

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОВАЛЬСЬКОГО ЦЕХУ ШЛЯХОМ
ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ

ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ЗЕБ-24 мг

Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/ Андрій ФОКІН

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник _____/ Артем ЧЕРНЮК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Рецензент _____/ Андрій МЕЗЕРЯ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ Ігор КИРИСОВ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Енергетична безпека

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

здобувачу вищої освіти Андрію ФОКІНУ

1. Тема «Підвищення рівня енергетичної безпеки системи електропостачання
ковальського цеху шляхом впровадження сучасних систем захисту
електрообладнання»

затверджена наказом по університету № 4801-5/3664 від «06» жовтня 2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «15» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Теоретичні та практичні розробки
вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, що відображені у
періодичних виданнях, наукових роботах, монографіях.

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ
КОМПЛЕКСНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОВАЛЬСЬКОГО ЦЕХУ,
ВИСНОВКИ

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2025 р.

Керівник

(підпис)

Артем ЧЕРНЮК

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Андрій ФОКІН

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/ п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	12.10.25 – 15.10.25	
2	Проведення аналізу наукової літератури	16.10.25 – 23.10.25	
3	Виконання першого розділу магістерської кваліфікаційної роботи	24.10.25– 01.11.25	
4	Виконання другого та третього розділу магістерської кваліфікаційної роботи	02.11.25 – 26.11.25	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.25 – 07.12.25	
6	Підготовка доповіді, презентації до захисту	08.12.25- 15.12.25	

Студент (ка)

(підпис)

Андрій ФОКІН

(ім'я, прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

1.1. Підвищення захисних властивостей електрообладнання в шафах низьковольтної комплектної трансформаторної підстанції

1.2. Аналіз методів захисту від перенапруг, що використовуються для електричного обладнання

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ

2.1. Складання структурної схеми комплексного електропостачання об'єкту

2.2. Характеристика об'єкту проектування та формування основних параметрів його електрозабезпечення

2.3. Характеристика мікроклімату приміщень ковальського цеху за умовами електрозабезпечення

2.4. Проектування електрозабезпечення об'єкту

2.5. Проектування сонячної фотоелектричної електростанції

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ПАРАЛЕЛЬНИМ ПІДКЛЮЧЕННЯМ ДО МЕРЕЖІ

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – 82; рисунків – 10; таблиць – 14;
літературних джерел – 63.

В роботі проведено аналіз існуючої системи електропостачання ковальського цеху, виконано дослідження режимів роботи електричних мереж та основних електроприймачів, визначено особливості технологічного процесу й вимоги до надійності електропостачання. Розглянуто основні фактори, що впливають на рівень енергетичної безпеки промислового підприємства, зокрема аварійні режими роботи, короткі замикання, перевантаження та порушення якості електроенергії.

У процесі виконання роботи здійснено розрахунок електричних навантажень, вибір та обґрунтування параметрів силового електрообладнання, проведено аналіз існуючих засобів релейного захисту та автоматики. Запропоновано впровадження сучасних мікропроцесорних систем захисту електрообладнання, які забезпечують підвищення надійності, селективності та швидкодії захисту, а також сприяють зниженню ризику виникнення аварійних ситуацій і скороченню часу простою технологічного обладнання.

Виконано оцінку техніко-економічної ефективності запропонованих заходів та визначено очікуваний економічний ефект від їх впровадження. Доведено, що використання сучасних цифрових пристроїв релейного захисту дозволяє підвищити рівень енергетичної безпеки системи електропостачання ковальського цеху, забезпечити безперервність виробничого процесу та зменшити експлуатаційні витрати.

ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ,
КОВАЛЬСЬКИЙ ЦЕХ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ
ЗАХИСТ, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ,
АВТОМАТИЗАЦІЯ, НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ABSTRACT

Text pages – 82; drawings – 10; tables – 14; literary sources - 63.

In the work, an analysis of the existing power supply system of the blacksmith shop was carried out, a study of the operating modes of electrical networks and main electrical receivers was carried out, the peculiarities of the technological process and requirements for the reliability of power supply were determined. The main factors affecting the level of energy security of an industrial enterprise are considered, in particular emergency modes of operation, short circuits, overloads and violations of electricity quality.

In the process of performing the work, the calculation of electrical loads, the selection and substantiation of the parameters of power electrical equipment was carried out, and the analysis of existing means of relay protection and automation was carried out. The introduction of modern microprocessor systems for the protection of electrical equipment is proposed, which ensure an increase in the reliability, selectivity and speed of protection, as well as contribute to reducing the risk of emergency situations and reducing the downtime of technological equipment.

An assessment of the technical and economic efficiency of the proposed measures was carried out and the expected economic effect of their implementation was determined. It has been proven that the use of modern digital relay protection devices allows to increase the level of energy security of the power supply system of the blacksmith shop, ensure the continuity of the production process and reduce operating costs.

ENERGY SECURITY, POWER SUPPLY SYSTEM, BLACKSMITH SHOP, RELAY PROTECTION, MICROPROCESSOR PROTECTION, ELECTRICAL EQUIPMENT, SHORT CIRCUIT, AUTOMATION, RELIABILITY OF POWER SUPPLY, ENERGY EFFICIENCY

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

1.1. Підвищення захисних властивостей електрообладнання в шафах низьковольтної комплектної трансформаторної підстанції

Безперебійна робота електроустаткування можлива лише за наявності захисних пристроїв, які реагують на порушення нормальної роботи електроустановок і своєчасно відключають пошкоджені елементи від непошкоджених. Для цих цілей служать автоматичні вимикачі, які широко застосовуються як в міських електромережах, так і в електроустановках промислових підприємств. Висока чутливість автоматичних вимикачів дозволяє виявляти аварійні режими на ранній стадії виникнення, обмежуючи до мінімуму аварійні струмові, термічні, електродинамічні та інші небажані види впливу. Це забезпечує цілісність енергосистеми, мінімізує наслідки аварії – недопустимі простої електрообладнання, порушення технологічного циклу тощо. Підвищення надійності захисту електричних мереж 0,4 кВ вважається актуальною проблемою у зв'язку з тим, що автоматичні вимикачі, що працюють і встановлені в існуючих мережах, у більшості випадків не відповідають вимогам сучасні вимоги до надійності як за кількістю реалізованих захистів, так і за показниками безвідмовності. Розширення захисних функцій і підвищення надійності можливе завдяки новим перспективним технологіям, до яких відносяться мікропроцесорні пристрої, що використовуються для розширеного аналізу аварійних процесів під час розподілу потужності атомної електростанції (АЕС) по основних потоках електроенергії енергосистем країни [1] – [3]. Такий аналіз дозволяє переходити від простих критеріїв спрацьовування захисту, таких як миттєве значення струму, до більш складних інтегрованих критеріїв, які поєднують декілька параметрів електричного кола: коефіцієнт потужності, асиметрія та нелінійні спотворення фазних струмів, типу струму збудження тощо.

Інтегровані критерії, створені в режимі реального часу, дозволяють своєчасно ідентифікувати тип аварійної ситуації та визначити алгоритм роботи захисту. Для електрообладнання АЕС загалом і, зокрема, для допоміжних електроустановок підстанцій (АЕІ) напругою 0,4 кВ найбільш актуальним є підвищення показників надійності захисту і, за рахунок цього, зниження ймовірності виникнення пожежі в таких установках, що, у свою чергу, призводить до прийняття більш жорстких вимог до систем їх захисту [4]–[6]. Елементи електроустановки (такі як кабелі та шини) повинні бути захищені у разі виходу з ладу автоматичного вимикача, до вихідних клем якого вони підключені. Для реалізації цієї вимоги, що називається «надлишковістю великої дії», необхідно, щоб чутливість до струму короткого замикання (SCC) передніх вимикачів була достатньо високою. Це означає, що в існуючій та діючій системі «ступінчастого» селективного захисту всі елементи електроустановки повинні бути термостабільними з більшим часом спрацьовування захисту, ніж розраховано при проєктуванні, а саме з часом спрацьовування селективного вимикача вище.

Суть далекого резервування (LRR) полягає в тому, що при виході з ладу будь-якого вимикача резервний захист аварійної ділянки електричного кола здійснюється автоматичним вимикачем, розташованим на вищому ступені захисту [7]. Надійність захисту ділянки електричної мережі визначається ймовірністю безвідмовної роботи вимикача, що захищає цю ділянку. Гарантоване виробником значення 0,95 ймовірності безвідмовної роботи КБ при виконанні захисних функцій не відповідає сучасним вимогам. Тому важливим напрямком підвищення надійності є перехід на захист не одним, а системою з двох пристроїв. Відповідно до [8], при ймовірності безвідмовної роботи кожного пристрою, що дорівнює 0,95, ймовірність безвідмовної роботи системи захисту двох таких пристроїв становить 0,9975. Таким чином, при реалізації LR істотно знижується ймовірність збоїв захисту. Для забезпечення такого високого показника надійності необхідно забезпечити близький час спрацьовування верхнього і нижнього ступенів захисту. Це

означає, що на всіх ступенях захисту автоматичні вимикачі повинні мати однакову чутливість до струмів короткого замикання, особливо виносних. При ступінчастому принципі вибіркового захисту час спрацьовування селективного автоматичного вимикача, встановленого ближче до джерела, може бути неприйнятно довшим, ніж час спрацьовування автоматичного вимикача, встановленого ближче до навантаження. У зв'язку з цим вимога до високої швидкості спрацьовування селективного захисту, необхідна для підвищення рівня пожежної безпеки електроустановок і надійності струмового захисту, важко виконати. Час спрацьовування переднього пристрою, як правило, вдвічі і більше разів більше, ніж вихідного, що вийшов з ладу. Тобто через обмежені можливості підвищення чутливості до дистанційних струмів короткого замикання існуючого обладнання не досягнуто зменшення часу спрацьовування захисту при реалізації режиму «міжміського резервування». Час-амперна характеристика системи загального селективного захисту не змінилася. Продовжують існувати елементи електроустановки, які відчують критичне теплове навантаження в аварійному режимі. Таким чином, існуюча система захисту не забезпечує повною мірою надійний захист електроустановок ПС 0,4 кВ власних потреб через впровадження «міжміського резервування». У зв'язку з цим актуальним є подальше вдосконалення системи релейного струмового захисту в частині підвищення чутливості до дистанційних струмів короткого замикання.

