУБІП УКРАЇНИ

У випадку, коли вимикач може відключити високочастотний струм, ця дія може статися в перші мікросекунди після початкового запалювання дуги під час відключення.

# НУБІП УКРАЇНИ

Нове повторне запалювання стає ймовірним, коли амплітуда коливань збільшується, і ця подія може постійно повторюватися, створюючи ризик підвищення напруги, що може бути небезпечним для підключених навантажень.

# НУБІП УКРАЇНИ

# НУБІП УКРАЇНИ

Слід зазначити, що аналогічні явища можуть виникати при включенні пристрою, коли контакти розташовані настільки близько один до одного, що знаходяться у передпробійному стані. І як у випадку повторного запалювання під час відключення, кожна спробу відключення супроводжує накопичення енергії, що може призвести до зростання напруги, але знаходиться під контролем завдяки обмеженій відстані між контактами.

*Області застосування*

Перенапруги в мережах середньої напруги

Перенапруги можуть виникати в мережах середньої напруги через намагнічувальні струми. Два основних джерела цих перенапруг - недовантажені або слабонавантажені трансформатори та шунтуючі індуктивності.

Недовантажені або слабонавантажені трансформатори.

Трансформатори, які працюють з низьким навантаженням, наприклад, вночі, можуть породжувати струми намагнічування від кількох ампер до кількох десятків ампер. Їх коефіцієнт розсіювання може бути дуже високим. Навіть якщо струм відключається на пікове значення, перенапруги, зазвичай, залишаються низькими завдяки ємності та індуктивності.

Шунтуюча індуктивність. Шунтуючі індуктивності використовуються для компенсації реактивної складової лінії або для запобігання підвищенню напруги в довгих лініях та лініях з малим навантаженням. Хоча ця індуктивність частіше використовується в мережах високої напруги, вона також може бути включена в мережі середньої напруги.

**Ризик перенапруг.** Існує ризик перевищити межу безпеки. У такому випадку, на виводах повинні бути встановлені розрядники і резистори, щоб запобігти перенапругам.

**Двигуни.** Струми, які споживаються без навантаження або під час пуску двигунів, є в основному індуктивними. Під час багатьох комутацій виникають перенапруги, які можуть призводити до пошкодження ізоляції або послаблення її властивостей. Особливо важливо уникати відключення під час пуску двигуна.

Враховуючи ці можливі ризики, важливо вибрати вимикачі, які зменшують ймовірність перенапруг та забезпечують надійну роботу систем. У протилежному випадку можна встановити системи R-C або системи обмеження перенапруг ZnO на виводах двигуна для відведення перехідних високочастотних струмів.

*Стандарти відключень індуктивного струму*

**Відключення індуктивного струму та його випробування**

Існує велика різноманітність обставин, які можуть призводити до виникнення перенапруги в мережах середньої напруги. Один із факторів - індуктивний струм, який споживають пристрої, такі як трансформатори, двигуни і шунтуючі індуктивності.

**Трансформатори та їх випробування.** Для вимикачів, розрахованих на напругу від 1 до 17,5 кВ, вимоги до проведення випробувань визначені в технічному звіті 61233 МЕК. Випробування включають стандартний ланцюг, який моделює блокування ротора двигуна, і проводяться в лабораторних умовах.

Шунтуюча індуктивність. Шунтуюча індуктивність рідко застосовується в мережах середньої напруги, хоча її можна знайти в мережах з напругою 36 кВ. Випробування на трифазних ланцюгах проводяться лише для мереж з номінальною напругою більше 12 кВ.

Відключення ємнісного струму. Під час відключення ємнісного струму існує ризик виникнення перенапруги. Теоретично відключення ємнісного струму може бути без проблем. Проте, на практиці напруга на виводах генератора зберігає максимальне значення після відключення струму через  $p/2$ , як конденсатор залишається зарядженим.

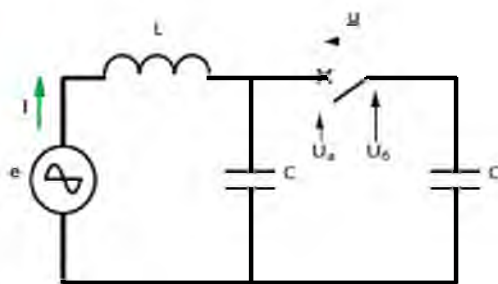
Виникає проблема повторного пробую. Після проходження півперіоду напруги, напруга інвертується, і напруга на виводах вимикача досягає двократного значення пікової напруги. Це може призвести до повторного пробую між контактами через великий інтервал часу.

У разі повторного пробую на максимумі напруги ємність розряджається на індуктивність ланцюга, що створює коливальний струм трикратного пікової напруги. Ця перенапруга може викликати новий повторний пробій, який може бути критичним для навантаження.

У підсумку, важливо підібрати вимикачі, які зменшують ризик перенапруг та забезпечують надійну роботу систем. Для випробувань перенапругою конденсаторів використовують 2,25-кратну напругу їх номіналу. Однак, необхідно забезпечити достатньо швидке відновлення

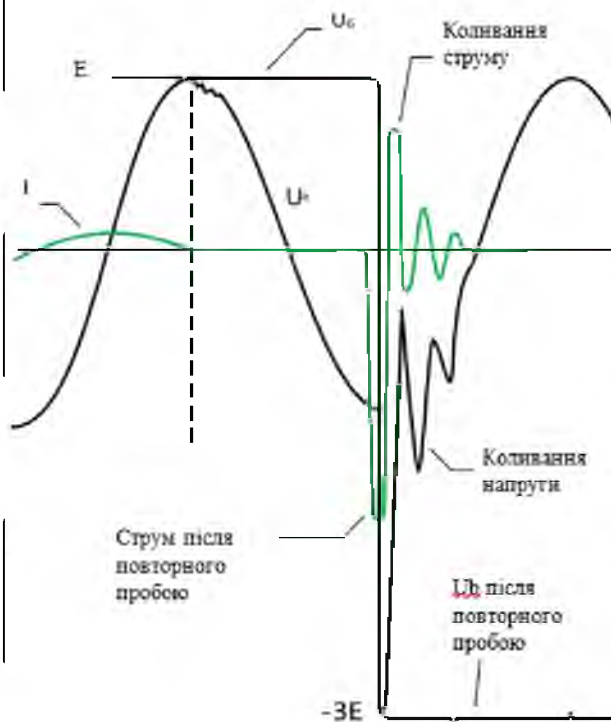
електричної міцності між

НУБІ



ІНИ

НУБІ



ІНИ

НУБІ

ІНИ

НУБІ

ІНИ

Рис. 10. Схеми ланцюгів з ємнісним навантаженням у ситуації відключення, коли вимикач не забезпечує достатньо швидке розмикання ланцюга. У такому випадку можуть виникнути послідовні повторні пробой, що створюють потенційну небезпеку перенапруги на навантаженні.

НУБІП УКРАЇНИ

### Ємнісний струм і повторний пробій

При вмиканні пристрою керування, який живить конденсаторні навантаження, спостерігаються явища, типові для ємнісних ланцюгів.

НУБІП УКРАЇНИ

Зокрема, при вклученні конденсаторного батарея струм підвищується, при підвищеній частоті (див. рис. 11).

НУБІП УКРАЇНИ



НУБІП України

У разі використання регульованої багатоступеневої конденсаторної батареї це явище підсилюється через накопичену енергію в уже включених конденсаторах. Перехідний струм може декілька сотень разів перевищувати номінальний струм і мати частоту в кілька кілогерц через низький загальний опір між ступенями батареї.

НУБІП України

Повторний пробій на рівні контактів пристрою керування (виникнення струмопровідної дуги до контактів) призводить до передчасної ерозії контактів та їх можливого зварювання. Для зменшення впливу цих явищ обмежуючі дроселі (імпульсний опір) підключають послідовно до конденсаторної батареї.

НУБІП України

Отже, для конденсаторної батареї з  $n$  ступенями та ємністю  $C$ , попередня формула матиме такий вигляд:

НУБІП України

$$I_c = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{C}{Ln+1} n}$$

де:

НУБІП України

$L$  — обмежуюча індуктивність, підвищена відносно  $L_0$ .

НУБІП України

НЗ

НЗ

НЗ

НЗ

НЗ

Н

НУБІП УКРАЇНИ

И

И

И

И

И

ИНИ

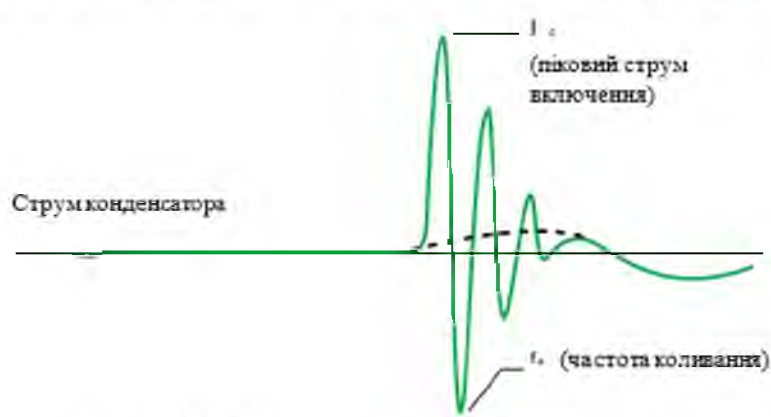
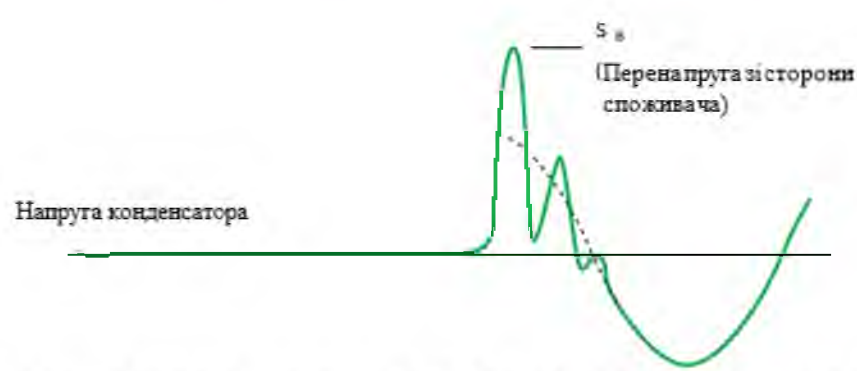
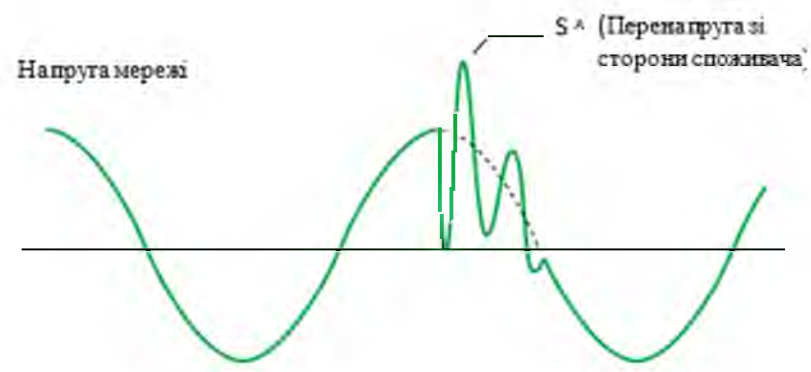
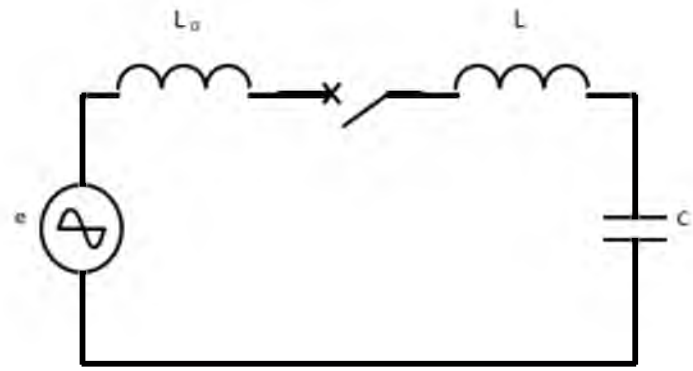


Рис. 1. 1. Перенапряга перед перебіною стану

## Висновок

За середньої напруги існує кілька технологій відключення, і серед них відключення в елегазі та вакуумі видаються найбільш ефективними з точки зору робочих характеристик.

Серед всіх доступних технологій відключення на середній напрузі, відключення в елегазі та вакуумі відзначаються своєю вищою продуктивністю. Порівнюючи їх з іншими методами, можна виділити кілька

## важливих плюсів:

- **Безпека.** Виключення можливості вибуху, пожежі або інших небезпечних подій при відключенні.

- **Компактність.** Вакуум та елегаз є відмінними ізоляторами, завдяки чому пристрої на їх основі можуть бути меншими за розмірами.

- **Надійність.** Ці пристрої мають мало рухомих деталей та невелику споживану енергію для керування, що гарантує довгий термін служби та високу надійність.

- **Простота установки.** Легко встановлюються в корпуси пристроїв і можуть бути використані в компактних щитах на середньому напрузі, не втрачаючи своєї функціональності.