Необхідність підвищення надійності електроустановок з найбільш проблемними шинами в частині надійного забезпечення «дальнього резервування» релейного струмового захисту доречно ілюструє фрагмент узагальненої принципової схеми електроустановки власних потреб 0,4 кВ одного енергоблока АЕС (рис. 1). Тут є кілька ділянок розгалужених електричних кіл з різною кількістю ступенів захисту між джерелом і приймачем електроенергії. Найбільша кількість ступенів захисту в схемах з шафами релейного струмового захисту обладнання (РЗУ), де на 1 ступені (І)

після джерела струму з реле активної потужності (АРЗ), мікропроцесорним струмовим захистом (МЗЗ) і силовим трансформатором (ПЗ) 6/0,4 кВ встановлено автоматичний вимикач «Електрон», на 2 ступені (II) – ланцюг АЗ790С. вимикачів, на 3 ступені (III) – вимикачі ВА55А31, а на останній 4 (IV) (найнижчій) ступені – АП-50Б. Кожен ступінь має параметри струму спрацьовування вимикача I_r , уставки струму I_{sd} , дистанційного струму короткого замикання або резерву I'_{sd} , параметри витримки часу на відключення в умовах селективності dt , струми короткого замикання I_{sc} . На схемі також наведено мікропроцесорні пристрої захисту (МЗЗ) з датчиками струму (ДС), пускові струми двигунів I_{st} та розміри перерізу кабельних ліній S .

При такій багатоступеневій системі захисту кожен з автоматичних вимикачів, встановлених на вищому ступені, повинен забезпечувати, з одного боку, вибірковість роботи з пристроєм, а з іншого боку, резервування можливої відмови наступного автоматичного вимикача. Перелічені вимоги багато в чому суперечливі, що суттєво ускладнює реалізацію режиму «дальнього резервування» та не дозволяє повноцінно підвищити надійність захисту. Проаналізуємо, які проблеми, викликані недосконалістю захисних характеристик існуючих пристроїв, ще потребують вирішення. Як видно зі схеми (рис. 1.1), ділянки ланцюгів за Автоматичні вимикачі АЗ790С і АП50Б (II і III ступенів) у разі їх виходу з ладу будуть незахищеними (заштриховані ділянки збірної шини). Це зумовлює необхідність підвищення чутливості до дистанційних струмів короткого замикання при реалізації режиму «дальнього резервування» вимикачів I і III ступенів захисту («Електрон» і ВА55А31 відповідно). Для підвищення чутливості автоматичного вимикача «Електрон» I ступеня до струмів КЗ, на відміну від близького за величиною пускового струму електродвигуна (ЕМ), в якості критерію виявлення КЗ використовується значення коефіцієнта потужності кола $\cos\varphi$. Як відомо, при короткому замиканні на протяжній кабельній лінії значення $\cos\varphi$ становить $0,6 \div 0,7$, тоді як при розгоні електродвигуна значення $\cos\varphi$ становить $0,2 \div$

0,3[8] –[9]. Однак, у зв'язку з тим, що вузли розчіплювачів існуючих автоматичних вимикачів, у тому числі приладу «Електрон», не мають функції визначення величини $\cos \varphi$ захищається кола, чутливість автоматичного вимикача першого ступеня захисту підвищується за допомогою релейної апаратури на стороні високовольтних кіл, яка включає максимально струмовий захист (МСЗ) з двома настройками струму (рис. 1.1). У цьому випадку спрацювання нижнього значення струму установки відбувається тільки від струму, який визначається значенням активної потужності. Недосконалість такого технічного рішення для підвищення чутливості до струмів короткого замикання полягає в тому, що високовольтне обладнання можна використовувати лише для першого ступеня захисту, контролюючи струм на високому боці трансформатора. Використовувати таке релейне обладнання для вимикачів третього ступеня неможливо. Але якби таке технічне рішення було можливе в аналогічному пристрої на 0,4 кВ, то з'явився б ще один недолік – недостатня швидкодія захисту. Дійсно, точне визначення $\cos \varphi$ за кутом зсуву між струмом і напругою у фазі можливе лише після закінчення перехідного процесу, через $60 \div 80$ мс. Однак такий час спрацювання захисту є неприйнятним при реалізації швидкодіючого вибіркового захисту. Для вирішення цієї проблеми запропоновано альтернативний варіант – при виході з ладу вимикачів АП-50Б для захисту кабелів 1,5 мм² і 2,5 мм² при протіканні по ним аварійного струму підвищена чутливість струмового захисту в зоні перевантаження у вимикачах ВА55А31.

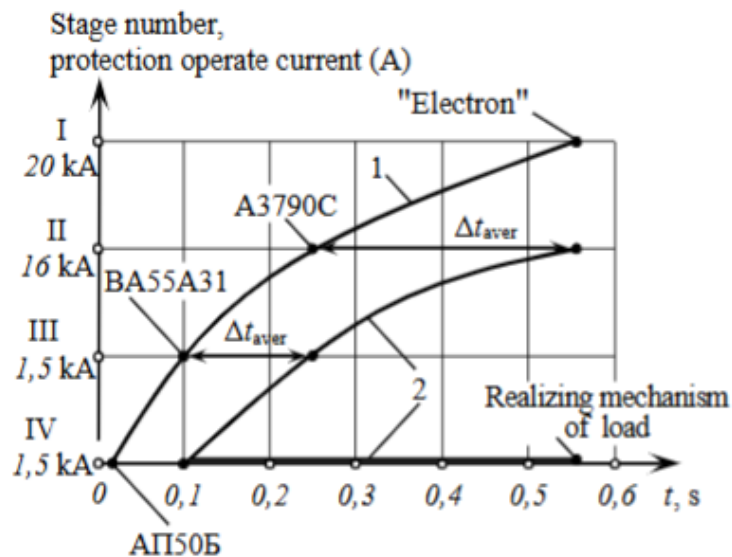
Дане технічне рішення дозволяє сформувати захисну час-амперну характеристику зони перевантаження за формулою 25×4 А замість раніше використовуваної $26 \cdot A$, що в режимі «міжміського резервування» забезпечить термостійкість кабелів, розташованих за вимикачами АП-50Б [10] – [12]. Однак при «дуговому» короткому замиканні (90% усіх коротких замикань «дугові») в режимі «міжміського резервування» час горіння дуги значно збільшується з 25 мс до 550 мс. Таке рішення захисту від

дистанційних КЗ не можна вважати технічно вичерпним, а скоріше вимушеним, через відсутність відповідних засобів захисту, в яких реалізується підвищена чутливість в зоні КЗ за рахунок ідентифікації типу перевантаження по струму. Ще однією проблемою, яка знижує ефективність «дальнього резервування», є недостатній час спрацьовування «крокової» селективності, коли технічно неправильна ВАХ формується вся система захисту. Некоректність полягає в тому, що чим ближче ступінь захисту до джерела струму (тобто чим більший струм короткого замикання), тим більше час спрацьовування захисту на цьому ступені (рис. 1.2а). Крива 1 (рис. 1.2а) відображає час-амперну характеристику селективного захисту «ступінчатий», що складається з 4 ступенів, для випадку, коли всі пристрої захисту працюють у штатному режимі (без збоїв). На IV ступені захисту, де струм короткого замикання не більше 1,5 кА, час спрацьовування становить близько 15 мс, а на першому ступені, де аварійний струм становить 20 кА, час спрацьовування значно більше – $550 \div 700$ мс. При таких тривалих спрацюваннях захисту елементи електроустановки, особливо на першому ступені захисту, відчують значні термічні та динамічні навантаження [10] – [11]. Проте ще більші теплові навантаження відчують шини та кабелі, коли захист працює в режимі «міжміського резервування», коли у разі відмови нижнього пристрою захист забезпечується верхнім автоматичним вимикачем. Крива 2 відображає час-амперну характеристику захисту в режимі «міжміського резервування» (рис. 1.2а). У цьому режимі елементи електроустановки, в першу чергу кабелі перерізом $S \geq 95$ мм², захищені автоматичними вимикачами другого ступеня (рис. 1.1), відчують збільшення теплового навантаження від струму, що протікає по них, більш ніж у 2 рази. Час спрацьовування захисту на другому ступені збільшується до $\Delta t_{\text{top}} = 0,3$ с (від 0,25 с до 0,55 с), а на третьому ступені – до $\Delta t_{\text{top}} = 0,15$ с (від 0,1 с до 0,25 с) [10] – [12].

Зазначене збільшення часу спрацьовування II ступеня захисту при виході з ладу вимикача АЗ790С в шафах КППП (АКТП) і КРПЕ створює проблему

Рис. 1.1 Фрагмент узагальненої схеми електроустановки 0,4 кВ

Такі форсовані рішення використовуються у зв'язку з відсутністю обладнання, в якому можна реалізувати швидкодіючий вибірковий захист. Результати аналізу проблем із реалізацією режиму «дальнього резервування» показали, що для підвищення надійності системи РПЕ необхідно підвищити чутливість до дистанційних струмів короткого замикання. Застосовуваний в даний час спосіб підвищення чутливості є вимушеним, як з точки зору технічної реалізації, так і інструментального виконання. Низька чутливість і недостатня швидкодія спричиняють нестабільність роботи головної шини, а також IV ступеня через значні напрацювання захисних пристроїв для кабелів перерізом 1,5 мм² і 2,5 мм² в режимі резервування. При використанні «ступінчастого» вибіркового захисту час роботи захисту в режимі резервування є неприпустимо великим. Тому кабелі після автоматичних вимикачів АЗ790С в режимі резервування відчують критичні теплові навантаження[12].



a

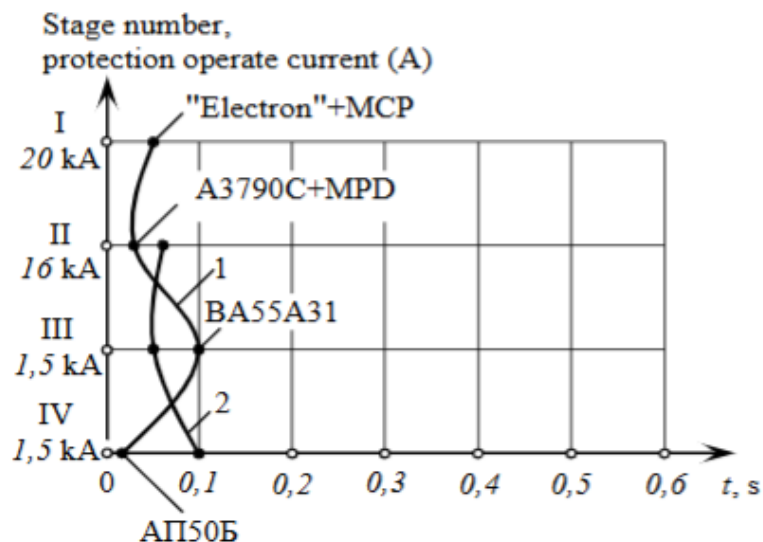


Рис. 1.2 Часо-струмова характеристика селективного захисту: а– «крокова» селективність до модернізації; б–після модернізації швидкодіюча інтегральна селективність; 1–атрибути кривої до стандартного режиму; 2 – крива відноситься до режиму «дальнього резервування».

Аналіз існуючих проблем реалізації «дальнього резервного» захисту в електроустановках ПС ПС 0,4 кВ АЕС показав: – через низьку чутливість до дистанційних струмів КЗ не забезпечується необхідна точність і надійність захисту ділянки електроустановки в кінці головної шини; – технічно не забезпечується; неправильні захисні характеристики існуючої «крокової» селективності призводять до того, що час спрацьовування захисту збільшується, чим ближче пристрій знаходиться до джерела струму, а

тепловий опір кабелів у кабельних відсіках не відповідає вимогам пожежної безпеки.