З використанням сучасних засобів аналітично обчислювальної техніки для моделювання та симуляції, обладнання захисту постійно удосконалюють.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Проведення сервісного обслуговування електротехніки

Якість виробленої продукції, умови праці та безпека персоналу великою мірою залежать від стану технічного обладнання у сфері електроенергетики. Використання обладнання повинно відповідати "Правилам технічної експлуатації електроустановок споживачів" та "Правилам техніки безпеки при експлуатації електроустановок користувачів".

У випадках, коли є спеціальні установки, не передбачені вказаними правилами, використання обладнання повинно відбуватись згідно з експлуатаційними інструкціями, затвердженими керівництвом підприємства та затвердженими технічною інспекцією.

Експлуатаційні заходи для електрообладнання регулюються "Системою планово-понапереджувального ремонту і технічного обслуговування електрообладнання". Ця система включає організаційні та технічні заходи для планування та виконання різноманітних робіт з метою забезпечення безвідмовної та безпечної роботи обладнання при мінімальних експлуатаційних витратах.

До основних видів робіт, які виконуються під час обслуговування енергообладнання, належать наступні:

- Поточне технічне обслуговування. Роботи, які включають зовнішній огляд, очищення від пилу та бруду, усунення дрібних несправностей та підтяжку гвинтів.
- Планове технічне обслуговування. Це роботи, які включають огляд, очищення, діагностику, просте регулювання, випробування та дрібний ремонт із заміною деяких деталей без розбирання обладнання та його видалення.

• Заміна змащувальних матеріалів. Виконується відповідно до графіку або під час поточного ремонту.

• Поточний ремонт. Операції технічного обслуговування, розробка, очищення деталей та вузлів, дефектування, заміна чи ремонт зношених чи пошкоджених деталей, усунення інших несправностей, збірка, регулювання, налаштування та післяремонтні випробування.

• Капітальний ремонт. Проводиться при необхідності, і включає заміну чи ремонт деталей та вузлів, що вийшли з ладу або вичерпали свій ресурс.

• Технічне обслуговування при зберіганні. Це роботи, пов'язані із підготовкою обладнання до зберігання, зберіганням та використанням під час зберігання.

Матеріально-технічна база енергетичної служби має включати пости технічного обслуговування, пункти поточного ремонту та ремонтно-вимірювальну лабораторію. Пости технічного обслуговування призначені

для виконання робіт з технічного обслуговування та дрібного ремонту обладнання та для зберігання запасних частин, приладів, інструментів, матеріалів та технічної документації.

Пункт поточного ремонту виконує профілактичні та діагностичні роботи, поточний ремонт, випробування та налагодження обладнання.

Енергоремонтна вимірювальна лабораторія виконує діагностику, поточний ремонт, перевірку, налагодження та випробування енергообладнання.

Всі об'єкти матеріально-технічної бази повинні будуватися згідно із типовими проектами.

НУБІП України

## 2.2 Побудова енергетичної сервісної служби господарства.

Структура побудови служби. У межах загальної енергетичної служби господарства існують різні підрозділи, що обслуговують різні аспекти енергетичних потреб. Склад цих підрозділів і їх функції можуть відрізнятися в залежності від матеріально-технічного оснащення і розмірів господарства.

До можливих складових загальної енергетичної служби можуть входити такі підрозділи:

- Служба газифікації. Відповідає за систему газопостачання та забезпечує її нормальну експлуатацію

- Служба обслуговування холодильного обладнання. Здійснює технічне обслуговування та ремонт холодильних систем і устаткування.

- Служба обслуговування диспетчеризації і зв'язк. Відповідає за нормальну роботу системи диспетчеризації та забезпечує зв'язок.

- Енергетична служба. Організує та здійснює експлуатацію та ремонт електричних ланцюгів усередині господарства, внутрішніх провідок, електрообладнання, газових та теплових мереж і обладнання.

Цей підрозділ також відповідає за подальший розвиток та удосконалення системи електроенергетики та системи газопостачання і теплоенергетики. Також важливо, що енергетична служба забезпечує

раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів на стаціонарних виробничих установках та дотримання правил охорони праці і техніки безпеки.

НУБІП України

Схему побудови енергетичної служби можна побачити на рисунку 2.2.12. Варіації цієї служби можуть включати інші підрозділи, які відповідають за різні аспекти енергетичних потреб господарства, в залежності

НУБІП України

від обсягу матеріально-технічної бази та енергетичних потреб. Головний енергетик адміністративно підпорядковується керівнику господарства, але

НУБІП України

щодо технічних питань – відповідному фахівцю вищого рівня. На свою чергу, головний енергетик має під собою інженера-електрика, інженера-теплотехніка, спеціалістів з обслуговування холодильного устаткування,

газифікації, радіотехніку та персонал служби електротехнічного та теплотехнічного обслуговування.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України





Рис. 2.2.12 – Схема експлуатаційної служби

Персонал, який відповідає за обслуговування та ремонт обладнання, поділяється на бригади, які призначаються для окремих ділянок або монтажних пунктів. Кожна з цих бригад обладнана пунктами технічного обслуговування. Бригади очолюють кваліфіковані електромонтери, які мають вищий розряд або більш високу групу допуску щодо технічної безпеки, коли розряди рівні. Обов'язки керівників бригад включають в себе:

- Забезпечення вчасного виконання робіт відповідно до графіку та контроль за витратами матеріалів.
- Заповнення журналів обліку робіт та інструктування з техніки безпеки.

- Складання заявок на деталі та матеріали.

Контроль за дотриманням правил техніки безпеки кожним членом бригади та інші обов'язки.

Кількість електромонтерів у кожній бригаді визначається в залежності від робіт та зусиль, які необхідно витратити на їх виконання.

Документація. Для належної документації енергетичної служби важливо використовувати відповідну документацію. Головним документом є енергетичний паспорт господарства, в якому докладно описано всі енергетичні установки та їх характеристики. Цей паспорт включає інформацію щодо енергопостачання, тепlopостачання, водопостачання, газифікації, холодильних систем, каналізації, телефонізації та радіозв'язку. Для кожного розділу надаються схеми та короткий опис стану мережі основних споживачів енергії.

Крім енергетичного паспорта, інші технічні документи і матеріали оформлюються у формі журналів, які ведуться відповідно до затверджених форм:

1. Журнал обліку електроприймачів: Використовується для реєстрації електрообладнання виробничих, загальних та культурно-побутових приміщень, включаючи проводку і пуско-захисну апаратуру.

2. Графіки технічного обслуговування і ремонту електрообладнання: Складаються окремо для кожної фізичної одиниці на відповідних об'єктах для планування та контролю обслуговування та ремонту.

3. Журнал обліку дефектів: Фіксує виявлені дефекти під час поточного технічного обслуговування і ремонту обладнання.

4. Журнал виходу електричного обладнання з ладу: Використовується для реєстрації часу та причини виходу з ладу обладнання.

5. Журнал обліку перерв електропостачання: Фіксує кожну перерву в електропостачанні, включаючи її тривалість. 6. Журнал обліку споживачів електроенергії на виробничі потреби: Використовується для реєстрації споживачів електроенергії та їх використання.

7. Оперативний журнал електропостачання: Фіксує всі розпорядження та накази електропостачальної організації з обліку та контролю.

8. Журнал обліку захисних заходів по обслуговуванню енергоустановок: Відзначає всі заходи щодо забезпечення безпеки обслуговування енергетичного обладнання.

9. Журнал обліку заземлюючих пристроїв: Відзначає дані про перевірку та обслуговування заземлюючих систем.

10. Журнал ввідного інструктажу по техніці безпеки: Реєструє інструктажі для осіб, які починають роботу.

11. Журнал інструктажу електромонтерів по техніці безпеки: Використовується для щоквартальних інструктажів з питань техніки безпеки.

12. Журнал перевірки знань по Правилам технічної експлуатації і правилам техніки безпеки електротехнічного персоналу. Реєструє перевірки знань, які проводяться щорічно.

13. Журнал перевірки знань у персоналу 1 кваліфікаційної групи: Фіксує перевірки знань для персоналу, який обслуговує електрифіковані машини і механізми.

14. Журнал роботи з персоналом: Використовується для фіксації різних навчальних заходів та інших подій.

За використання цих журналів відповідає енергетична служба для забезпечення безперебійної та безпечної роботи енергетичного обладнання.

Склад штату. Для визначення штатного складу та його функцій використовуються нормативи умовних одиниць обладнання, які обчислюються за допомогою коефіцієнтів, наведених у таблиці 2.2.1, або на основі обсягу споживаної електроенергії на виробництві.

Розглянемо приклад:

- Посада головного енергетика господарства встановлюється, якщо в господарстві існує понад 1500 умовних одиниць обладнання і споживання електроенергії перевищує 1 млн. кВт\*год.

- Посада старшого інженера-енергетика створюється при наявності від 501 до 1500 умовних одиниць обладнання та споживання електроенергії в діапазоні від 0,5 до 1 млн. кВт\*год для виробничих потреб.

- Посада інженера-електрика встановлюється, якщо кількість обладнання становить від 251 до 500 умовних одиниць.

- Старший технік-електрик необхідний у випадку, коли існує від 101 до 250 умовних одиниць обладнання.

Для електромонтера передбачається середнє навантаження у розмірі 70 умовних одиниць обладнання, а річні робочі години складають 1900-1950 годин на рік.

### 2.3 Порядок розрахунку об'ємів робіт по ТО і МР обладнання

При плануванні регулярного технічного обслуговування та ремонту енергетичного обладнання залученням зовнішніх організацій, критичним є правильне визначення обсягу робіт, що передбачає технічне обслуговування та ремонт у господарстві. Також важливо розрахувати річні витрати робочого часу на виконання цих завдань, визначити необхідну кількість персоналу та оцінити загальну вартість проведення робіт.

Обсяг робіт може бути розрахований, враховуючи кількість технічних обслуговувань та ремонтів на підставі рекомендацій. При цьому, окрім номенклатури обладнання та його кількості, враховується час, протягом якого обладнання використовується. Всі ці фактори фіксуються актом інвентаризації енергетичного обладнання, в якому вказується обладнання, розділене за номенклатурою, використанням в годинах на добу та місяці на рік. Поділяється потім на таблицю для розрахунку річного обсягу робіт з технічного обслуговування та ремонту.

Після розрахунку умовних ремонтів визначають потрібні трудові витрати для всіх видів робіт. В цьому випадку використовуються наступні норми трудомісткості:

- Умовна одиниця обслуговування між ремонтами – 0,5 години робочого часу людини.

- Змашування – 0,25 години.

- Поточний ремонт – 4,8 годин.

- Капітальний ремонт – 12,5 годин.

Загальні трудові витрати у годинах обчислюють, помножуючи суму умовних одиниць за видами обслуговування на вказані норми трудомісткості.

Кількість персоналу для обслуговування може бути розрахована, поділивши отримані робочі години на річний фонд часу одного працівника. Після чого визначається вартість технічного обслуговування, витрати на матеріали для обслуговування тощо, враховуючи діючі нормативи.

## 2.4 Вибір кабельно-провідникових матеріалів

Переріз струмоведучих проводів і кабелів вибираємо із умови гранично допустимого нагріву і необхідної механічної міцності:

$$I_{\text{тр. доп.}} \geq I_{\text{макс. тр. доп.}} \quad (2.4.1)$$

де  $I_{\text{тр. доп.}}$  – кривало допустимий струм нагріву провoda, А.  
 $I_{\text{макс. тр. доп.}}$  – максимальний довгостроковий допустимий робочий струм, А.

Проведення розрахунку і вибору проводки для електродвигуна вентилятора. Двигун працює з постійним, практично стабільним навантаженням. За максимальний робочий приймаємо його номінальний струм:

$$I_{\text{макс. тр. доп.}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}; \quad (2.4.2)$$
$$I_{\text{макс. тр. доп.}} = \frac{0.37 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.72 \cdot 0.86} = 0.925 \text{ А.}$$

Приймаємо провід марки ПВ1 з мідними жилами. Проводка прокладається в сталевих водогазопровідних трубах. Переріз струмоведучої жили,  $S = 1 \text{ мм}^2$ . Для цього перерізу  $I_{\text{тр. доп.}} = 14 \text{ А}$ . Провід ПВ1(1×4).

Внутрішній діаметр труби:

$$D \geq 1,5d.$$

(2.4.3)

де  $d$  - діаметр проводу, мм.

Для проводу ПВ1 трижильного з заземлюючою жилою діаметр складає

$d = 9$  мм, отже:

$$D > 1,5 \cdot 9 = 13,5 \text{ мм.}$$

Вибираємо трубу з найближчим стандартним значенням внутрішнього діаметра 15 мм.

Аналогічним способом обираємо силовий провід. Живлення здійснюється від розподільних щабі типу ДРС1 з запобіжниками НПН2 і розподільного щита типу ПРІ.

В якості пускової та захисної апаратури для електродвигунів передбачені електромагнітні пускачі типу ПМЛ з тепловими реле типу РТЛ та кнопками керування.

Підключення пересувних і переносних електроприймачів передбачається від силових ящиків з штепсельними роз'ємами типу РШ -30 і ШГП - 10.

Розподільна частина виконується кабелем АВВГ, який прокладають по будівельних конструкціях на скобах, та проводом АПВ і ПВ1 (до вентиляторів на вірооснові) в поліетиленових і водогазопровідних легких трубах. Вимикач вводу триполюсний ВА 47-33 до 160 А.