У даній роботі представлено науково-технічне рішення щодо модернізації систем релейного струмового захисту електроустановок 0,4 кВ з використанням цифрових технологій. Це рішення дозволить проводити глибокий аналіз процесів в електричних ланцюгах і реалізувати «дальнє резервування» шляхом побудови швидкодіючих селективних захистів і підвищення чутливості захистів до струмів короткого замикання. Внаслідок цього підвищиться надійність захисту електроустановок.

Чутливість пристроїв захисту до струмів КЗ можна підвищити шляхом регулювання пускових струмів потужних асинхронних електродвигунів, значення яких можуть перевищувати значення дистанційного КЗ. течії. Для цього необхідно своєчасно визначити вид струму перешкоди, чи це дистанційний струм короткого замикання в кінці лінії, що захищається, чи пусковий струм електродвигуна сусіднього фідера. В алгоритмі роботи розчіплювача автоматичного вимикача необхідно додати додаткову настройку 'sdI до існуючої настройки струму зони КЗ sdI, яка вибирається виходячи зі значення постійного пускового струму ЕМ, яке менше sdI і відповідає очікуваному струму дистанційного КЗ. Нижнє значення має бути заблоковано під час ЕМ-запусків і активовано під час дистанційного короткого замикання. Струм короткого замикання в будь-якій фазі буде найбільшим, якщо коротке замикання відбувається в момент, коли фазна ЕРС проходить через нуль. Для цього випадку зміна фазного струму з часом описується рівнянням:

$$i = I_m [\sin (\omega t + \psi - \varphi) + \sin (\varphi - \psi) \cdot e^{-t/\tau}]$$

де mI — значення амплітуди періодичної складової струму короткого замикання у фазі; $\varphi = \arctg (\omega L / R)$ – кут зсуву, на який періодична складова

фазного струму відстає від фазної ЕРС; L, R – індуктивність та активний опір фази; $\tau = \tan \varphi / \omega = \sin \varphi / (\omega \cdot \cos \varphi) L / R$ – постійна часу електричного кола; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – кутова частота мережі; f – робоча частота мережі; ψ – момент виникнення короткого замикання. Характер зміни в часі сили струму в будь-якій фазі електричного кола істотно залежить від такого випадкового фактора, як момент виникнення струму збурення, що характеризується кутом ψ . Тому неможливо проаналізувати характер перехідного процесу збурення електричного кола за миттєвими значеннями струму $j(a, b, c)$ в кожній фазі a, b, c , отриманими від датчиків струму ДТ (рис.1). Використано функцію потужності електричного кола $S(t)$, яка характеризує сумарні електродинамічні сили в системі трифазного струму і представляє собою залежність від часу суми квадратів миттєвих значень всіх трьох фазних струмів [8].

$$S(t) = \sum i_j^2 = i_a^2(t) + i_b^2(t) + i_c^2(t),$$

де j_i – миттєве (дискретне) значення струму; $() + () ()$ $a b c i t i t i t$ – миттєві значення струмів у фазах a, b, c відповідно

$$i_a = I_m \left[\sin \left(\omega t + \psi - \varphi + \frac{2}{3} \cdot \pi \right) - \sin \left(\psi - \varphi + \frac{2}{3} \cdot \pi \right) \cdot e^{-t/\tau} \right];$$

$$i_b = I_m \left[\sin (\omega t + \psi - \varphi) - \sin (\psi - \varphi) \cdot e^{-t/\tau} \right];$$

$$i_c = I_m \left[\sin \left(\omega t + \psi - \varphi - \frac{2}{3} \cdot \pi \right) - \sin \left(\psi - \varphi - \frac{2}{3} \cdot \pi \right) \cdot e^{-t/\tau} \right];$$

де ψ – початковий кут ЕРС у фазі b (момент виникнення струму збурення). Після підстановки рівнянь (3)-(5) у (2) і перетворення отриманого виразу рівняння для силової функції набуває вигляду:

$$S(t) = 3I_{ph}^2 \left[1 - 2e^{-\frac{1}{\tau}} \cdot \cos \omega t + e^{-\frac{2t}{\tau}} \right]$$

де I_{ph} – ефективне значення періодичної складової струму. З рівняння (6) випливає, що характер зміни в часі функції $S(t)$ у перехідному режимі виникнення струму збурення електричного кола не залежить від кута ψ , але суттєво залежить від коефіцієнта потужності $\cos \varphi$. Рис. 1.3 наведено сімейство кривих функції потужності, побудованих за рівнянням (6) для випадків трифазного збурення електричного кола з різним $\cos \varphi$, але однаковим значенням I_{ph} , що дорівнює 1. Чим менше $\cos \varphi$ електричного кола, тим більше значення $S(t)$ функції в першому періоді перехідного режиму. Таким чином, розраховуючи в режимі реального часу максимальне S_{min} і мінімальне S_{max} значення функції потужності в перший період виникнення збурення в електричному ланцюзі, можна швидко визначити $\cos \varphi$ і ідентифікувати тип струму збурення. У [13] ідентифікація струму збурення базується саме на аналізі функції $S(t)$. Вибірковий захист забезпечується спрацьовуванням автоматичних вимикачів від інтегральних налаштувань Q_d . У цьому випадку обчислення інтегралів $\int_a^b S(t) dt$ від квадратів струмів збурень $2j(a, b, c)$ починається після активації параметра I_{sd} .

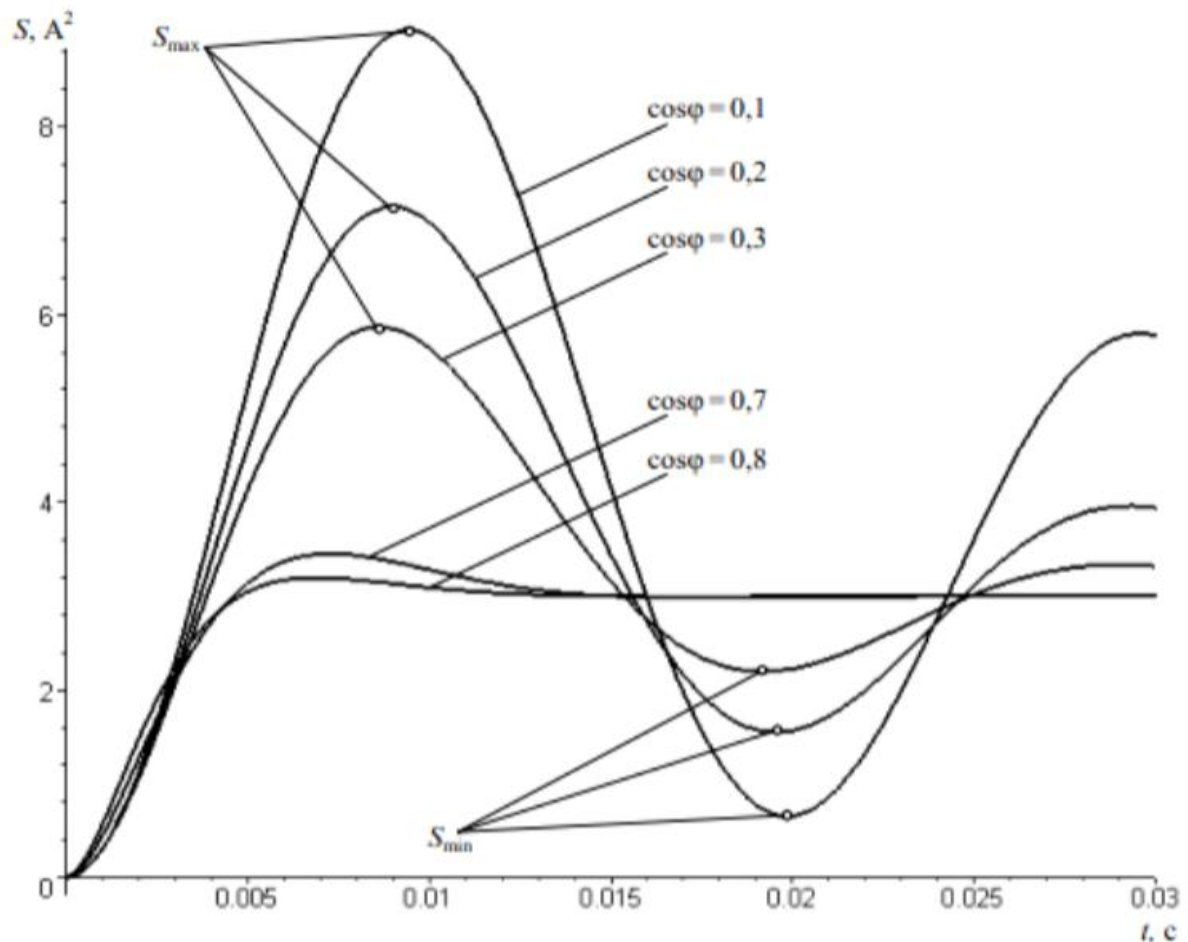


Рис. 1.3 Час-струмова характеристика селективного кола

Коли електричне коло знаходиться під навантаженням, струм збурення – це не загальне значення струму в фазі I_{ph} , а приріст струму I_{ph} , що визначається як різниця між загальним струмом I_{ph} у фазі, зафіксованим датчиками, і попереднім струмом I_{pr} , який протікав в електричному колі (навантаженні) до появи струму збурення:

$$\Delta I_{ph} = I_{ph} - I_{pr}$$

Розрахунок значення I_{ph} здійснюється за допомогою функції $S(t)$, характер зміни якої, як уже зазначалося, не залежить від ψ , але суттєво залежить від значення $\cos \varphi$ та складової I_{ph} . Якщо підставити в рівняння (2) миттєві дискретні значення струмів збурення $\Delta j(a, b, c)$ і, то можна швидко визначити значення I_{ph} . Тому в комплексний критерій спрацьовування

захисту вводиться значення струму збурення I_{ph} , що дозволяє за рахунок можливості відстроювання струмів перевантаження значно підвищити чутливість захисту до дистанційних коротких замикань, а також швидко визначення виду струму збурення електричного кола (повторне дистанційне замикання чи пуск ЕМ) дозволяє підвищити швидкість захисту на вищих ступенях. Вимірювання миттєвих значень струму $j(a,b,c)_i$ в кожній фазі електричного кола та їх аналого-цифрове перетворення здійснюється через однакові інтервали часу Δt . Зі зсувом інтервалу часу на Δt проводиться розрахунок миттєвих значень струмів збурення $\Delta j(a,b,c)$.