Лінійні вимикачі також триполюсні ВА 47-29 на номінальний струм до 25 А.

## 2.5. Відповідальність за експлуатацію електроустановок та рівень кваліфікації персоналу

Головна відповідальність за організацію і безпечну експлуатацію електроустановок лежить на керівників підприємств та господарств, на

балансі яких знаходиться це обладнання. Для забезпечення безпеки та надійності роботи електроустановок, на кожному підприємстві призначається особа, відповідальна за дотримання Правил експлуатації та техніки безпеки.

Ця особа має відповідну підготовку та отримує звання "відповідальний за електрогосподарство."

Обов'язки "відповідального за електрогосподарство" включають:

- Забезпечення безпечної, ефективної та надійної експлуатації електроустановок.

- Впровадження заходів щодо зменшення споживання електроенергії та підвищення коефіцієнта потужності.

- Впровадження нових технологій для підвищення продуктивності праці.

- Проведення запланованих профілактичних ремонтів та обслуговування.

- Моніторинг графіка навантаження та обліку електроенергії.

- Виконання вимог Держнагляду та енергосистеми.

- Організація навчання та інструктажу для обслуговуючого персоналу

- Розслідування аварій та інших подій.

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен проходити навчання на робочому місці при призначенні на самостійну роботу, переході на іншу посаду або після перерви в роботі тривалістю більше шести місяців.

Навчальна програма повинна включати в себе виробничі навички, знання Правил експлуатації електроустановок споживачів та правил техніки безпеки, відповідно до специфіки роботи.

Комісія періодично перевіряє знання персоналу. Особи, які обслуговують технологічні електроустановки, також повинні пройти



спеціальну підготовку, здають тест і отримують допуск до роботи в електроустановках та відповідну кваліфікаційну групу з техніки безпеки.

## **2.6. Норми приймально-здавальних і профілактичних випробувань електрообладнання**

Для забезпечення надійності та безпеки роботи електроустановок, необхідно проводити прийомо-здавальні випробування, які охоплюють обладнання, що повторно вводиться в дію, після реконструкції та ремонту. Ці випробування проводяться відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Вони спрямовані на запобігання аварійному виходу з ладу електроустановок та забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу. Це особливо важливо, оскільки пошкодження ізоляції та несправності заземлюючих пристроїв можуть призвести до виходу з ладу електрообладнання, пожежі та електротравматизму.

Основні види випробувань обладнання включають вимірювання опору ізоляції та випробування ізоляції підвищеною напругою. Вимірювання опору ізоляції включає в себе вимірювання опору між різними струмопровідними частинами та між провідниками та землею. Для цього використовують мегаометри. Перед вимірюваннями мегаометра слід перевірити, що він працює належним чином та ретельно очистити контакти від пилу.

Випробування ізоляції підвищеною напругою спрямоване на виявлення місцевих дефектів ізоляції та оцінку її міцності. Для цих випробувань потрібно мати випробувальні установки, такі як трифазні автотрансформатори чи індукційні регулятори, з вихідною напругою не менше 300 В. Також можна використовувати три однофазних автотрансформатори з вихідною напругою 0-250 В. Важливо враховувати, що випробування ізоляції напругою промислової частоти рівним 1000 В може бути замінено вимірюванням опору ізоляції мегаометром на напругу 2500 В. Якщо значення опору ізоляції менше норми, то випробування ізоляції напругою 1000 В необхідно проводити обов'язково.

Висновок

# НУБІП України

Підготовка матеріалів для виконання робіт є важливим етапом в організації процесу ремонту і обслуговування обладнання та електричних мереж. Цей етап має на меті забезпечити ефективну та безперебійну роботу технічних систем, зменшити час простою та підвищити продуктивність робочого персоналу, а також зменшити витрати та запобігти можливим зупинкам у виробництві.

# НУБІП України

Забезпечення необхідними матеріалами та комплектуючими частинами перед початком робіт є суттєвим завданням. Воно передбачає вчасне та належне постачання необхідних матеріалів та компонентів, а також наявність запасних частин і придбаних виробів у відповідних кількостях. Це

# НУБІП України

дозволяє уникнути непередбачених затримок та перерв у роботі, збільшує продуктивність робіт та знижує ризики виникнення аварій та нещасних випадків.

# НУБІП України

Важливим елементом підготовки матеріалів є аналіз проектно-конструкторської і технол огічної документації. Інженери вивчають ці документи, щоб визначити необхідність та обсяг матеріалів, а також специфікації компонентів, які потрібні для виконання робіт. Цей аналіз дозволяє зрозуміти, які саме матеріали та компоненти необхідно замовити та підготувати для виконання завдання.

# НУБІП України

Загалом, для виконання робіт є критично важливим кроком у забезпеченні успішного ремонту та обслуговування обладнання і мереж. Вона сприяє підвищенню продуктивності праці, запобігає можливим аваріям та забезпечує безперебійну роботу технічних систем.

# НУБІП України

# НУБІП України

### 3.1 Аналіз існуючої служби обслуговування

Спочатку важливо ретельно розглянути питання, що стосуються існуючої системи обслуговування господарства. Детальна оцінка цієї системи може виявити потребу в покращенні і допомогти виправити можливі недоліки.

Серед ключових аспектів, які потребують уваги, можна виділити наступні:

1. Стан обладнання та інструментів. Важливо оцінити стан випробувального, монтажного та вимірювального обладнання та інструментів.

Чи є вони застарілими? Потребують оновлення чи ремонту?

2. Запасні частини та ремонтний фонд. Визначте наявність запасних частин, їх якість та кількість. Розгляньте потенціал ремонтного фонду. Чи вистачає запасних компонентів для швидкого усунення можливих поломок?

3. Рівень кваліфікації персоналу. Важливо оцінити кваліфікацію обслуговуючого персоналу. Чи мають вони необхідні навички та знання для виконання своїх обов'язків.

Об'єктивна оцінка стану обслуговуючої бази та персоналу дозволить визначити потенційний строк служби обладнання, що є важливим кроком у плануванні обслуговування. Вона також дозволить порівняти реальний стан обладнання з вимогами заводу-виробника та спрямує на шлях підвищення продуктивності, покращення енергоефективності та підвищення собівартості продукції на підприємстві.

В цьому контексті важливо знайти оптимальні варіанти для проведення проекту вдосконалення, реконструкції або створення нової ремонтно-обслуговувальної бази.

# НУБІП України

## 3.2. Обґрунтування та створення проекту бази технічної підтримки та обслуговування електротехнічного обладнання

Науково-дослідні організації та проекти інститутів вивчили та розробили перелік проектів для забезпечення технічної підтримки

електротехнічного обладнання. Деякі з цих проектів вже були затверджені та вважаються стандартними. Завдяки впровадженню господарського

розрахунку, енергоремонтній службі надається можливість більш ефективно використовувати ресурси, виділені їй для виконання покладених завдань. Ці ресурси включають в себе обладнання, виробничі приміщення, робочу силу,

матеріали, фонд оплати праці та інше.

Це надає можливість енергоремонтній службі раціонально організувати робочий процес і використовувати передові технологічні методи. Крім того, це дозволяє заохочувати працівників різними формами

матеріальної винагороди і виявляти потенціал для підвищення продуктивності

праці. В результаті досягається економічність, підвищується якість технічного обслуговування і ремонту, збільшується безпека на підприємствах.

При обговоренні розвитку системи обслуговування технічного обладнання на промислових підприємствах слід також звернути увагу на

розвиток практики технічного обслуговування та ремонту енергетичного обладнання.

# НУБІП України

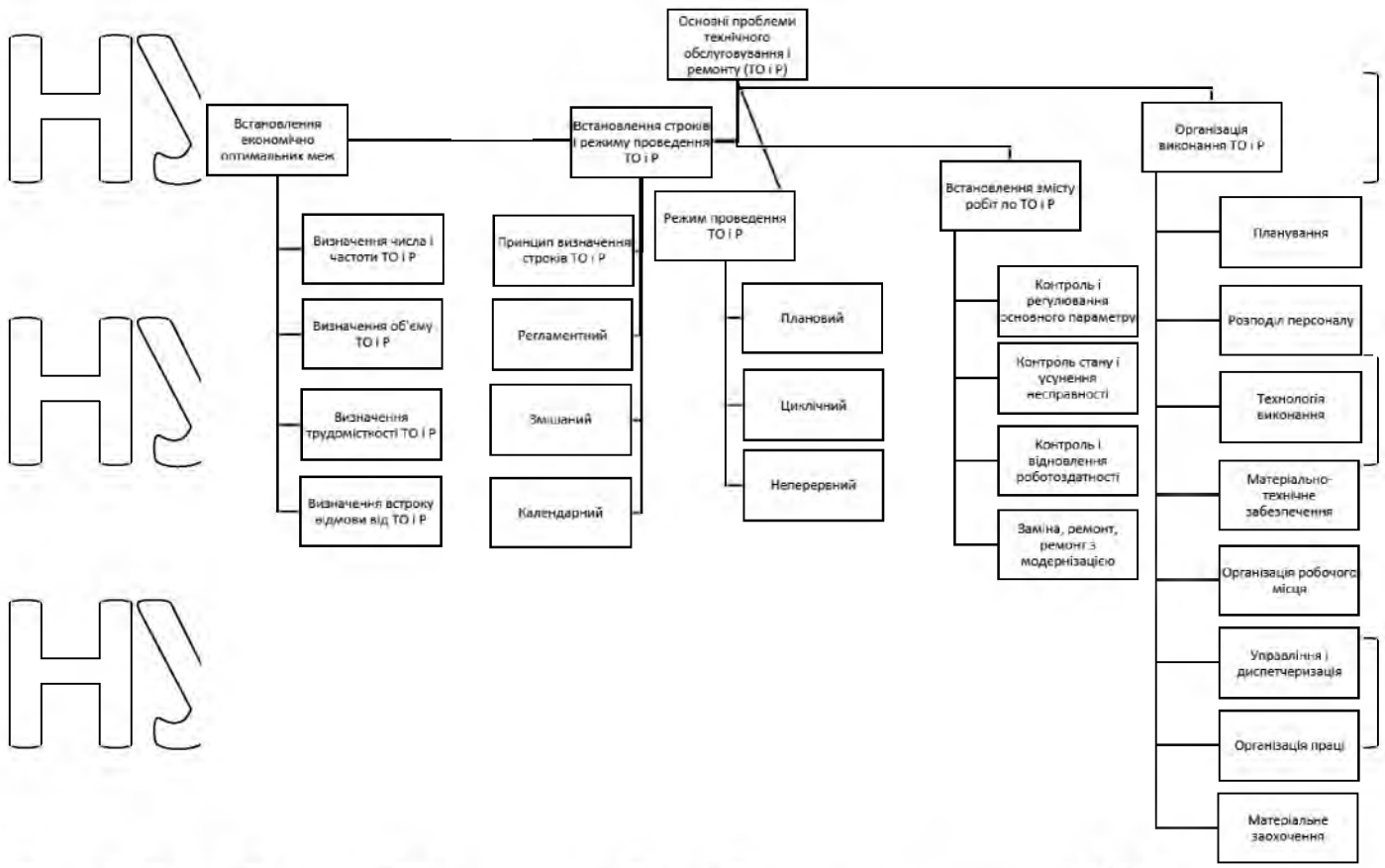


Рис 3.2.1 – Схема основних проблем ТО і ремонту

1. Задача оптимізації

$$C(L_0) = \min C(L); \quad (1.1)$$

$$Q_j(L) \Leftrightarrow Q_{3j}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (1.2)$$

де  $L$  – множина допустимих рішень;

$$L = (l_1, l_2, \dots, l_n);$$

$C(L)$  – затрати, що характеризують систему ТО і ремонту і відповідають рішенню  $L$ ;

$L_0$  – оптимальне рішення, що мінімізує цільову функцію (1.1) і задовольняє  $m$  обмеженням (1.2);

$Q_j(L)$  – значення  $j$ -тої характеристики ефективності пристрою або характеристики системи технічного обслуговування і ремонту;

$Q_j$  – задане значення  $j$ -тої характеристики ефективності пристрою або системи ТО і ремонту.

Згідно з (1.1) і (1.2), при даному формулюванні завдання побудова системи технічного обслуговування і ремонту із множини  $L$  допустимих рішень вибирається таке, яке мінімізує вибраний вид затрат і задовольняє задані обмеження. В якості функції  $G(L)$  можуть бути прийняті затрати праці, засобів або діяльність перебування пристрою в неробочому стані у зв'язку із здійсненням заходів системи технічного обслуговування і ремонту з усуненням наслідків відмов за розглянутий період експлуатації. [3]

Обмеженнями  $Q_j(L)$  можуть бути інші показники ремонтпридатності, затрати часу, характеристик ефективності, праці та засобів на здійснення окремих видів профілактичних заходів, затрати на комплектуючі та запасні частини, на інструменти, кількість і рівень кваліфікації спеціалістів, технічна оснащеність організації і підприємств, що здійснюють ТО і ремонту.

## 2. Зворотня задача оптимізації

$$C(L_0) = \max C(L); \quad (1.3)$$

$$C_j(L) \Leftrightarrow C_{3j}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (1.4)$$

В такому способі представлення задачі необхідно знайти рішення  $L_0$ , яке максимізує значення характеристики ефективності  $Q(L)$  і задовольняє обмеження по заданим видам затрат  $C_j(L)$ .

Тип задачі оптимізації, і також вид цільової функції, обмеження визначаються, чіткими та конкретними умовами.

Визначення складності при вирішенні задачі установа оптимальної системи ТО та ремонту що пов'язані з одержанням залежностей для цільових функцій (1.1) і (1.3), функцій обмеження (1.2) і (1.4). Вид даних залежностей визначає тип використовуваних математичних моделей і методів рішення задачі. Але такі труднощі, в умовах практичної діяльності працівників,

відповідних служб при спробі постановки рішення задач системи ТО та ремонту

Висновок

Слід сказати, що використання такого підходу для вирішення завдань у

сфері технічного обслуговування та ремонту (ТО і Р) дозволяє переглянути та проаналізувати систему ТО і ремонту основних виробничих фондів підприємств з нового і більш глибокого погляду.

Необхідно також відмітити, що застосування математичних моделей та

електронних обчислювальних технологій для прийняття рішень (оскільки приклад поданого рішення без використання електронної обчислювальної техніки стає майже неможливим) в справах системи ТО і Р представляє собою раціональний крок у напрямку підвищення ефективності та якості обслуговування, а також функціонування вузлів та агрегатів в цілому.

## Розділ 4. Перевірка основних вузлів апарату

### 4.1 Загальний опис досліджень

Під час аналізу науково-публіцистичних джерел було підтверджено, що однією з ключових сфер, яка потребує більш детального вивчення, є група контактних з'єднань автоматичних вимикачів. Їх вплив на виникнення несправностей оцінюється на рівні приблизно 18%. Оскільки для їх створення надалі найактуальнішим матеріалом є мідь, маємо повністю приділити увагу аналізу впливу процесу окислення на стан контактних з'єднань.

Метали, у тому числі і мідь, при взаємодії з киснем повітря покриваються шаром оксиду. Товщина цього окисного шару залежить від матеріалу контактних деталей, тривалості окислення, температури навколишнього середовища, рівня вологості в повітрі, а також інших факторів, що можуть прискорювати або сповільнювати процес окислення.

Наявність оксидного шару на поверхні контактних деталей має значний вплив на величину перехідного опору, який може зростати в декілька разів.

У таблиці 4.1.1 представлені значення перехідного опору для різних контактних матеріалів до і після окислення при температурі 34°C.

Таблиця 4.1.1

Матеріали контактних	Час окислення, днів	Коефіцієнт $\alpha$		Збільшення перехідного опору (у скільки разів)
		до окислення	після окислення	
Мідь	3	$1,11 \cdot 10^{-4}$	$190 \cdot 10^{-4}$	171
Олово	11	$1,57 \cdot 10^{-4}$	$115 \cdot 10^{-4}$	73
Срібло	95	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$	20



З таблиці видно, що вплив окислення найсильніше проявляється на мідних контактах. Вже протягом двох діб перехідний опір збільшується більше ніж у 170 разів. З іншого боку, срібло найкраще захищене від окислення, і протягом 95 діб перехідний опір зростає тільки у 20 разів. Різке збільшення перехідного опору у випадку мідних контактів є неприпустимим, тому вживаються різноманітні заходи для запобігання окисленню контактних поверхонь.

Контактні поверхні деталей, які створюють нерозімкнені контактні з'єднання, захищають, покриваючи їх шарами олова, кадмію або срібла. Якщо не можливо використовувати таке покриття, то перед з'єднанням контактні поверхні змащують тонким шаром технічного вазеліну.

У випадку контактів, які розмикаються і призначені для тривалої роботи при проходженні струму, найкращим вибором є контакти із срібла або металокераміки на срібній основі. Якщо використовуються мідні або інші матеріали, які швидко окислюються, то кінематику контактних деталей розробляють так, щоб контактні поверхні слабо ковзали одна по одній при замиканні, що сприяє зносу окисного шару при кожному включенні.

Для контролю стану контактів (провідних частин) під час експлуатації обладнання передбачено вимірювання температури нагріву контактних з'єднань за допомогою тепловізорів, лазерних інфрачервоних термометрів або ізольованого щупа, зробленого з біметалу (для тимчасового притискання до місця вимірювання з метою найточніших вимірювань).

#### **4.2. Вимірювання температури контактних з'єднань обладнання.**

Останні роки принесли значний прогрес у сфері тепловізійних технологій. Сучасні портативні інфрачервоні камери, які представлені на рисунку 4.2.1, надають користувачам швидко та точно виміряти температуру об'єкта. Додатковою перевагою є програмне забезпечення, яке

надає розширене зображення з кольоровим кодуванням, що спрощує визначення актуальних областей та їх стану.



Рис. 4.2.1. – Використання іч приладу

Під час перевірки, дуже важливо забезпечити належне навантаження системи. Для досягнення цілей діагностики  $\pm 30$ , рекомендується виконувати термомоніторинг під час пікового навантаження або при навантаженні, яке становить щонайменше 40% від загальної потужності (згідно з NFPA 70B).

Важливо враховувати, що теплові втрати, які виникають через нещільні контакти, збільшуються квадратично зі збільшенням навантаження. Отже, чим вище навантаження, тим легше виявити окислені контакти.

Крім того, слід брати до уваги ефект охолодження вітру (якщо вимірювання проводиться на вулиці) та інші впливи руху повітря.

У випадках, коли використовуються інфрачервоні тепловізори, важливо точно знати матеріал контактної з'єднання, оскільки це необхідно для належного налаштування коефіцієнта випромінювання матеріалу (коефіцієнт емісії) на приладі. Це дослідження є обов'язковим у випадках діагностики, технічного обслуговування і ремонту, оскільки теплові втрати

представляють собою втрати використаної електроенергії, які можуть значно впливати на фінансові витрати підприємства.

### 4.3. Вимоги експлуатації та захисні функції

Сучасні технічні вимоги застосовуються до вимикачів, призначених для управління електричними ланцюгами при нормальних та аварійних режимах, а також в автоматичних системах переключення в мережах з трьохфазним змінним струмом частотою 50 Гц та напругою від 6 до 110 кВ включно.

Наступні характеристики мають бути забезпечені вимикачами:

- Висока надійність при мінімальних обслуговувальних роботах та профілактиці.
  - Легкість у проведенні ремонтних робіт та мінімальні витрати під час відновлення.
  - Конструктивний зв'язок між полюсами вимикача з трьома полюсами на спільній основі (фіксована міжполюсна відстань).
  - Функціональний зв'язок між полюсами з функціонально залежними полюсами (спільний привід для трьох полюсів). Для вимикачів 6-10 кВ можливе використання функціонально незалежних полюсів.
- Два види приводу:

1. Пружинний (пружинно-моторний) привід, що містить пристрої для виконання аварійного вимикання, блокування руху контактів вимикача у відкритому положенні за відсутності повністю заведених включаючих пружин.

2. Електромагнітний привід з можливістю включення/відключення вимикача без оперативного струму.

- Використання вбудованих заземлювачів/роз'єднувачів для вимикачів 35/110 кВ, якщо їхнє положення може бути візуально визначено.

- Наявність вказівника положення (увімкнено/вимкнено) вимикача та індикатора зарядження пружин приводу.

- Захисне покриття сталевих деталей, що піддаються впливу кліматичних факторів, за допомогою гарячого цинкування.

- Відповідність всіх компонентів вимикачів чинним нормативним документам.

В комплект поставки на кожний вимикач включаються котушки включення і відключення. Для партії вимикачів елегазового типу, додатково постачається переносний датчик витoku газу, манометричний індикатор щільності, автоматичний вимикач вторинної комутації, обігрівач та комплект для заправки вимикачів елегазом.

Для вимикачів напругою 6, 10 та 35 кВ рекомендується використання вакуумних вимикачів.

Механічний ресурс включень-відключень вимикачів 6 та 10 кВ повинен становити не менше 50 000 циклів, а комутаційний ресурс повинен бути не менше 100 відключень за допустимих струмів короткого замикання. Для вимикачів 35 кВ механічний ресурс повинен становити не менше 30 000 циклів/включення-відключення, а комутаційний ресурс - не менше 25 відключень за допустимих струмів короткого замикання.

Вимикачі повинні бути призначені для роботи в електричних мережах з ізолюваною нейтраллю. Вимикачі повинні включати пристрої для керування електромагнітами включення/відключення, які активуються через спеціальні пускові пристрої, такі як конденсаторні накопичувачі. Максимальні токи короткого замикання для вимикачів не повинні перевищувати 3 А.

Полюси вимикачів не повинні містити нагрівальних елементів, які вимагають розбирання вимикача для їхньої заміни. Довжина шляху витoku на внутрішній поверхні опорних ізоляторів та тяг вимикачів повинна бути не менше, ніж на зовнішній поверхні ізолятора.

Для вимикачів напругою 110 кВ рекомендується використовувати елегазові вимикачі колонкового типу. Для підстанцій в холодних регіонах з температурами нижче  $-50^{\circ}\text{C}$  рекомендується застосовувати елегазові бакові вимикачі з обігрівом і гідрозамкнутими боковими бачками.

Механічний ресурс перемикачів вимикачів 110 кВ повинен становити не менше 10 000 циклів включення-відключення, і не менше 20 відключень за допустимих струмів короткого замикання. При цьому комутаційний ресурс повинен бути не менше 5000 циклів включення-відключення за робочих струмів, рівних номінальному струму вимикача.

Вимикачі мають бути призначені для роботи в електричних мережах зі заземленою нейтраллю, де коефіцієнт короткого замикання на землю не перевищує 1,4. Вимикачі повинні включати пристрої для контролю тиску газу та індикатори, що вказують на рівень зарядження пружини приводу.

Таким чином, всі вимоги, вказані вище, мають дотримуватися при проектуванні та виготовленні вимикачів для забезпечення їх надійності та безпеки в електричних мережах.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 5. ХАРАКТЕРИСТИКИ АПАРАТНО-ВИПРОБУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ, МЕТОДИ ВИКОНАННЯ ВИПРОБУВАНЬ

### 5.1. Загальні відомості про випробувальне обладнання.

#### 5.1.1. Апаратна частина

Аналізатор автоматичних вимикачів та мікроомметр моделі СВА-1000 представляє собою універсальний тестовий набір, що поєднує в собі дві корисні функції.

Як аналізатор автоматичних вимикачів, цей прилад працює в автономному режимі і забезпечує можливість перевіряти характеристики сучасних вимикачів середньої та високої напруги.

У ролі мікроомметра СВА-1000 дозволяє вимірювати контактний опір контактів вимикача, а також з'єднань та інших елементів ланцюга. Надалі, він дозволяє виконувати динамічний тест опору контактів, тобто записувати та відображати, як контактний опір змінюється під час його замикання. Ця можливість розкриває приховані дефекти, які інакше було б важко виявити.

Тестер СВА-1000 спеціалізується на контролі основних параметрів вимикачів середньої та високої напруги. Він придатний для перевірки масляних, елегазових та вакуумних вимикачів в трифазному режимі з одним або двома розривами на фазу. Окрім цього, в СВА1000 може бути вбудований мікроомметр, що позбавляє необхідності використовувати окремий прилад.

Всі схеми і компоненти призначені для забезпечення надійної роботи в шумному середовищі підстанцій середньої та високої напруги. Прилад знаходиться у компактному алюмінієвому кейсі з відсіками та знімною кришкою для зручного транспортування.

Наступночи розглянемо передню панель та всі основні компоненти приладу, які описані нижче.

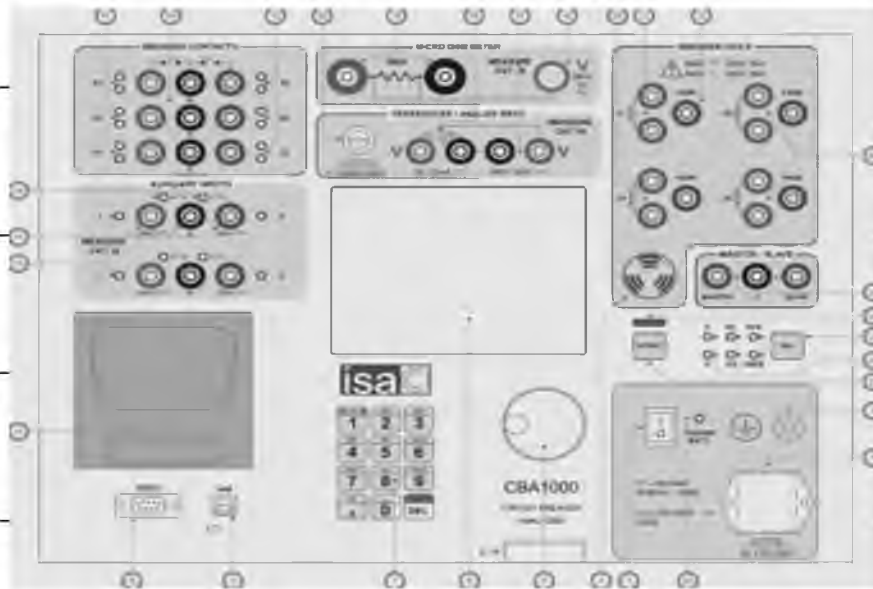


Рис. 5.1.1. Робоча панель виводів та органів управління приладом

- 1) Коннектор живлення і запобіжник.
- 2) Коннектор заземлення.
- 3) Вимикач живлення, зі світловою індикацією.
- 4) Зумер.
- 5) Ручка керування MENU, з перемикачем.
- 6) Дисплей.
- 7) Клавіатура для введення заголовка тесту.
- 8) Роз'єм послідовного інтерфейсу.
- 9) Роз'єм USB.
- 10) Розетки додаткових ввідів: дві групи по два контакти, ізольовані.
- 11) Додаткові входи: сухе або вологе освітлення.
- 12) Рівень допоміжних входів: ON = закритий або з напругою.
- 13) Основні контакти вхідного роз'єму.
- 14) Головні входи світяться: **ЗЕЛЕНИЙ** = головний вхід **ЗАКРИТО**; **ЧЕРВОНИЙ** = головний вхід **ВІДКРИТИЙ**.
- 15) Вхідний роз'єм вимірювання 5 В постійного струму (для схеми мікрометра).
- 16) Вимірювальні вхідні пізла для датчиків положення або інших вимірювань.