$$\Delta i_{j(a,b,c)} = i_{j(a,b,c)T_1} - i_{j(a,b,c)T_0}$$

де i_{jT_1} – миттєві значення струму кожної фази електричного кола за період зміни струму $1T_0$; i_{jT_0} – миттєві значення струму в попередньому періоді зміни струму $0T_0$ (попередній струм). Розрахунок інтегралів $\int_0^T i_{j(a,b,c)}^2 dt$ від квадратів миттєвих значень приросту в кожній фазі виконується за формулою:

$$Q_{(a,b,c)} = \int_0^T \Delta i_{j(a,b,c)}^2 dt = \sum_0^T \Delta i_{j(a,b,c)}^2 \Delta t$$

Значення $Q_{(a,b,c)}$ порівнюється зі значенням інтегрального налаштування Q_{sd} блоку розчеплення автоматичного вимикача. Момент часу, що відповідає $Q_{(a,b,c)} \geq Q_{sd}$ використовується для формування затримки спрацьовування інтегрального селективного захисту Q_t . Розрахунок інтегралів $\int_0^T i_{j(a,b,c)}^2 dt$ починається з моменту часу, коли миттєве значення струму збурення $\Delta j(a,b,c)_i$ в одній із фаз стає більшим за значення I_{sd}^2 , де I_{sd} – значення уставки струму, вибраного з урахуванням захисту від дистанційного короткого замикання. Якщо струм збурення є трифазним, то сумарний інтеграл усіх трьох фаз за період зміни струму дорівнює:

$$Q_{\Sigma} = \sum_0^T Q_{(a,b,c)}$$

Діленням значення ΣQ на максимальне значення $\max S$ суми квадратів миттєвих значень струмів $\Delta j(a,b,c)i(2)$ визначається час

$$t_{sm} = Q_{\Sigma} / S_{max}$$

Значення S_{mtis} використовується для визначення значення коефіцієнта потужності $\cos\phi$ електричного кола. Час S_m - це час, протягом якого еквівалентний тепловий ефект струмів збурення, сума квадратів якого дорівнює $\max S$, дорівнює дійсному тепловому ефекту струмів збурення за період зміни струму. Тобто це час еквівалентного теплового впливу на мережу максимальної суми квадратів струмів усіх трьох фаз, який залежить від значення $\cos\phi$. Математично час S_m визначається з рівнянням:

$$\int_0^T S \left[\Delta i_{j(a,b,c)}^2(t) \right] = \int_0^{t_{sm}} S_{max}$$

При $\cos\phi = 0,3$, типовому для ЕМ запуску, та $\cos\phi=0,7$, типовому для дистанційного короткого замикання, $smtval$ -ues істотно відрізняються один від одного (12,2 мс і 16,4 мс відповідно), що вказує на важливість $smttime$ для достовірного визначення значення $\cos \phi$ [13]. Таким чином, аналізуючи функцію $S(t)$ в першому періоді виникнення струму збурення, можна швидко ідентифікувати тип надструму та настроїти пускові струми ЕМ. Залежність коефіцієнта потужності $\cos\phi$ від часу sm також використовується для визначення значення I_{ph} з формули

$$S_{max} = 3\Delta I_{ph}^2 \cdot K_{sh}^2$$

де K_{sh} – коефіцієнт ударності струму короткого замикання в електричному колі, величина якого визначається відомою залежністю $\frac{shK_f L}{R}$ [8, 14]. Тут він розрахований емпіричним шляхом.

$$\Delta I_{ph} = \sqrt{\frac{S_{max}}{3 \cdot K_{sh}}}$$

Необхідна корекція такого можливого фактора, як струм перевантаження в суміжних фідерах, збільшення фазного струму захисного пристрою, здійснюється за рахунок швидкого безперервного контролю значення I_{ph} , коли значення I_{ph} в пам'яті мікропроцесора оновлюється з кожним періодом зміни струму. Струм навантаження сукупності споживачів, підключених до лінії, що захищається, не може бути більше робочого струму підводки I . Це означає, що струм збурення електричного кола, викликаний підключенням одного споживача, також не може бути більшим за I . Оскільки ймовірність одночасного підключення кількох споживачів до лінії протягом інтервалу часу $T=20$ мс надзвичайно мала [15], то в зоні струму КЗ не реагує на струми перевантаження. Тобто використання I_{ph} струму як одного з критеріїв спрацьовування струмового захисту усуває негативний вплив раніше існуючих струмів навантаження на точність спрацьовування захисту. Визначення значення $\cos\phi$, а потім значення I_{ph} базується на аналізі інтегралів (9). Тому розрахунок інтегралів $Q(a, b, c)$ виконується до визначення значення I_{ph} , а саме в момент, коли миттєве значення струму $\Delta j(a, b, c)$ в одній із фаз стає більшим за значення I'_{sd2} . Це дозволяє забезпечити час спрацьовування інтегрального виборчого захисту менше 20 мс, тобто збільшити швидкість спрацьовування захисту порівняно з [14]. Використання комплексного критерію спрацьовування захисту, що поєднує декілька параметрів, дозволяє спростити алгоритм роботи мікропроцесорного розчіплювача при реалізації швидкодіючого струмового захисту з високою чутливістю до дистанційних струмів короткого замикання, оскільки розрахунок інтегралів (9) одночасно використовується як для реалізації

інтегрального селективного захисту, так і для захисту від дистанційного короткого замикання. Таким чином, MPD автоматичного вимикача формує більш досконалу часо-струмову характеристику захисту, показану на рис. 1.4. Для вирішення вищевказаних проблем захисту 0,4 кВ електроустановок було розроблено мікропроцесорні пристрої захисту з покращеними захисними характеристиками:—покращений захист, заснований на вибірковому підвищенні чутливості до дистанційного короткого замикання. струми;—швидкісний інтегральний селективний захист, при реалізації якого час спрацьовування захисту верхніх (ближчих до джерела) ступенів захисту може зменшуватися або залишатися на рівні, необхідному для захисту нижніх ступенів захисту (далі від джерела).

Суть цих рішень полягає в надійній, незалежно від моменту виникнення струму перешкоди в електричному ланцюзі, і швидкій, протягом перших 10 мс, ідентифікації виду струму перешкоди (пуск електродвигунів, коротке замикання або короткочасне перевантаження), а також визначенні його ефективного значення [7], [12] – [13] він, у свою чергу, дозволяє правильно побудувати необхідний алгоритм реагування захисту:—миттєве відключення, якщо ефективне значення струму у фазі I_{ph} більше значення поточної настройки «відсічення» iI : I_{ph} —селективне відключення наступним пристроєм при виникненні струму короткого замикання, якщо поточне значення I_f більше налаштування чутливості I_{sd} : $I_{ph} I_{sd}$;— автоматичне підвищення уставки струму до значення I_{sd} , достатнього для надійного пуску та розгону електродвигуна.

Такий алгоритм, реалізований мікропроцесорним пристроєм, дозволяє значно покращити захисну часо-амперну характеристику кожного пристрою всіх ступенів захисту та всієї системи в цілому. Пристрої з новими захисними характеристиками можуть бути реалізовані як у вигляді електронних розчіплювачів автоматичних вимикачів, так і у вигляді окремих мікропроцесорних захисних пристроїв, які доцільно використовувати при модернізації існуючих

електроустановок, оскільки в цьому випадку повністю зберігається їх конструкція, а фінансові витрати на модернізацію суттєво зменшуються [12] – [14]. Рис. 1 показані мікропроцесорні пристрої захисту (ЗЗЗ), встановлені в окремі блоки біля вимикачів АЗ790С і «Електрон». Вихідні схеми МРД діють на незалежні електромагнітні розчіплювачі (ІЕРД) цих автоматичних вимикачів. Таким чином, принцип додавання відсутніх типів захисту, прийнятий для комутаторів Electron, пропонується застосувати і до комутаторів АЗ790С. На рис. 1.4 представлена захисна часо-амперна характеристика вимикача, що працює в комплексі з МУРЗ, отримана в результаті модернізації. Суцільні лінії показують захисні характеристики, створені самим пристроєм. Пунктирні лінії показують захисні характеристики, що ілюструють роботу МРД. Налаштування струму I_{sd} , вибране на основі умов запуску двигуна, доповнюється меншим значенням I_{sd} , що забезпечує високу чутливість до струмів короткого замикання. До модернізації перехід від зони перевантаження L до зони короткого замикання відбувався по траєкторії 2-3. У новому захисті цей перехід, залежно від причини несправності схеми, може відбуватися або по лінії 2-3 (параметр I_{sd}), або по траєкторії 2-7-8 (параметр I'_{sd}). Захист може спрацьовувати протягом часу, який визначається як умовною установкою часу s_d , так і «інтегральною» Q_{sd} , завдяки чому час спрацьовування при високих струмах короткого замикання значно скорочується. Це робить новий захист швидкодіючим і високочутливим до струмів короткого замикання. По осі абсцис захисна характеристика має два параметри: сумарний фазний струм I_{ph} , на значення якого реагує розчіплювач автоматичного вимикача в зоні перевантаження, і його приріст – струм збурення ланцюга I_{ph} , на значення якого реагує в зоні короткого замикання. Це підвищує надійність виявлення малих струмів короткого замикання, оскільки значення $\cos\phi$ визначається тільки для струму збурення ланцюга I_{ph} : пуск електродвигуна або короткого замикання, а не для загального струму I_{ph} , який може містити як реактивні пускові струми, так і малі активні струми короткого замикання або

короткочасного перевантаження. Секція 1-2 (рис. 1.4) захисту від струми перевантаження утворюються в існуючих розчіплювача автоматичних вимикачів. Тут час роботи t знаходиться в оберненій залежності від значення повного струму I_{ph} у фазі.