17) Допоміжне живлення 5 В 10 мА для датчика положення.

18) Вихідні роз'єми для мікроомметра.

19) Запобіжник додаткового живлення 5 В, F 63 мА 500 В.

20) Резетки PARK.

### Застосування

СВА-1000 – це унікальний інструмент для повного тестування всіх автоматичних вимикачів. Це потужний тестовий набір аналізатора синхронізації та руху з вбудованим мікроомметром чистого постійного струму 200 А для статичного та динамічного тестування контактної опору.

СВА-1000 — це окремий пристрій із великим графічним дисплеєм. Пристрій постачається з програмним забезпеченням аналізу TDMS. TDMS виконує аналіз результатів тестування та створює звіти про тестування; це також дозволяє заздалегідь визначити плани тестування. TDMS також є потужним програмним забезпеченням для тестування та керування даними, сумісним з усіма тестовими наборами ISA.

Усі схеми СВА 1000 були розроблені для забезпечення безпечної та надійної роботи в шумному середовищі високовольтних/середньовольтних підстанцій та електростанцій.

### 5.1.2. Програмне забезпечення (Technical Data Management System)

TDMS це потужний пакет програмного забезпечення, що забезпечує керування даними для введення в експлуатацію та перевірки технічного обслуговування. Дані про автоматичний вимикач і результати випробувань зберігаються в базі даних TDMS для аналізу історичних результатів.



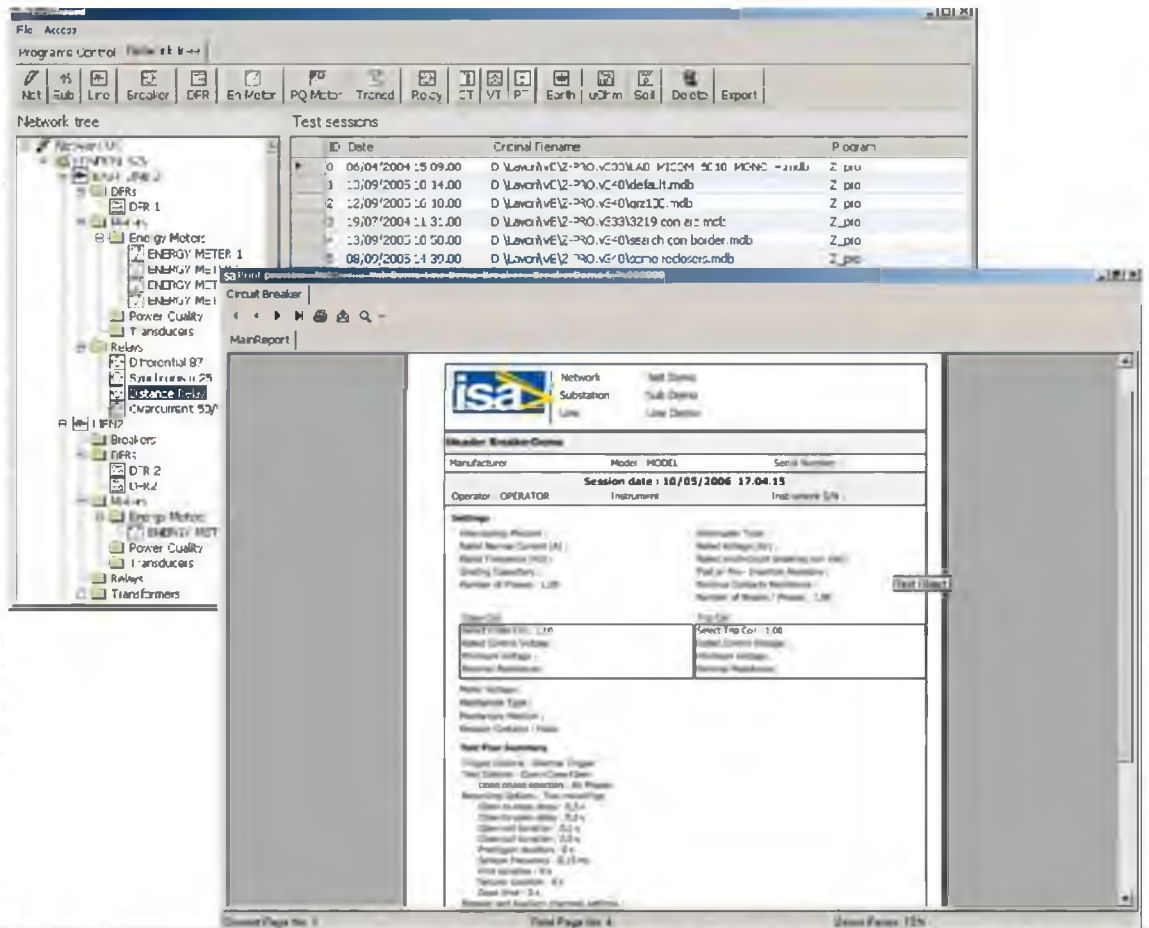


Рис. 5.1.2 - Інтерфейсу ПЗ TDMS

Програмне забезпечення TDMS має такі основні функції.

- Повний контроль над функціями СВА 1000 з ПК.
- Завантаження тестових планів.
- Завантаження результатів тестування.
- Плани тестів і результати тестів можна переглядати, редагувати в відсутніх описах, зберігати, роздруковувати, експортувати.

# НУБІП України

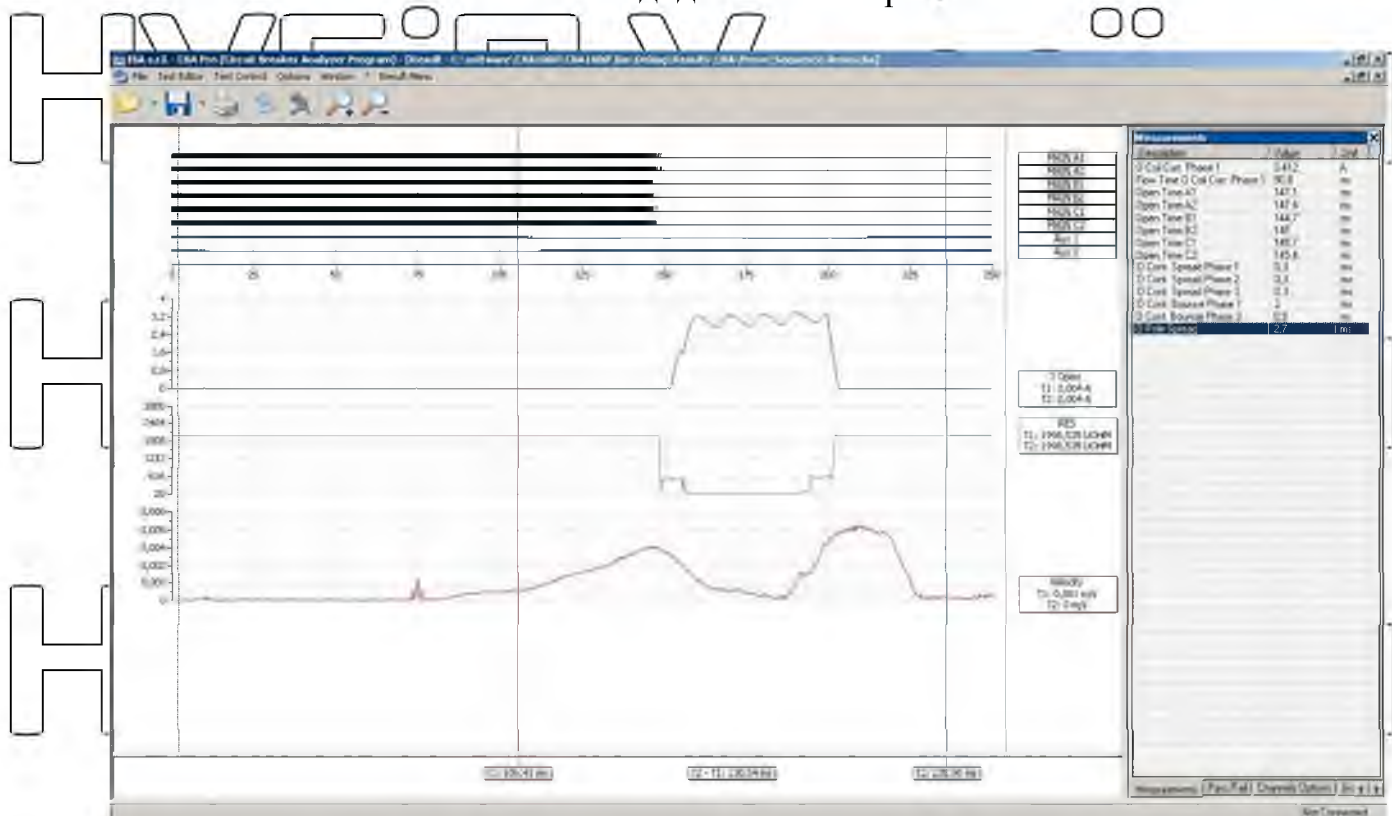
- Можливість перегляду, накладання та склеювання інших результатів для легкого порівняння результатів тесту.
- Можливість попередньо встановити тестові плани та завантажити їх у тестовий набір.

# НУБІП України

- Два курсори вибирають точки вимірювання та інтервали.
- Функція збільшення та зменшення масштабу.
- Покращені функції вимірювання для контролю руху, швидкості та прискорення.

# НУБІП України

Політика оновлення програмного забезпечення ISA дозволяє всім користувачам оновлювати своє програмне забезпечення з веб-сайту ISA [www.isatest.com](http://www.isatest.com) без додаткових витрат.



# НУБІП України

Рис. 5.1.12) Візуальне відображення інтерфейсу користувача ПЗ

# НУБІП України

## 5.2. Технічні характеристики випробувального комплексу

# НУБІП України

- Набір для перевірки синхронізації автоматичного вимикача
- Вбудований мікросметр 200 А
- 16 каналів синхронізації

# НУБІП України

- Контроль до 4 котушок відключення/закриття
- Аналізатор руху та швидкості
- Вимірювання статичного та динамічного контактного опору
- Підходить для автоматичних вимикачів ENH, MV та MV
- Автономна функція - підключення до ПК не потрібне

# НУБІП України

- Великий графічний дисплей із високою яскравістю сонячного світла
- Аналіз та оцінка результатів безпосередньо на дисплеї
- Внутрішня пам'ять для 250 результатів тестування та 64 попередньо визначених планів тестування.
- Перехресний тригер для синхронізації до 4 СВА 1000

# НУБІП України

- Перевірка автоматичного вимикача з обома кінцями, підключеними до землі (опція BSG)
- Програмне забезпечення TDMS для аналізу результатів тестування та звітності

### **Робота котушки:**

# НУБІП України

- Кількість контурів: 2 (1 відкрита і 1 закрита котушки); опціонально 4 (3 відкриті та 1 закрита котушки).

. Тип драйвера: електронний; це забезпечує чудовий контроль часу.

. Характеристика драйвера: 300 В постійного струму макс.; 30 А DC макс.

# НУБІП України

- Точність часу спрацьовування: 0,025% затримки ± 100 мкс.

### *Вимірювання струму котушки:*

# НУБІП України

- один на канал; хвиля відображається на виділених каналах.
- Діапазон струму котушки: 2,5; 10; 25 Повна шкала, на вибір користувача.

# НУБІП України

- У випадку варіанту з 4 котушками можна вибрати однофазне або багатфазне відкриття.
- Точність вимірювання струму котушки: 0,5% від показання  $\pm$  0,1% від вибраного діапазону.

# НУБІП України

- Виходи між ними ізолювані.

### *Основні контактні входи:*

# НУБІП України

- Кількість контактних входів: 6 головних контактів (2 розриву на фазу) плюс 6 резисторних контактів (2 розриву на фазу).
- Діапазон контактів резистора: від 20 Ом до 10 кОм.
- Випробувальна напруга контакту: 24 В. Випробувальний струм основного контакту: 50 мА.

# НУБІП України

- Кожна входна група ізолювана відносно інших.

### *Входи подій*

# НУБІП України

- Кількість входів для допоміжних подій: 4, розділених на 2 групи по 2 у кожній.
- Можливість тестування сухих (24 В) або мокрих контактів (20-300 В).

Тестовий струм: 2 мА.

# НУБІП України

**Частота вибірки:**

20 кГц - 10 кГц - 5 кГц - 2 кГц - 1кГц - 500 Гц - 200 Гц - 100 Гц,  
50 Гц, 20 Гц на вибір користувача.

**Точність хронометражу:**

100 мкс ± 0,025% часу зчитування при 20 кГц.

**Максимальна довжина запису:**

1000 с.

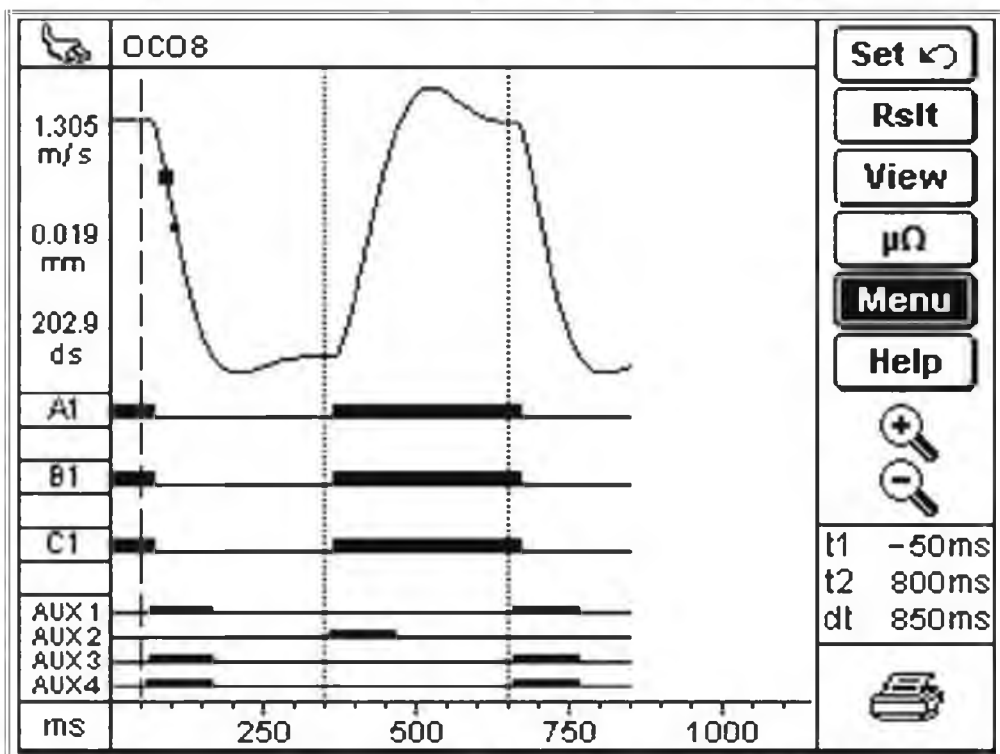


Рис. 5.2. – Відображення результатів тесту СВА 1000

**Аналогові входи:**

- Кількість аналогових входів: 4 (6 на вибір).
- 2 (4 неонов'язкові) призначені для струмів в відкритій та закритій котушці.

- 1, присвячений вимірюванню динамічного та статичного опору. Діапазон вхідної напруги:  $\pm 5$  В.
- призначений для руху швидкості, напруги батареї станції тощо. Діапазон вхідної напруги:  $\pm 5$  В.;  $\pm 50$  В.;  $\pm 500$  В, на вибір користувача.

- Аналогові входи ізольовані відносно всіх інших схем.
- Роздільна здатність вимірювання аналогового входу 16 біт.

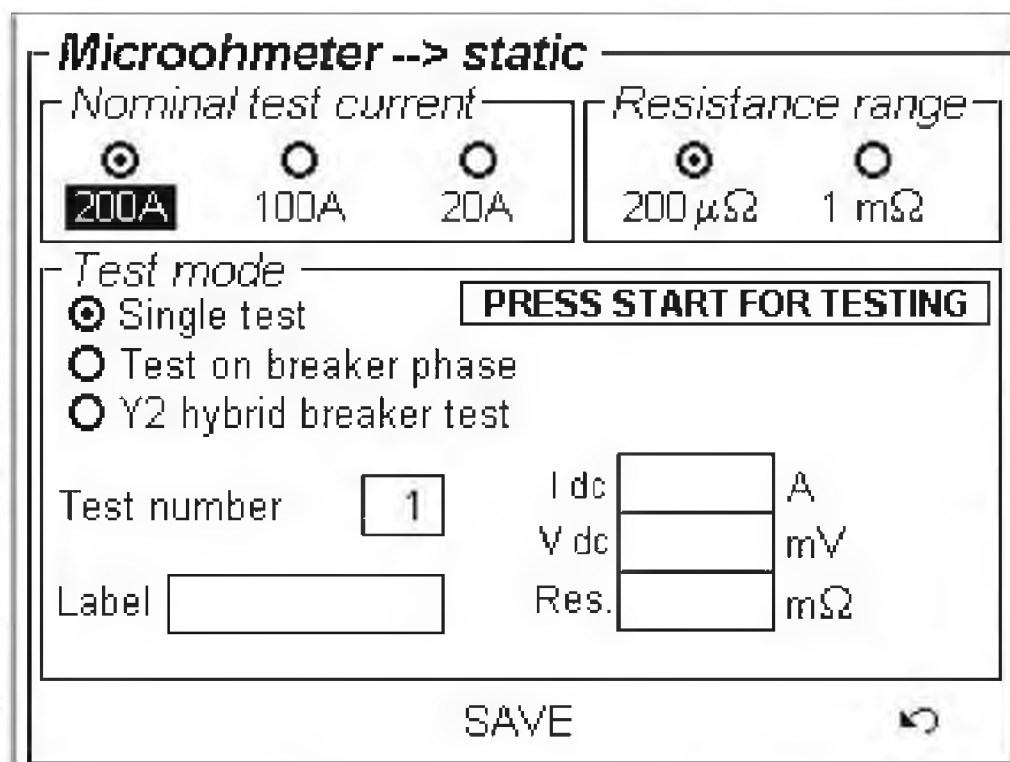


Рис. 5.2.2 – Дисплей мікроомметра CBA 1000

### *Перевірка напруги мінімального відключення (опція)*

Перевірка мінімальної напруги відключення дозволяє перевірити мінімальний поріг напруги відключення та затримки падіння напруги.

- Два варіанти: 250 В Макс. і 70 В Макс.

- Максимальний струм: 4 А (250 В); 10 А (70 В)

-Регулювання максимальної напруги: до 50% від V Max.

# НУБІП УКРАЇНИ



CBA 1000 - Cable Transport Case

CBA 1000 - Soft Bag



Рис. 5.2.3 – Транспортні кейси CBA 1000 і комплектні кабелі типу

# НУБІП УКРАЇНИ

# НУБІП України

## *Опція внутрішній або зовнішній принтер*

- Додатковий внутрішній термопринтер шириною 58 мм.
- Додатковий зовнішній термопринтер: Seiko DPV-414, ширина 112 мм.

# НУБІП України

## *Контроль тестового набору*

Управління локальне за допомогою графічного дисплея, клавіатури та кнопки для вибору меню: керування ПК не потрібне.

# НУБІП України

## *Дисплей*

Великий графічний дисплей високої яскравості сонячного світла (зона огляду 122 x 92 мм).

Результати тестування відображаються графічно та у вигляді таблиці.

Функції масштабування та курсори для аналізу тестових даних доступні безпосередньо на дисплеї CBA 1000.

# НУБІП України

## *Інтерфейси до ПК*

2 доступних інтерфейсу: USB і RS232.

# НУБІП України

## *Розмір пам'яті*

128 Мбайт (приблизно 250 результатів).

# НУБІП України

# НУБІП України



# НУБІП України

## 5.3. Характеристики випробувань

За допомогою СВА можна виконати перевірку синхронізації автоматичного вимикача із заземленням обох сторін.

З'єднання заземлення НЕ видаляється під час випробування, як це має бути зі звичайним випробувальним обладнанням.

Безпека стає все більш важливою, і велика кількість законів і нормативних актів у всьому світі вимагають, щоб на робочому місці в установці високої напруги всі частини, з якими потрібно працювати, повинні бути заземлені (заземлені) і замкнуті накоротко. Під час випробування автоматичного вимикача на підстанціях високої напруги ситуація може стати небезпечною через високий електричний потенціал. Це може бути спричинено емнісним зв'язком від близького провідника або коли блискавка вдаряє десь у лінію, або коли під час випробування виникає несправність і високий потенціал досягає автоматичного вимикача

Кожна головка має три кабелі довжиною 2,5 м; поперечний переріз 4 мм<sup>2</sup>, завершується затискачами «крокодил».

Крива переміщення вказує миттєве положення силового вимикача під час роботи та надає всю необхідну інформацію. Наприклад, положення рухомих контактів, загальний хід, довжина ходу, брязкіт і тому подібне.