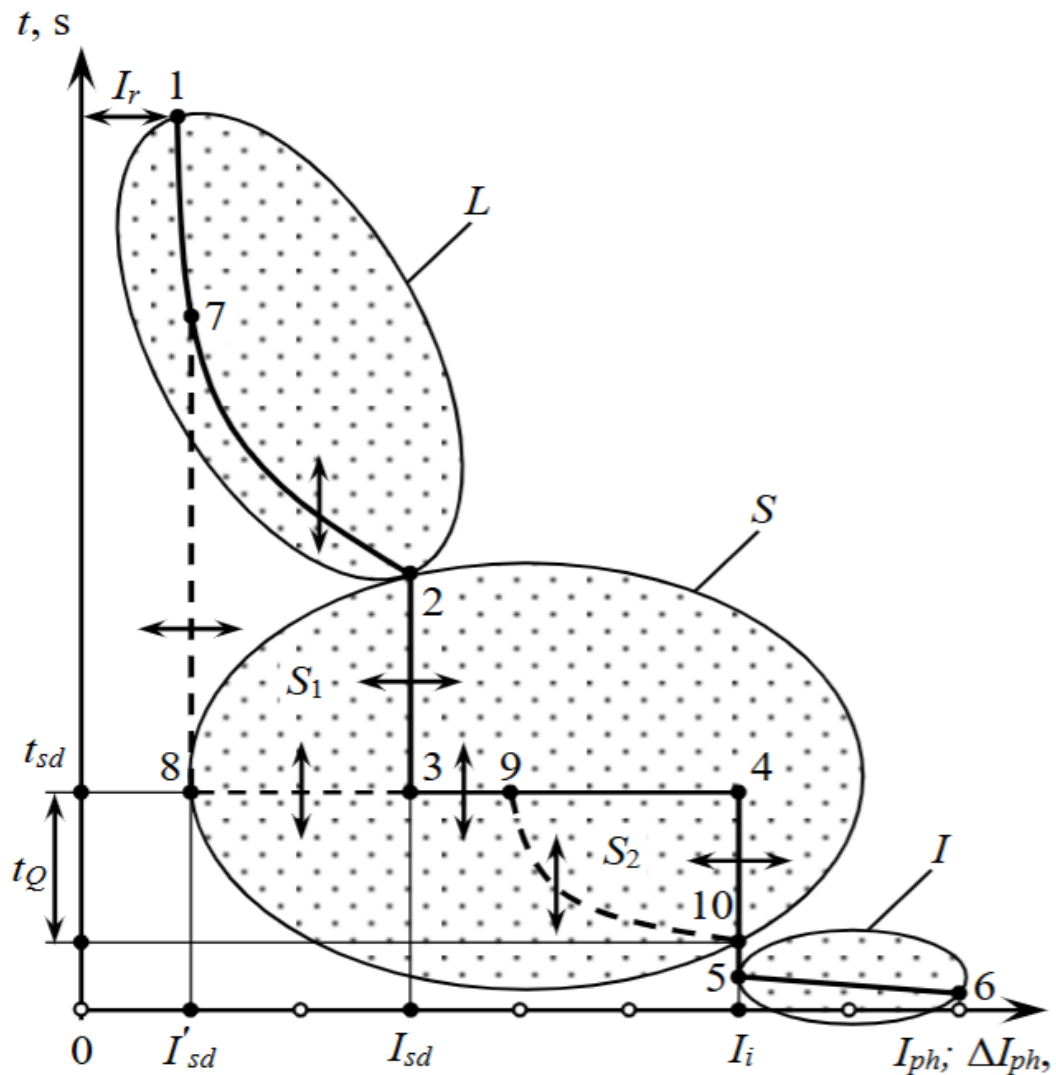


Рис. 1.4 Час-амперна захисна характеристика вимикача, що працює разом з МУРЗ після модернізації:

L —захист зони перевантаження; S —захист зони короткого замикання; S_1 —дистанційний захист від короткого замикання або резервний S_2 —швидкісний вбудований селективний захист; I —захист в зоні «відсічення».

MPD «налаштований» на струми перевантаження завдяки тому, що фазні струми phI являють собою суму струмів усіх споживачів, підключених

до лінії, і значення струму навантаження кожного з підключених споживачів не може бути більше робочого струму I_r лінії, що захищається. Отже, струм збурення I_{ph} електричного кола, викликаний підключенням одного споживача, також не може бути більшим за струм I_r . Імовірність одночасного підключення декількох споживачів до лінії протягом 20 мс дуже мала, а ПЗУ в зоні струму КЗ не реагує на струми перевантаження. Постійний моніторинг поточного I_{ph} забезпечує «обнулення» історії після кожного періоду зміни струму (кожні 20 мс). В результаті «регулювання», яким би не було значення загального струму, захист MPD не реагує на нього, коли він збільшується від точки 1 до точки 2 у зоні L (рис. 1.4). Перехід від зони перевантаження L до зони короткого замикання S в залежності від роду струму перешкоди I_{ph} здійснюється або по шляху 2-3 при I_{sp} I_{hd} з урахуванням гарантованого пуску і розгону електродвигуна, або по шляху 2-7-8 у разі «дальнього резерву» при дистанційному короткому замиканні. Якщо поточний I_{ph} ідентифікується як пусковий струм для електродвигуна, тоді настройка струмового захисту збільшується від дистанційного налаштування від короткого замикання ' sdI ' до значення sdI , вибраного на основі умов запуску та прискорення електродвигуна. Ділянка між струмом ' sdI ' і струмом iI , яка визначає налаштування "відсічення", формується часовим і інтегральним модулями MPD. Ці модулі формують час спрацьовування вибіркового захисту паралельно відповідно до двох різних залежностей. Час спрацьовування, який генерує модуль часу sdt $tconst$ не залежить від величини струму електричного кола, а час спрацьовування Qt , який генерує інтегральний модуль, обернено пропорційний величині ефективного значення струму, що протікає у фазі. Високошвидкісна інтегральна селективність забезпечується паралельною генерацією спрацьовувань. Якщо виникає малий струм короткого замикання ($\cos\varphi = 0,6 \div 0,7$), MPD працює навіть при струмі $sph'dII$, близькому за величиною до робочого струму rI пристрою (розділ 1-7 характеристики MPD). Час спрацьовування в цьому

випадку обмежений значенням фіксованої затримки $\text{constsd}t$ (траєкторія 8-4 або 9-4).

t значні струми короткого замикання, час спрацьовування t зменшується (траєкторія 9-10) за рахунок того, що інтегральна настройка Qsd , яка забезпечує селективність, враховує реакцію вимикача, розташованого нижче по ланцюгу. У цьому випадку інтеграл відключення електричного кола вищестоящим вимикачем виявляється значно меншим, ніж інтеграл такого ж відключення ланцюга нижнім перемикачем з фіксованою затримкою часу відключення. Іншими словами, якщо МРД має інтегральне налаштування sdQ , значення якого вибрано удвічі більшим за інтеграл відключення електричного кола наступним пристроєм, тоді час спрацьовування селективного захисту буде значно меншим, ніж очікувана затримка спрацьовування sdt . Зниження часу спрацьовування селективного захисту характеризується розділом 4-10. Зберігається селективність нижніх і верхніх пристроїв, а час селективної роботи значно коротший, ніж при селективності «кроковий час». Наприклад, із селективністю «крокового часу» налаштування часу спрацьовування переднього вимикача А3790С шафи РСРЕ має становити $0,2 \text{ ssd}(d) t$ з налаштуванням часу спрацьовування нижнього вимикача $BA55A310,1 \text{ ssd}(up) t$. Коли МРД працює, час спрацьовування автоматичного вимикача А3790С від інтегрального налаштування sdQ зменшується. Якщо інтеграл спрацьовування нижнього автоматичного вимикача ВА55А31 при максимальному струмі короткого замикання $1,5 \text{ кА}$ для місця його встановлення становить $25 \cdot 2(1,5 \text{ кА}) \times 0,1 \text{ с} = 2,25 \times 10 \text{ А} \times \text{ssd}(d) Q$, то з інтегральною настройкою верхнього вимикача $524,5 \times 10 \text{ А} \times \text{ssd}(up) Q$, час спрацьовування МУРЗ при струмі короткого замикання в місці установки автоматичного вимикача А3790С рівному 16 кА становитиме 6 мс . Час спрацьовування автоматичного вимикача А3790С на команду МРД з урахуванням власного часу спрацьовування механізму та тривалості процесу гасіння дуги становитиме не більше 20 мс , що на порядок менше налаштування селективності «кроку» $0,2 \text{ ssdt}$ від самого вимикача.

Якщо струм перешкоди phI перевищить значення відсічки I , то захист спрацює без навмисної затримки спрацьовування (траєкторія 10-5-6). Особливо слід зазначити, що технічна суть швидкодіючого інтегрального селективного захисту не обмежується введенням додаткової інтегральної уставки dQ , що дозволяє скоротити час спрацьовування захисту навіть при великих струмах короткого замикання. Для реалізації можливості скорочення часу спрацьовування захисту при високих струмах короткого замикання необхідно якнайшвидше і при цьому максимально точно визначати усталене значення струму збурення кола phI . Параметр dI , як відомо, задається діючим значенням струму, який можна визначити лише після закінчення перехідного процесу зміни струму збурення, через $40 \div 60$ мс. Щоб уникнути помилкового спрацьовування при реалізації інтегрального селективного захисту, розрахунок інтеграла від струму, що протікає через пристрій, слід починати тільки після того, як буде встановлено, що струм phI дійсно більше налаштувань dI . Але якщо для визначення ефективного значення струму потрібно $40 \div 60$ мс, то такий захист можна вважати інтегральним, але не швидкодіючим. Тому в запропонованому інтегральному виборчому захисті завдяки використанню мікропроцесорної техніки ефективне значення струму визначається дуже швидко, у перші 10 мс після виникнення струмового збурення phI кола. При цьому висока точність визначення діючого значення стаціонарного струму задовго до закінчення перехідного процесу забезпечується технічним рішенням, яке дозволяє «відстроїтися» від такого випадкового параметра, що впливає на точність вимірювання струму phI , як фаза виникнення струму збурення [6] – [8]. На рис. 1.26 наведено час-струмові захисні характеристики системи захисту власних електричних кіл підстанції 0,4 кВ після модернізації в штатному безвідмовному режимі (крива 1) та в режимі «дальнього резервування» (крива 2). З наведених залежностей часу спрацьовування захисту від номера ступеня захисту, тобто $(\text{номер ступеня})^{tf}$, видно, що разом із підвищенням чутливості захисту до струмів короткого замикання зберігається висока швидкість спрацьовування

пристроїв захисту в режимі «дальнього резервування». Час спрацьовування захисту в режимі «дальнього резервування» при виході з ладу автоматичного вимикача АЗ790С становить $50 \div 60$ мс, що на порядок менше, ніж при «ступінчастому» вибіркового захисті.

Завдяки значному збільшенню захисту, швидкості спрацьовування значно зменшуються термічні удари по елементах електроустановки в шафах АКТС і РПЕ. Також істотно знижується руйнівна дія (деформація від результуючого тиску) енергії дуги на стінки шаф при «дуговому» короткому замиканні. Слід визнати, що можливий і інший формат модернізації, зумовлений необхідністю продовження терміну служби існуючої системи захисту. Альтернативна технологія модернізації передбачає аудит існуючого стану окремих вузлів і елементів засобів захисту. За результатами такої ревізії приймається рішення про необхідність заміни приладу на новий або про відсутність такої потреби. Використання ПЗУ для модернізації системи захисту дозволяє уникнути заміни автоматичних вимикачів. Для цього список захистів МРД необхідно доповнити тими видами захисту, які є в автоматичних вимикачах АЗ790С. Це означає, що перевірений приклад подібного використання автоматичних вимикачів Electron можна поширити на АЗ790Сones. Очевидно, що часові та фінансові витрати на модернізацію електроустановок 0,4 кВ системи захисту власних потреб АЕС з метою продовження терміну служби при такому підході будуть мінімізовані порівняно з третім варіантом такої модернізації шляхом заміни існуючих автоматичних вимикачів на автоматичні вимикачі фірми Schneider Electric [17]. Забезпечення швидкодіючого, так званого «енергетичного» селективного захисту на основі автоматичних вимикачів Compact NS гарантується тільки при використанні спеціальних типів автоматичних вимикачів Schneider Electric на всіх нижчих і вищих рівнях захисту [18]. Це означає, що необхідно повністю замінити всю захисну конструкцію електроустановок на допоміжні. Очевидно, що фінансові та часові витрати на таку модернізацію будуть значними.