# НУБІП України

# НУБІП України

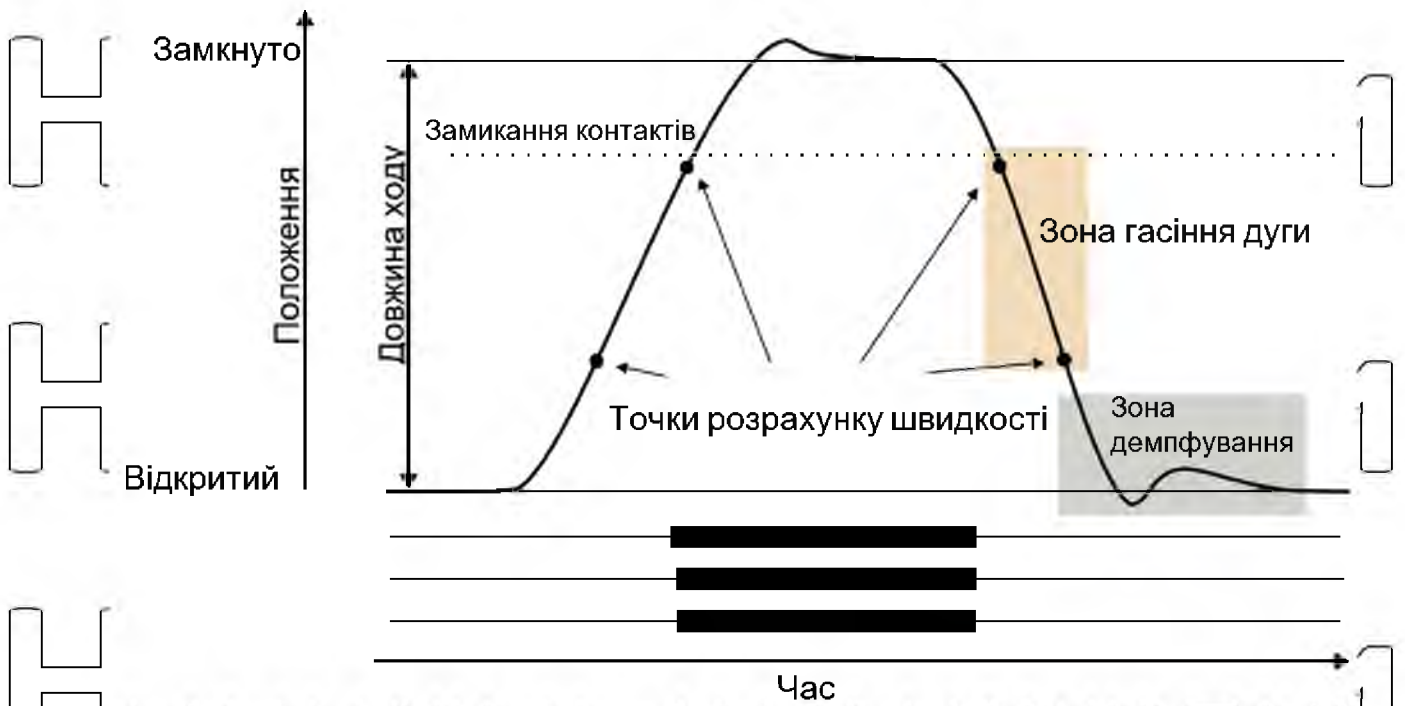


Рис. 5.3.1 – Графік часо-струмової характеристики

# НУБІП України

## 5.4. Схема керування випробуванням

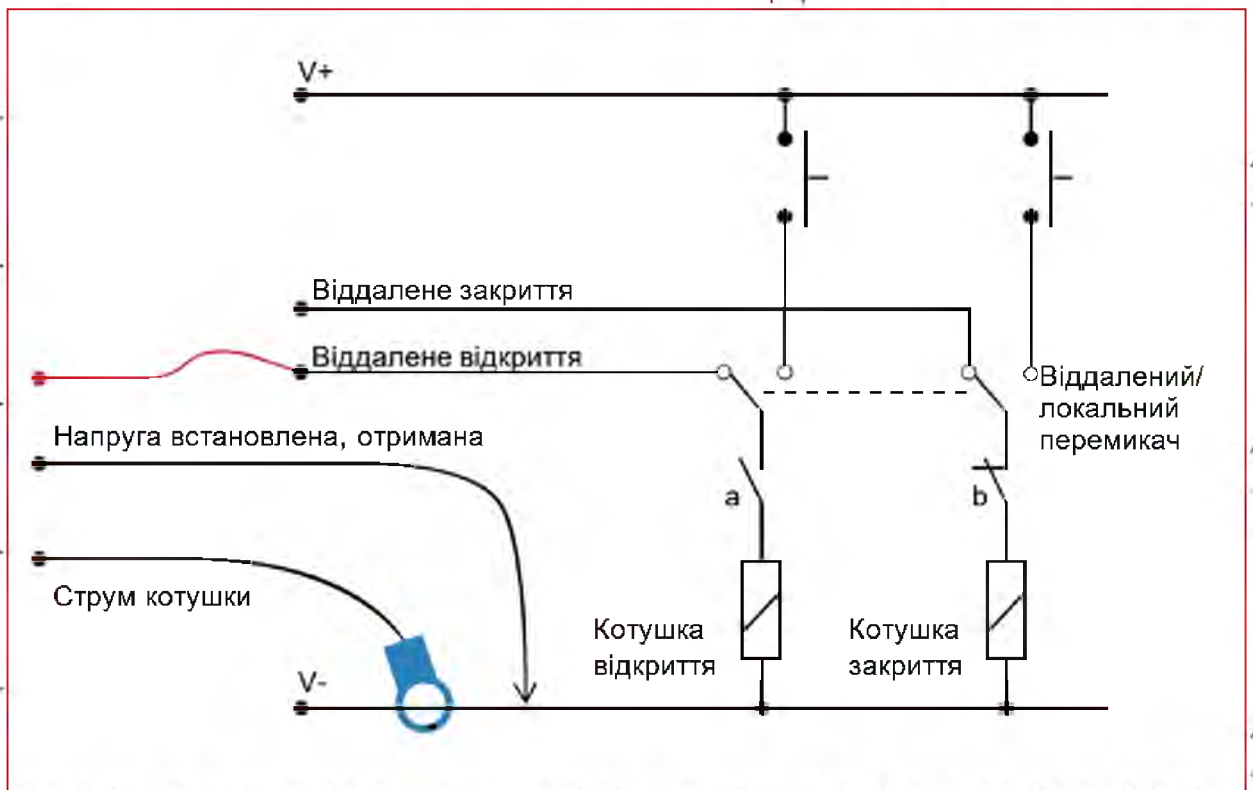


Рис. 5.4.1 – Схема керування та зняття показників випробування

## 5.5. Випробування силових вимикачів

Процедура тестування силових вимикачів включає в себе кілька ключових етапів:

- Вимір опору ізоляції. Проводиться вимір опору ізоляції рухомих і направляючих частин, які виготовлені з органічних матеріалів, а також елементів вторинних ланцюгів та електромагнітів включення та відключення.
- Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти. Цей етап включає в себе випробування ізоляції вимикачів відносно корпусу або опорної ізоляції, а також ізоляції вторинних ланцюгів і обмоток електромагнітів включення та відключення. Це необхідно для переконання в надійності ізоляції в робочих умовах.
- Вимір опору постійному струму. На цьому етапі проводиться вимір опору контактів масляних вимикачів, шунтуючих резисторів дугогасильних пристроїв та обмоток електромагнітів включення та відключення. Це спрямовано на перевірку стабільності контактів у робочому режимі.
- Випробування багаторазовими включеннями і відключеннями. На заключному етапі проводяться тести, під час яких вимикач багаторазово вмикається та вимикається. Це допомагає виявити можливі проблеми, які можуть виникнути внаслідок постійних циклів включення та відключення, і забезпечити надійну роботу вимикача в практичних умовах.

Вищеперелічені етапи тестування силових вимикачів важливі для забезпечення їх безперебійної та надійної роботи в електричних мережах.

## 5.6. Електрична принципна схема діагностування і тестування

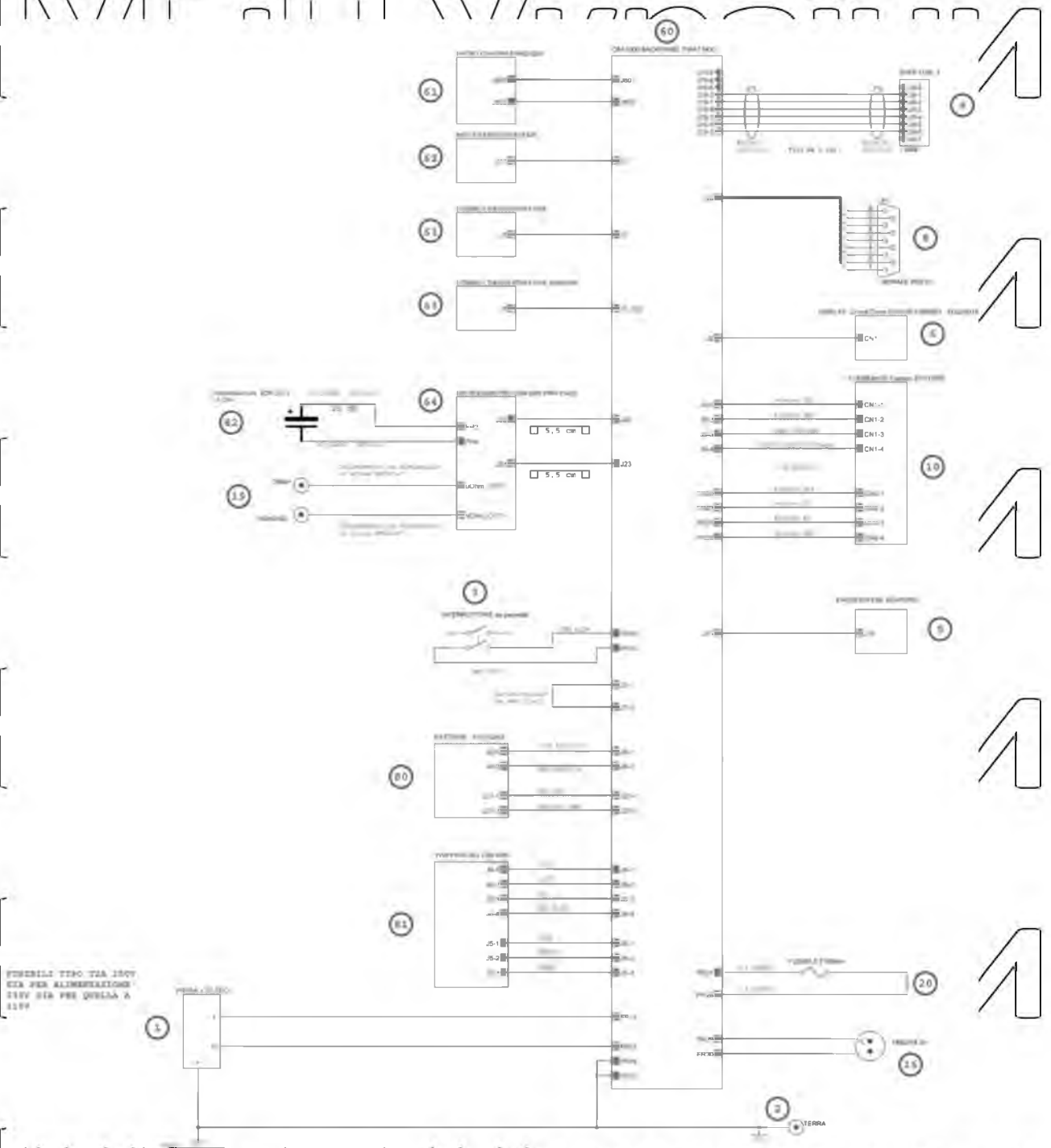
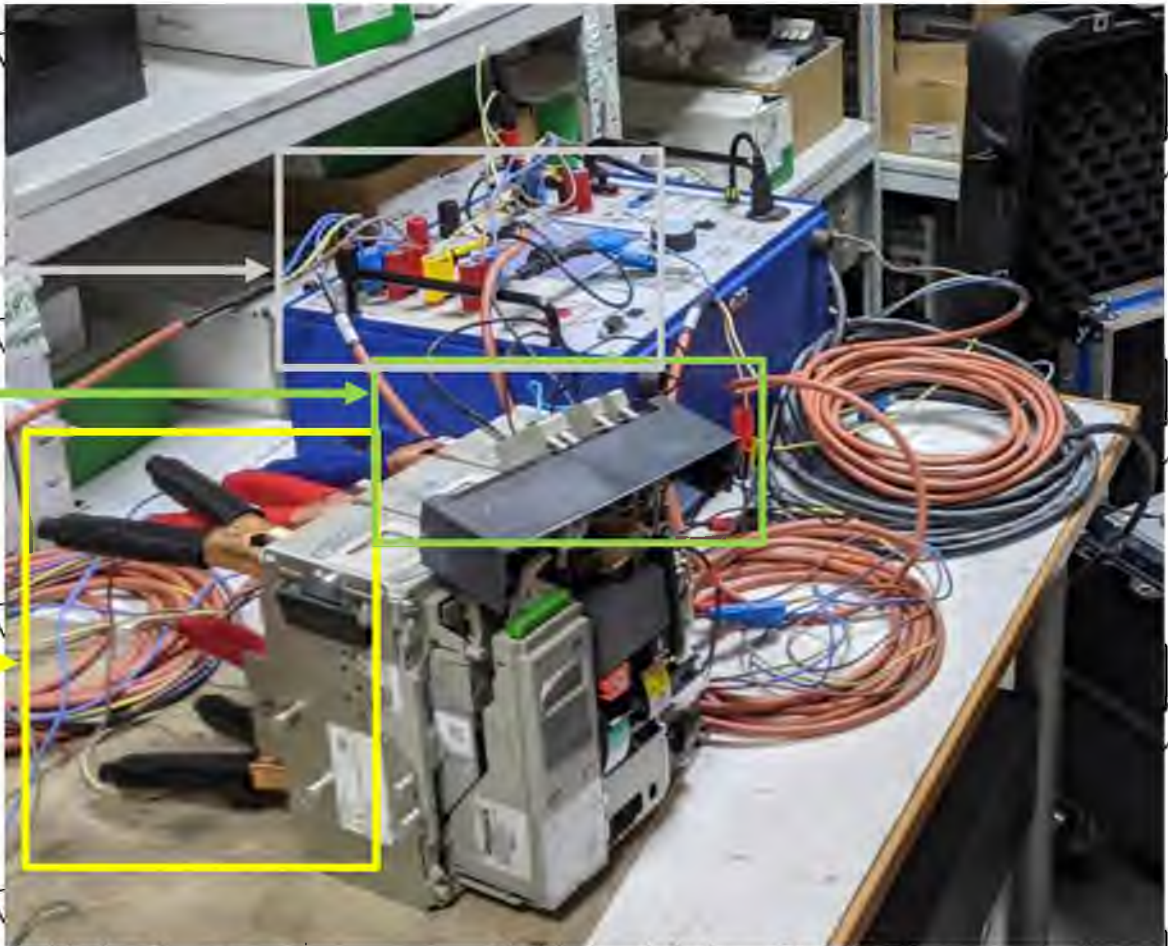


Рис. 5.6.1. - Принципова електрична схема підключення CVA 1000

## 5.7. Виконання підключення схеми вимірювання і управління



Рис. 5.7.1 – Виконання випробувань вакуумного вимикача в лабораторії



для вимірювання використовувалися записки типу «кракоділ»;

підключення каналів керування: сигнал на включення електромагнітних котушок «Увімкнути» і «Вимкнути»;

порти підключення вимірних клем до апарату випробувального комплексу.

Рис. 3.7.2. Виконання підключення пристроїв для діагностування

## 5.8 Відповідність стандартам та нормативній документації

Для проведення випробувань силових вимикачів обов'язково дотримуватися встановлених стандартів і нормативів. Зокрема, цей процес регламентується такими документами як:

1. СОУ-Н ЕЕ 20.302.2020. Розділи 12, 13, 14, 15 та 16 цього стандарту містять важливі вимоги та процедури для випробування силових вимикачів.

2. ЦТБЕС. Положення про технічний експертний контроль та електробезпеку регулює процедури випробувань та вимоги до безпеки під час їх проведення.

3. ГОСТ 1516.2-97. Вимоги цього стандарту також враховуються при проведенні тестів силових вимикачів.

4. ДСТУ ІЕС 60947-3:2010. Ця національна стандартизація встановлює норми щодо вимикачів, зокрема їх випробувань.

5. ПУЕ. Пункт 1.8 цих правил містить важливі вимоги для випробувань електричного обладнання.

Всі ці документи обов'язкові для дотримання під час випробувань силових вимикачів і гарантують безпеку та відповідність вимірюваних параметрів стандартам.

## РОЗДІЛ 6. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

### 6.1. Проведення випробувань підвищеною напругою

Забороняється виконання електричних випробувань обладнання та проведення електричних вимірювань за допомогою випробувальних електроустановок та електротехнічних лабораторій, які не мають відповідного офіційного дозволу.