1.2. Аналіз методів захисту від перенапруг, що використовуються для електричного обладнання

Збереження тенденції мініатюризації в електронна промисловість за своєю суттю викликає збільшення чутливості до стрибків напруги та зусилля для захисту делікатного електронні компоненти. Останні покоління Інтегральні схеми мають лише кілька внутрішніх шарів товщина нанометрів; таким чином, відносно невеликі сплески можуть спричинити пошкодження або навіть повне знищення чутливі електронні компоненти. Крім того, в а мікропроцесорна електронна система, перенапруги можуть викликати скидання, тимчасові збої або пошкодження внутрішні дані. Тому чутлива електроніка повинна бути належним чином захищені від шкідливих стрибків напруги. за розміщення відповідного обмежувача перенапруг на вході

електронний пристрій, найкращий рівень захисту отримано [1]. Оптимальне рішення для перенапруги [22], [23] забезпечує економічне рішення для наступного вимоги [24], [25]: має обмежувати вхідну напругу до небезпечного рівня. Крім того, це повинно бути добре нижче межі струму для вибраного захисту компонент, він повинен бути досить швидким (відповідь час також має бути відповідним) і має бути місцезнаходження досить близько (особливо важливо для «швидкого перехідні процеси").

Елементи захисту від перенапруги можуть бути нелінійними (газзаповнені розрядники перенапруг, варистори та діоди від перенапруг) і лінійні (різні види електрофільтрів). В [25] фокус зосереджений лише на нелінійних компонентах. Дослідження в [26] складалося з кількох етапів, наприклад як збір даних, необхідних для 20 кВ розподільна мережа. Дані, необхідні для цього дослідження були: однолінійна схема, тип кабелю, лінія відстань, довжина лінії, опір кабелю, трансформатор паспортна табличка, потужність трансформатора та коротке замикання поточний. Пошкодження будівель блискавкою є природним явище розряду, що супроводжується блискавкою і грім [27]. Він має характеристики короткого часу, сильний

струм і висока напруга. Теплова, електрична і механічні сили, створені блискавкою часто призвести до людських і тваринних жертв і шкоди будівлі. Тому для захисту будівель від ударів блискавки, ми повинні спочатку зрозуміти типи ударів блискавки та прийняти цілеспрямований захист [28].

За рахунок використання мереж постійного струму та усунення до перетворення потужності (DC-AC), вся потужність архітектура розподілу здатна покращити систему ефективність [29]. Крім того, пропонуються мікромережі постійного струму такі значні переваги, як простота управління, збільшення потужності та зменшення кількості кабелів втрати [30] - [32].

Перенапруга (OV) є найбільш катастрофічною поломкою перетворювачів джерела струму (ПДС), оскільки напівпровідникові прилади навряд чи витримають перенапруга для короткого імпульсу. Один раз несправність OV станеться, напівпровідникові пристрої будуть пошкоджені коротким замиканням, що призвело до значної перевантаження по струму протікаючи через них. Зрештою, прилади спалюються у відкритому контурі [33].

У [34] на основі характеристик блискавки біжучі хвилі, новий захист від грозових перенапруг схема з використанням магнітних кілець (MP) для передачі були запропоновані лінійні системи (TLS).

У перетворювальній техніці в [35] пропонується ввести комутаційну схему захисту від перенапруги у складі полярного фільтруючого конденсатора, транзистора і двох ізоляційних діодів, призначених для підключити полярний конденсатор фільтра паралельно індуктивні елементи пристрою.

Пристрої захисту від перенапруг підключаються до постійного струму і кабелі змінного струму в фотоелектричних установках (PVI) захистити електронні компоненти від блискавки перехідні процеси. У [36] захист мікроінвертора від перехідні процеси блискавки були досліджені шляхом

моделювання використання систем автоматизованого проектування Power System (PSCAD) програмне забезпечення. Система захисту - це дуже важлива річ розвиватися в енергосистемі. Причина в тому, що система захисту є основною гарантією в збереження безперервності розподілу електроенергії послуг, а також для захисту компонентів і обладнання від перешкод або інших ненормальних подій [37].

В даний час різні багатокамерні розрядники (МКА) застосовуються для захисту повітряних ліній 6-20 кВ з ізолюваною нейтраллю проти індукованих стрибків напруги. Усі використовують а багатокамерна система (мкС) того ж типу [38]. Це складається з багатьох утворених мініатюрних камер між електродами у вигляді сталевих електродів в силіконовий гумовий профіль [39].

Через високу напругу в шині постійного струму мікроінвертор, необхідно реалізувати захист від перенапруги (OVP), щоб уникнути пошкодження силові ключі та перетворювальні конденсатори [40].

У [41] запропоновано підхід до оцінки ймовірність пошкодження ланцюгів і апаратури в живлення трансформатора високої/низької напруги (HV/LV) системи та наведені вказівки щодо визначення розміру сплеску захисний пристрій (УЗП), здатний захистити НН апарат проти грозових перенапруг з ймовірність. Аналізуються дві умови, тобто якщо система заземлення системи блискавкозахисту (LPS) можна вважати еквіпотенціальним або неактивним еквіпотенціальний.

Періодичні замикання на землю можуть спричинити перенапругу проблеми з незаземленим і заземленим з високим опором морські

електромережі. Для захисту необхідно вжити заходів, щоб уникнути поломок обладнання шляхом обмеження стрибків. У [22] перехідна перенапруга аналіз, викликаний періодичними замиканнями на землю в представлені необґрунтовані морські мережі. З електрична модель скрапленого природного газу (СПГ) носій, який вибрано для дослідження, перенапруги розраховується для різної тривалості несправності мережі конфігурації та розташування несправностей. Завдяки останнім часом зростає попит на електроенергію в усьому світі десятиліть, було необхідно збільшити потужність передачі електроенергії для досягнення цього високого рівня попиту. Ефективним рішенням є використання наявних системи транспортування енергії та їх модернізація збільшити їхню пропускну здатність електроенергії [23].

У першій частині статті подано декілька способи захисту від перенапруг і ударів блискавки електрообладнання. Він пояснює типи перенапруги, які можуть виникнути в електричних колах і що можна зробити для захисту електричних кіл від перенапруг за допомогою кількох методів їх зменшення перенапруги та підтримувати їх у визначених межах.

Друга частина статті представляє інше електричні пристрої, такі як струм блискавки та перенапруги розрядники, в яких їх особливості та переваги вказано, щоб користувачі знали, які з них є найкраще використовувати в певних ситуаціях. Папір також включає і практичні реалізації захисту методи в реальному електрообладнанні.

Методи захисту від перенапруги

У [5] запропоновано інноваційний підхід до отримання відповідні характеристики захисту нелінійних представлені елементи захисту від перенапруги. Щоб перевірити застосовність нового методу, ряд актуальних були проведені характерні вимірювання комерційні компоненти перенапруги. Пропонований метод має багато переваг перед звичайним використаний метод перевірки напруги постійного струму. Використання U-

тесту (тест перевірки гіпотези) порівняно з типовим статистичний тест (F-тест) має явну перевагу, оскільки значення, перевірені за допомогою U-тесту, не повинні належать розподілу Гауса. Зайве говорити, що характеристики нелінійних елементів захисту які належать до розподілу Гауса, зустрічаються дуже рідко.

Крім того, запропонований метод не має помилок пов'язані з типовими припущеннями, що імпульсна напруга лінійна і що змінна напруга пробною відноситься до гауссова розподіл. Експериментальна процедура повна автоматизований (контроль, секвенування і отримання даних), таким чином забезпечуючи ідентичні умови тестування для всіх мініатюрних компонентів захисту від перенапруги. Це слід також підкреслити, що знання точного характеристики захисту є істотними, оскільки узгодження ізоляції в системах низької напруги високо.

Періодичні замикання на землю можуть спричинити перенапругу проблеми з незаземленим і заземленим з високим опором морські електромережі. Захисна залежить від точного захисту характеристики кожного захисного компонента.

Існує три типи імпедансів послідовності: позитивний, негативний і нульовий опори. На основі вид однофазного замикання на землю, несправність струми зменшуються в міру відстані до місця пошкодження джерело збільшується, і на основі обох моделювання.

Висновки за розділом 1

У результаті модернізації системи автоматизації електроустановки підстанції 0,4 кВ за рахунок використання мікропроцесорних пристроїв з новими видами захисту суттєво зменшено час спрацьовування захистів на всіх ступенях, як у штатному режимі, так і в режимі «дальнього резервування», і, відповідно, значно зменшено теплові впливи на елементи електроустановки як від протікання струму короткого замикання, так і від дії електричної дуги; □ суттєво підвищено чутливість захисту до дистанційних струмів короткого замикання, що виключає як випадки можливого виходу з ладу захисту, так і його помилкового спрацьовування при певному сполученні параметрів струму перешкод; модернізація всієї системи захисту власних електроустановок ПС 0,4 кВ АЕС за рахунок використання ПЗУ повністю зберігає існуючу структуру системи захисту без заміни вимикачів усіх ступенів.

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОВАЛЬСЬКЛОГО ЦЕХУ З ДОДАТКОВИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ

2.1 Складання структурної схеми системи комплексного енергозабезпечення об'єкту

Складена в проєкті структурна схема наведена на рисунку 2.1

Система містить три джерела живлення (мережа, фотоелектрична електростанція, дизель - генератор) та засоби акумулювання енергії.

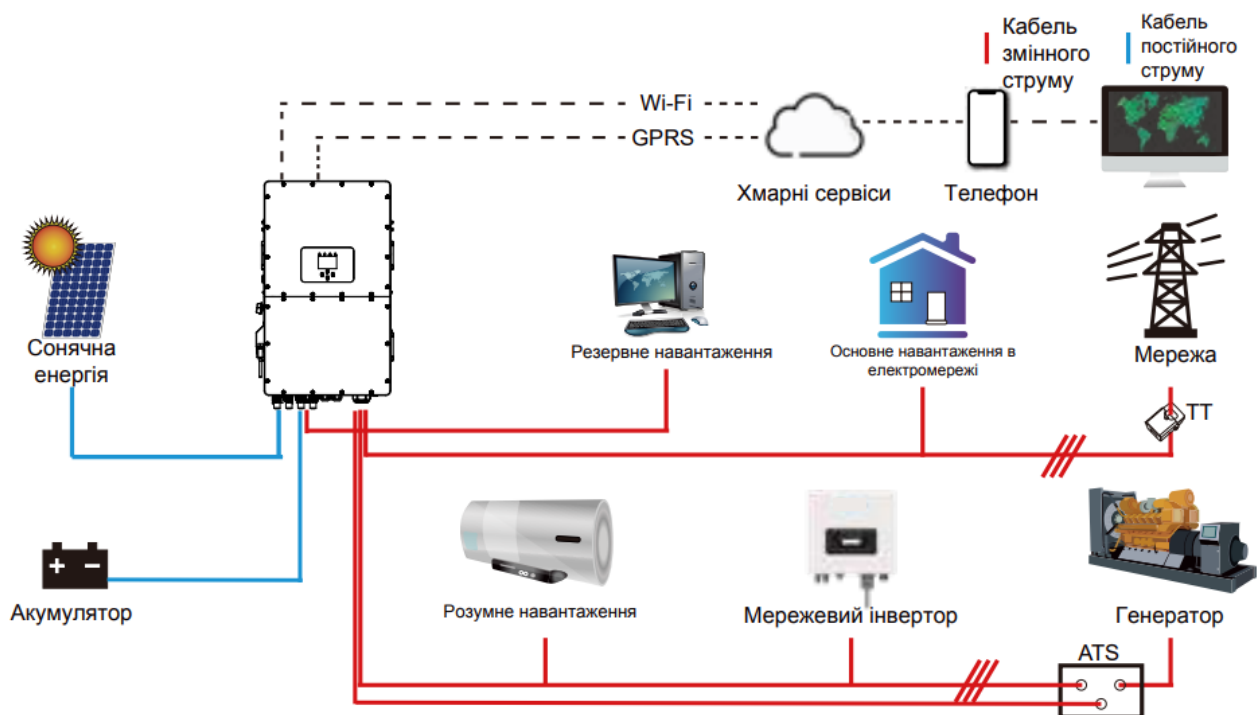


Рис.2.1 Структурна схема системи комплексного енергозабезпечення об'єкту

Перевагою запропонованої схеми є висока надійність електропостачання споживачів, що досягається завдяки використанню трьох незалежних джерел живлення.

Крім того, система забезпечує пріоритетне живлення об'єкта від вітрогенератора та сонячної фотоелектричної станції, що дозволяє суттєво знизити витрати на енергоносії та скоротити викиди CO₂ в атмосферу.

У складі системи передбачено інтелектуальне керування, інтегроване в інвертор, яке можна здійснювати дистанційно за допомогою смартфона або комп'ютера.

2.2 Характеристика ковальського цеху, проєктування та формування основних параметрів його електрозабезпечення

Ковальський цех є складовою частиною комплексного машинобудівного виробництва. Основним завданням вказаного цеху є механічна обробка металевих деталей методом поточного виробництва та термічна обробка деталей та конструкцій. Сучасний стан ковальського цеху характеризується високою енергомісткістю виробництва та застарілими технологіями енергопостачання споживачів. З цієї причини реконструкція системи електропостачання ковальського цеху є актуальною та нагальною потребою виробництва. Метою реконструкції повинно бути оптимізація процесу електропостачання споживачів вказаного об'єкту.

Площа цеху складає 432м^2 , довжина 24 м, ширина 18 м, висота 8 м. Умови навколишнього середовища у цеху : вологість 54-55 %, температура +13-15°, шум 30-40 дБ.

Живлення корпусу відбувалося від розподільчої мережі заводу «Українські енергетичні машини», проте за принципом глибокого введення високої напруги передбачено збудувати окрему підстанцію 6/0,4 кВ, яка забезпечить живлення вказаного цеху та буде матиме встановлену потужність, яка задовольнить вимоги подальшого розширення виробництва. Так передбачено живлення корпусу здійснювати від власної окремо-стоячої комплектної трансформаторної підстанції 6/0,4 кВ.

Категорія надійності цеху - друга. Споживачі другої категорії - це споживачі, перерва електропостачання яких може спричинити масовий простой робітників та виробничих потужностей, збій в роботі технологічного транспорту та порушення нормальної життєдіяльності великої кількості міських та сільських мешканців. [1] [2]. Аналіз споживачів корпусу наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Режим роботи, коефіцієнт використання K_v , і коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ електрообладнання

Назва електрообладнання	Кількість, од.	Коефіцієнт використання, K_v	Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$	Режим роботи
Консольно-фрезерний верстат, токарний верстат	42	0,2	0,6	Тривалий
Кран-балка	3	0,1	0,65	Короткочасний
Поточна лінія термічної обробки	1	0,4	0,85	Тривалий
Зварювальний напівавтоматичний апарат	6	0,4	0,7	Тривалий
Вентилятор	4	0,6	0,8	Тривалий

План розташування обладнання площею цеху наведений в графічній частині проєкту.

2.3 Характеристика мікроклімату приміщень ковальського цеху за умовами електрозабезпечення

Таблиця 2.2 - Класифікація приміщення об'єкту

Назва приміщення	Категорії			Умови навколишнього середовища
	за вибухонебезпечністю	за пожежонебезпекою	за електробезпекою	
Верстатне відділення	Б	В	Приміщення без підвищеної небезпеки	Нормальні
Термічне відділення	Б	В	Приміщення без підвищеної небезпеки	Нормальні

Вибухонебезпечна зона класу Б - простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго.

Для виробничих ділянок категорія пожежонебезпеки – В.

За електробезпекою - приміщення без підвищеної небезпеки

Приміщення без підвищеної небезпеки це сухі приміщення зі струмонепровідною підлогою, з вологістю не вище 75%.

2.4 Проектування електрозабезпечення об'єкту

Вибір та обґрунтування системи електрозабезпечення об'єкта

Цехові мережі поділяються на живлячі, які відгалужуються від джерела живлення і розподільчі, до яких приєднують електроспоживачі. Схеми електричних мереж можуть виконуватись радіальними та магістральними.

Радіальні схеми - це такі схеми, в яких електроенергія від джерела живлення передається до цехових до окремих електроприймачів лінією без відгалуження для живлення інших споживачів.

Радіальні схеми слід застосовувати при навантаженнях, розташованих у різних напрямках від джерела живлення. Найбільш поширеними є одно- та двоступеневі схеми.

Одноступеневі радіальні схеми краще застосовувати на невеликих підприємствах і на великих підприємствах для живлення потужних зосереджених навантажень (компресорні та насосні станції, підстанції електричних печей та ін.).

Перевагою радіальних схем є висока надійність електропостачання. Так, вихід із ладу однієї лінії не впливає на роботу споживачів, що живляться від інших ліній.

Основним недоліком радіального живлення є висока вартість.

Магістральні схеми знаходять найбільше застосування при рівномірному розподілу навантаження по площі цеху. При магістральних схемах, що живляться шиною проводами ШМА і ШРА, переміщення технологічного обладнання не викликає перероблення мережі. Наявність перемичок між магістралями окремих підстанцій забезпечує надійність електропостачання при мінімальних затратах на встановлення резервування. Таким резервуванням можна забезпечувати електропостачання споживачів 2-ої та 3-ої категорії. При магістральних схемах можливе застосування збірних конструкцій шино проводів і швидкий монтаж мережі.

До недоліків магістральних схем слід віднести недостатню надійність електропостачання, тому, що пошкодження магістралі після трансформатора приводить до відключення всіх споживачів.

Змішані схеми живлення, що поєднують принципи радіальних і магістральних систем розподілу енергії, знаходять застосування на великих підприємствах, що мають різні групи як по потужності і характеру графіка навантаження, так і по вимогах до надійності електропостачання. [3]

У виробничому корпусі застосовується змішана схема електропостачання, яка представлена: трьома шинопроводами які підключені кабелем у металевій трубі до ввідного розподільчого пристрою комплектної трансформаторної підстанції та однією розподільчою шафою, яка підключена кабелем у металевій трубі до розподільчого пристрою вказаної підстанції.

Схема наведена в графічній частині проєкту.

Склад, характеристика та параметричний аналіз електроприймачів

Таблиця 2.4 – Перелік електрообладнання виробничого корпусу

Номер за планом	Назва електрообладнання	Модель	Кількість, шт	Потужність, кВт
1	2	3	4	5
1	Верстат консольно-фрезерний	6P82	8	7,5
2	Верстат токарний	ДИП - 500	7	15
3	Верстат токарний	1M63	11	16,7
4	Верстат токарний	16K20	2	9,22
5	Верстат токарний	1K62	14	10
6	Поточна лінія термічної обробки	QC11K- 8X3200	1	18
7	Кран балка	H-60	3	15
8	Напівавтомат зварювальний Jasіc	MIG-200 (N2S32) EVO20	6	8,85
9	Вентилятор	164	4	14,9

Розрахунок електричних навантажень виробничого корпусу

В практиці проектування систем електропостачання застосовують різноманітні методи визначення електричних навантажень, які поділяють на:

1) Метод упорядкованих діаграм.

Знаходить найбільше застосування для більшості промислових об'єктів, оскільки є досить точним (похибка становить - 10%).

У цьому методі розрахункове навантаження визначається по середньої потужності і коефіцієнту максимуму $P_{\text{розр}} = K_m \times P_c$, кВт

2) Метод середньоквадратичної навантаження.

Розрахункове навантаження визначається по середньої потужності і коефіцієнту форми $P_{\text{розр}} = K_f \times P_c$, кВт

Цей метод дає найбільш точні результати, коли можна зняти точний графік навантаження. Метод обмежується в застосуванні в зв'язку складності знаходження коефіцієнта форми.

3) Метод питомої витрати електроенергії

Застосовується тільки для виробництв з рівномірним характером навантаження. У цьому методі розрахункове навантаження дорівнює середній $P_{\text{розр}} = P_{\text{ср}}$. Розрахункове навантаження вважається по питомій витраті електроенергії.

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{ср}} = W \times \text{ПСМ} / \text{ПВМ}, \text{ кВт}$$

4) Статистичний метод

Цей метод використовується в тому випадку, якщо є великий статистичний матеріал по навантаженнях з умов експлуатації.

5) Метод коефіцієнта попиту

Є найбільш простим методом, але завищує результати розрахунку.

На промислових підприємствах метод застосовувати не рекомендується за винятком орієнтовних розрахунків навантаження на високому рівні СЕС. Цей метод є основним для міського, сільського господарства, так як тут забезпечується висока точність розрахунків.

6) Метод питомої щільності навантажень

У промисловості використовується для визначення освітлювального навантаження (так як для освітлення нормується мінімальна величина освітленості). Для міського господарства цей метод є основним (так як нормується витрата електроенергії). [3]

Розрахунок електричних навантажень виробничого корпусу, виконується методом упорядкованих діаграм в наступному порядку:

Всі електроприймачі, приєднані до одного довільно обраного вузла (ШР 1), розбиваються на однорідні за режимом роботи групи з однаковими значеннями коефіцієнта використання K_v і коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, які приймаються за таблицею 2.5, і заносимо до таблиць 2.5.