Проведення випробувань має здійснюватися бригадами, які складаються щонайменше з двох працівників, при цьому керівник робіт повинен мати групу IV електробезпеки, а інші члени бригади - групу III. Проведення випробувань може бути доручено лише спеціалістам, які успішно пройшли спеціальну підготовку, перевірку знань схем випробувань та відповідних правил, що стосуються цього розділу. Вони також повинні мати практичний досвід проведення випробувань в реальних умовах електроустановок, який отриманий під наглядом досвідченого працівника з групою III і тривав не менше одного місяця під час стажування. Дана перевірка знань має бути проведена одночасно з загальною перевіркою знань Правил безпеки. Комісія, що відповідає за цю перевірку, також має включати до свого складу спеціаліста з випробувань обладнання, який має групу V електробезпеки.

Ця перевірка знань проводиться одночасно з загальною перевіркою знань працівників, які виконують випробування в електроустановках з напругою понад 1000 В, і групою IV - для тих, які працюють з напругою до 1000 В. Відповідні записи здійснюються в посвідченні і журналі.

Під час випробувань електричного обладнання з підвищеною напругою ізоляція мієня випробувань та з'єднувальних проводів, які перебувають під напругою, підлягає обов'язковому огороженню, і в непосредній близькості повинен знаходитися наглядач.



Зобов'язання наглядача може виконувати особа, яка проводить приєднання вимірної схеми до випробувального обладнання. Вони мають отримати дозвіл від керівника робіт, перш ніж покинути місце випробувань.

В разі, коли випробувальна установка і обладнання, яке випробовується, розташовані в різних приміщеннях або на різних ділянках розподільної установки, допускається присутність членів бригади з групою ШІ для спостереження за станом ізоляції, але вони мають знаходитися окремо від осіб, які виконують роботу. Перед початком випробувань ці члени бригади повинні отримати необхідний інструктаж від керівника робіт і розміститися поза огороженням.

Для безпеки робітничого персоналу у комплекті з комутаційним апаратом слід встановлювати стопорний пристрій або ізольовану накладку між рухомими і нерухомими контактами.

Проводи або кабелі, які використовуються для живлення випробувальної станції від мережі напругою 380/220 В, мають бути захищені встановленими в цій мережі запобіжниками або автоматичними вимикачами.

Перед подачею випробувальної напруги керівник робіт зобов'язаний:

- перевірити правильність збирання схеми і надійність робочих та захисних заземлень;

- перевірити, чи всі члени бригади і працівники, призначені для охорони, перебувають на вказаних їм місцях, чи виведені сторонні люди і чи можна подавати випробувальну напругу на устаткування;

- попередити бригаду про подачу напруги словами "Подаю напругу" і, упевнившись, що попередження почуто всіма членами бригади, зняти заземлення з виводу випробувальної установки і подати на неї напругу 380/220 В.

З моменту зняття заземлення з виводу установки, всі елементи випробувальної установки, включаючи обладнання і з'єднувальні проводи, вважаються під напругою, і будь-які през'єднання в випробувальній схемі і на випробувальному обладнанні заборонені. Забороняється входити до установ.

6.2. Роботи з електровимірювальними кліщами і вимірювальними штангами

Вимірювання електровимірювальними кліщами і вимірювальними штангами в установках напругою понад 1000 В мають проводити дві особи: одна з групою IV. Друга - з групою III.

Ремонтниками вимірювання проводиться за нарядом, оперативними працівниками — за розпорядженням,

В електроустановках напругою до 1000 В працювати з електровимірювальними кліщами може одна людина, що має групу III.

Для вимірювань слід застосовувати кліщі з амперметром, що встановлений на їх робочій частині. Використання кліщів з винесеним амперметром не допускається.

Вимірювання в електроустановках напругою понад 1000 В необхідно проводити в діелектричних рукавичках і калошах (або стоячи на ізолювальній основі), в захисних окулярах. Кліщі необхідно тримати у висячому положенні. Забороняється нагинатися до амперметра під час від-рахунку показників.

Під час проведення вимірювань забороняється торкатися приладів, проводів і вимірювальних трансформаторів. [10]

Вимірювання можна проводити лише на ділянках шин, конструктивне виконання яких, а також відстань між струмопровідними частинами різних фаз і між ними та заземленими частинами виключають можливість електричного пробоя між фазами або на землю через зменшення ізоляційних відстаней за рахунок робочої частини кліщів.

На кабелях напругою понад 1000 В користуватися для вимірювання електровимірювальними кліщами дозволяється лише в тих випадках, коли жили кабелю ізолювані і відстань між ними не менша 250 мм.

Вимірювання електровимірювальними кліщами на шинах напругою до 1000 В слід виконувати, стоячи на підлозі або на спеціальних підмостках.

Під час вимірювань струмів пофазно з допомогою кліщів в установках напругою до 1000 В у разі горизонтального розташування фаз необхідно перед проведенням вимірювань обгородити кожну фазу ізолювальною прокладкою.

Вказані операції проводяться в діелектричних рукавичках.

Підніматися на конструкцію або телескопічну вежу для проведення робіт слід без штанги. Піднімати штангу необхідно за допомогою каната, утримуючи її в вертикальному положенні робочою частиною догори.

Застосовувати металеві канати для піднімання штанги забороняється.

Під час піднімання не допускається розгойдувати штангу і вдаряти нею об тверді предмети.

Під час піднімання на незначну висоту дозволяється передавати штанги з рук в руки.

Забороняється проводити роботи з вимірювальними штангами під час грози, туману, дощу або мокрого снігу.

Під час роботи з штангою слід витримувати нормовані відстані від струмопровідних частин до працівника.

## 6.2. Дотримання безпеки при роботі з електровимірювальними кліщами та штангами

Дотримання основних правил та процедур є запорукою забезпечення безпеки та точності вимірювань при роботі з електричними приладами і обладнанням. Основний контингент працівників, які здійснюють ці роботи, поділяється на кілька категорій залежно від їхніх знань і досвіду.

1. Група IV і Група III. Вимірювання електровимірювальними кліщами і вимірювальними штангами в установках з напругою понад 1000 В мають проводити дві особи: одна повинна мати групу IV, а інша – групу III.

2. Ремонтники. Ремонтники вимірювання проводять за нарядом.

3. Оперативні працівники. Оперативні працівники можуть здійснювати ці вимірювання за розпорядженням.

4. Працівники з групою III. В електроустановках з напругою до 1000 В може працювати одна особа, яка має групу III.

Під час вимірювань, необхідно використовувати кліщі з амперметром, розташованим на їх робочій частині. Використання кліщів з винесеним амперметром не допускається.

Забороняється торкатися приладів, проводів і вимірювальних трансформаторів під час вимірювань.

У випадках, коли вимірювання виконуються на кабелях з напругою понад 1000 В, жилам кабелю повинно бути ізольовано і відстань між ними повинна бути не менше 250 мм.

Під час робіт з вимірювальними штангами допускається використання підмостків або стояння на підлозі. Під час вимірювань струмів пофазно з

допомогою штанг в установках напругою до 1000 В, фази слід обгородити ізолювальною прокладкою, що виконується в діелектричних рукавичках.

Під час піднімання штанги, необхідно дотримуватися правил щодо безпеки, утримуючи її в вертикальному положенні та не розгойдуючи її.

Роботи з вимірювальними штангами забороняється виконувати під час негоди, такої як гроза, дощ, або під час сильного туману або мокрого снігу.

Під час робіт зі штангами необхідно дотримувати нормованих відстаней від струмопровідних частин для забезпечення безпеки працівника.

При вимірюваннях на опорах повітряних ліній напругою до 1000 В, працівник може стояти на підмостках та надійно прикріпитися стропом запобіжного паска до опори. Забороняється виконувати вимірювання на повітряних лініях з опорами, які мають заземлювальні спуски.

Дотримання цих правил і процедур є важливим для забезпечення безпеки працівників і надійності вимірювань в електроенергетичних установках.

### **6.3. Вимоги безпеки при аваріях**

Електрична схема (електроустановка) підлягає негайному виключенню у випадках: попадання людини під напругу; появи диму або полум'я із обладнання або установки; зашкалювання стрілок вимірювальних приладів; порушення нормальної роботи електричної схеми чи порушення ізоляції струмоведучих частин.

У випадку виникнення пожежі:

Негайно повідомити про пожежу по телефону 101, вказавши точну адресу місця пожежі.

Вжити заходів для гасіння пожежі, використовуючи первинні засоби пожежогасіння, що знаходяться в лабораторії та у вестибюлі навчального корпусу.

Повідомити про пожежу у найближчі кімнати з метою евакуації людей.

#### 6.4. Забезпечення пожежної безпеки

Актуальність: В сучасному суспільстві надзвичайно важливою є створення надійних систем протипожежного захисту для захисту життя людей і матеріальних цінностей від загрози пожежі. Сучасні технологічні розробки сприяють значному покращенню надійності компонентів системи пожежної сигналізації. Однак ключову роль в цьому процесі відіграють пожежні сповіщувачі (ПС). Їх завданням є раннє виявлення пожежі, коли вона ще не набула серйозних розмірів, щоб дати можливість прийняти ефективні заходи для її приглушення та евакуації людей.

Одночасно важливо запобігти помилковому спрацюванню ПС, щоб вони правильно виявляли зміни в параметрах навколишнього середовища.

Помилкове спрацювання ПС може призвести до надмірних евакуаційних заходів, виклику пожежних рятувальників і, отже, збитків.

У сфері автоматичних систем пожежної сигналізації найбільш поширеними стали пристрої, які реагують на найхарактерніші ознаки виникнення пожежі. Ці ознаки включають:

1. Димові датчики (ДИМОВІ), які виявляють аерозольні продукти горіння, що виникають під час термічного розкладання матеріалів і речовин.

2. Теплові датчики (ТЕПЛОВІ), які реагують на конвективні потоки тепла, які поширюються від осередку пожежі.

3. Оптичні датчики (ОПТИЧНІ), призначені для виявлення оптичного випромінювання полум'я в осередку пожежі.

Ці різні типи датчиків дозволяють системам пожежної сигналізації надійно виявляти виникнення пожежі на різних її стадіях розвитку, що допомагає вчасно приймати заходи для її ліквідації та забезпечувати безпеку людей і майна.

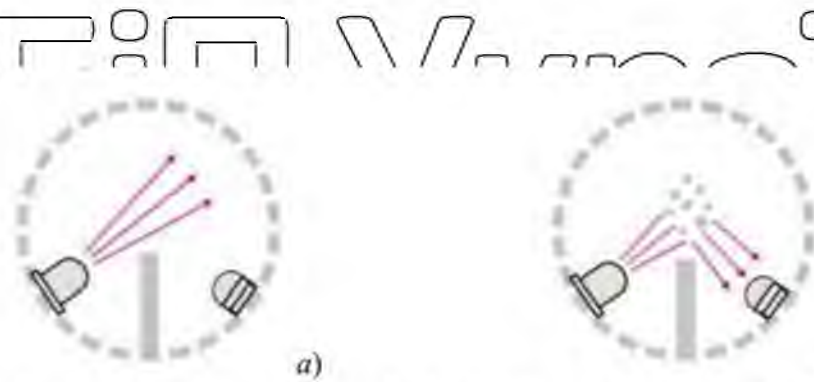


Рис.6.4.1 – Принцип виявлення диму

Розглянемо один із варіантів пристроїв систем пожежної безпеки від Ajax Systems.



Рис.6.4.2 - Бездротовий датчик FireProtect Plus

Датчик підтримує синхронні пожежні тривоги, функція активує вбудовані зумери всіх пожежних датчиків у системі, якщо спрацює хоча б один із них. У разі пожежі це дає змогу сповістити якомога більше людей. Функцію Синхронної пожежної тривоги підтримує FireProtect Plus 1 прошивкою версії 3.42 та вище.



Рис.6.4.3 - Спрацювання синхронної тривоги пожежних датчиків

## 6.5. Вимоги безпеки після закінчення робіт

Вимкнути живлення електричної схеми (електроустановки) ввідним вимикачем на робочому місці.

Розібрати електричну схему та зложити вимірювальні прилади в місце тривалого зберігання.

Навести порядок на робочому місці.



## ВИСНОВКИ

Перспективами використання та розвитку апаратно-програмних комплексів, що об'єднують у собі можливість виконання випробувань різних типів з подальшим отриманням коректних результатів випробувань та вимірювань характеристик без можливості впливу людського фактору на процес проведення обрахунків та створення часо-струмових характеристик у вигляді графіків.

Досліджуваний випробувальний комплекс передбачає видачу результатів виконання обо'язових процедур у вигляді готових даних, готових до внесення у протокол випробувань.

Використання комплексу СВА 1000 є обгрунтовано вигідним в плані точності отримуваних даних, достовірності, відповідності виконаних процедур випробування, а також зручності у використанні.

Розроблена нова лабораторна робота для лабораторії діагностування електрообладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергетику». В редакції від 1 липня 2010 року.  
N 1388-VI

2. Закон України «Про енергозбереження». ( Відомості Верховної  
Ради України (ВВР), 2006, N 15, ст. 126 )

3. ДНАОП 0.00. – 1.32 – 01. Правила будови електроустановок.  
Електрообладнання спеціальних електроустановок. – К.: НТТ „Фірма Гранмн”,  
2001. – 117 с.

4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.  
Затверджено Наказом Міністерства палива та енергетики України за № 258 від  
25.07.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1143/13017 від  
25.10.2006.

5. Лут М.Г., Мірошник О.В., Трунова І.М. Основи технічної  
експлуатації енергетичного обладнання АЕС. Підручник для студентів ВНЗ.  
Харків, Факт, 2008. – 438 с.