Таблиця 2.5 – Характерна група електрообладнання для ШР 1

Характерна група	Коефіцієнт використання, K_v	Коефіцієнт активної потужності, $\cos \varphi$	Коефіцієнт реактивної потужності, $\tan \varphi$
А (Верстат консольно-фрезерний, верстат токарний)	0,2	0,6	1,33
Б (Кран-балка)	0,1	0,65	1,1
В (Вентилятор)	0,6	0,8	0,75

Визначаємо номінальну потужність кожної характерної групи і по розрахунковому вузлу в цілому. Результати заносимо до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Потужність характерної групи для ШР 1

Характерна група	Кількість одиниць обладнання, од	Сумарна потужність, P_n , кВт
А	11	135,24
Б	1	15
В	1	14,9
Разом по вузлу	13	165,14

Визначаємо ефективне число електроприймачів n_{ef} , шт, за формулою:

$$n_{ef} = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum P_n^2}$$

$$\frac{135,24^2}{2 \times 9,22^2 + 4 \times 16,7^2 + 5 \times 10^2} = 10,24$$

де P_n – номінальна потужність кожної одиниці обладнання, кВт.

Визначаємо середню активну потужність $P_{зм}$, кВт, за групами:

$$P_{зМА} = P_{нА} \times K_{ВА}$$

$$135,24 \times 0,2 = 27,05$$

де P_n – номінальна сумарна потужність характерної групи електроприймачів, кВт;

K_v – коефіцієнт використання характерної групи електроприймачів.

Визначаємо середню реактивну потужність $Q_{зм}$, квар. за групами:

$$Q_{зМА} = P_{зМА} \times \operatorname{tg} \varphi_A$$

$$27,05 \times 1,33 = 29,93$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності характерної групи електроприймачів.

Визначаємо середню повну потужність $S_{зм}$, кВА, за найбільш завантажену зміну за формулою :

$$S_{зм} = \sqrt{\sum P_{зм}^2 + \sum Q_{зм}^2}$$

$$\sqrt{27,05^2 + 35,97^2} = 65,04$$

Знаходимо коефіцієнт використання обладнання K_B по розрахунковій групі в цілому за формулою :

$$K_B = \frac{\sum P_{зм}}{\sum P_n}$$

$$27,05/135,24=0,2$$

де $\sum P_n$ – сумарна номінальна потужність електроприймачів розрахункового вузла.

За значенням коефіцієнта використання K_B і по ефективному числу електроприймачів $n_{\text{еф}}$ за функцією «Залежність $K_M = F(n_{\text{э}}, K_B)$ » знаходимо коефіцієнт максимуму K_M по розрахунковому вузлу. Він дорівнює 1,75.

Визначаємо максимальні навантаження по розрахунковому вузлу.

Знаходимо максимальну активну потужність P_M , кВт, за формулою:

$$P_M = \sum P_{зм} \times K_M ,$$

$$27,05 \times 1,75 = 47,33$$

Знаходимо максимальну реактивну потужність Q_M , квар, за формулою :

Приймаємо $Q_M = \sum Q_{3M}$, якщо $n_{\text{эф}} > 10$ шт

а $Q_M = 1,1 \sum Q_{3M}$, якщо $n_{\text{эф}} \leq 10$ шт

$$Q_M = 62,95$$

Знаходимо максимальну повну потужність S_M , кВА, за формулою:

$$S = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2},$$

$$\sqrt{47,33^2 + 62,95^2} = 78,76$$

Розрахунок електричних навантажень для інших вузлів системи електропостачання цеху вузлів регулювання, виконується за допомогою програми "Electric Power Calculator v2.0"

Результати розрахунків зведено в таблицю 2.7.

-----Схема з'єднання-----

-----
КТП\ШМА1\А

Кіл-ть=1.00	P _{min} =166.34	P _{max} =166.34	P _{ном} =166.34
m=mx/m=1.00	Ки =0.20	CosF =0.60	TangF =1.33
Рзміни=33.27	Qзміни=44.36	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =87.83	Qмакс =48.79	Смакс =100.47	Імакс =152.65
E_Pn^2=27669.00	Км' =1.10		

КТП\ШМА1\В

Кіл-ть=1.00	P _{min} =30.00	P _{max} =30.00	P _{ном} =30.00
m=mx/m=1.00	Ки =0.10	CosF =0.65	TangF =1.17
Рзміни=3.00	Qзміни=3.51	Нэфф =1.00	Км =3.43
Рмакс =10.29	Qмакс =3.51	Смакс =10.87	Імакс =16.52
E_Pn^2=900.00	Км' =1.00		

КТП\ШМА1\С

Кіл-во=1.00	P _{min} =107.40	P _{max} =107.40	P _{ном} =107.40
m=mx/m=1.00	Ки =0.17	CosF =0.65	TangF =1.17
Рзміни=18.26	Qзміни=21.35	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =48.20	Qмакс =21.35	Смакс =52.72	Імакс =80.09
E_Pn^2=11534.76	Км' =1.00		

КТП\ШМА1\D

Кіл-во=1.00	P _{min} =2.10	P _{max} =2.10	P _{ном} =2.10
m=mx/m=1.00	Ки =0.60	CosF =0.80	TangF =0.75
Рзміни=1.26	Qзміни=0.94	Нэфф =1.00	Км =1.46
Рмакс =1.84	Qмакс =1.04	Смакс =2.11	Імакс =3.21
E_Pn^2=4.41	Км' =1.10		

Всього по КТП\ШМА1

Кіл-ть=4.00	P _{min} =2.10	P _{max} =166.34	P _{ном} =305.84
m=mx/m=79.21	Ки =0.18	CosF =0.62	TangF =1.26
Рзміни=55.79	Qзміни=70.16	Нэфф =2.33	Км =2.64
Рмакс =147.28	Qмакс =70.16	Смакс =163.13	Імакс =247.85
E_Pn^2=40108.17	Км' =1.00	Іном =380.61	Іпуск =1903.07
Іпик =2081.50			

КТП\ШМА2\А

Кіл-ть=1.00	P _{min} =108.42	P _{max} =108.42	P _{ном} =108.42
m=mx/m=1.00	Ки =0.20	CosF =0.60	TangF =1.33
Рзміни=21.68	Qзміни=28.91	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =57.25	Qмакс =31.80	Смакс =65.49	Імакс =99.50

E_Pn^2=11754.90 Км' =1.10			
КТП\ШМА2\В			
Кіл-ть=1.00	Pminim=32.80	Pmaxim=32.80	Рном =32.80
m=mx/m=1.00	Ки =0.10	CosF =0.65	TangF =1.17
Рзміни=3.28	Qзміни=3.83	Нэфф =1.00	Км =3.43
Рмакс =11.25	Qмакс =3.83	Смакс =11.89	Імакс =18.06
E_Pn^2=1075.84	Км' =1.00		
КТП\ШМА2\С			
Кіл-ть=1.00	Pminim=214.90	Pmaxim=214.90	Рном =214.90
m=mx/m=1.00	Ки =0.17	CosF =0.65	TangF =1.17
Рзміни=36.53	Qзміни=42.71	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =96.45	Qмакс =42.71	Смакс =105.48	Імакс =160.26
E_Pn^2=46182.01	Км' =1.00		

Всього по КТП\ШМА2			
Кіл-ть=3.00	Pminim=32.80	Pmaxim=214.90	Рном =356.12
m=mx/m=6.55	Ки =0.17	CosF =0.63	TangF =1.23
Рзміни=61.50	Qзміни=75.46	Нэфф =2.15	Км =2.64
Рмакс =162.35	Qмакс =75.46	Смакс =179.03	Імакс =272.01
E_Pn^2=59012.75	Км' =1.00	Іном =491.73	Іпуск =2458.64
Іпик =2645.73			

КТП\ШМА3\А			
Кіл-ть=1.00	Pminim=158.20	Pmaxim=158.20	Рном =158.20
m=mx/m=1.00	Ки =0.20	CosF =0.60	TangF =1.33
Рзміни=31.64	Qзміни=42.19	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =83.53	Qмакс =46.41	Смакс =95.55	Імакс =145.18
E_Pn^2=25027.24	Км' =1.10		
КТП\ШМА3\В			
Кіл-ть=1.00	Pminim=16.40	Pmaxim=16.40	Рном =16.40
m=mx/m=1.00	Ки =0.10	CosF =0.65	TangF =1.17
Рзміни=1.64	Qзміни=1.92	Нэфф =1.00	Км =3.43
Рмакс =5.63	Qмакс =1.92	Смакс =5.94	Імакс =9.03
E_Pn^2=268.96	Км' =1.00		
КТП\ШМА3\С			
Кіл-ть=1.00	Pminim=1.70	Pmaxim=1.70	Рном =1.70
m=mx/m=1.00	Ки =0.60	CosF =0.80	TangF =0.75
Рзміни=1.02	Qзміни=0.76	Нэфф =1.00	Км =1.46
Рмакс =1.49	Qмакс =0.84	Смакс =1.71	Імакс =2.60
E_Pn^2=2.89	Км' =1.10		

Всього по КТП\ШМА3			
Кіл-ть=3.00	Pminim=1.70	Pmaxim=158.20	Рном =176.30
m=mx/m=93.06	Ки =0.19	CosF =0.61	TangF =1.31
Рзміни=34.30	Qзміни=44.87	Нэфф =1.23	Км =2.64
Рмакс =90.55	Qмакс =44.87	Смакс =101.06	Імакс =153.54
E_Pn^2=25299.09	Км' =1.00	Іном =361.99	Іпуск =1809.94
Іпик =1893.06			

КТП\ШР1\А			
Кіл-ть=1.00	Pminim=42.40	Pmaxim=42.40	Рном =42.40
m=mx/m=1.00	Ки =0.20	CosF =0.60	TangF =1.33
Рзміни=8.48	Qзміни=11.31	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =22.39	Qмакс =12.44	Смакс =25.61	Імакс =38.91
E_Pn^2=1797.76	Км' =1.10		

Всього по КТР\ШР1

Кіл-ть=1.00	Pminim=42.40	Pmaxim=42.40	Рном =42.40
m=mx/m=1.00	Ки =0.20	CosF =0.60	TangF =1.33
Рзміни=8.48	Qзміни=11.31	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =22.39	Qмакс =12.44	Смакс =25.61	Імакс =38.91
E_Pn^2=1797.76	Км' =1.10	Іном =97.02	Іпуск =485.09
Іпик =504.60			

Всього по КТП

Кіл-ть=12.00	Pminim=1.70	Pmaxim=214.90	Рном =906.79
m=mx/m=126.41	Ки =0.20	CosF =0.66	TangF =1.15
Рзміни=182.27	Qзміни=209.09	Нэфф =6.48	Км =1.80
Рмакс =328.09	Qмакс =230.00	Смакс =400.68	Імакс =608.77
E_Pn^2=126900.54	Км' =1.10	Іном =491.73	Іпуск =2458.64
Іпик =2968.56			

Розрахунки виконані за допомогою програми "Electric Power Calculator v2.0"

Таблиця 2.7 Розрахунок електричних навантажень дільниці №3 ремонтно-механічного цеху

Назва вузла	Назва електроприймачів	Кількість електроприймачів, п, шт.	Номинальна потужність, кВт			Коефіцієнт використання, K_b	Коефіцієнт активної потужності, $\cos \varphi$	Коефіцієнт реактивної потужності, $\tan \varphi$	Середньозмінна потужність		Ефективне число, n_{ef} , шт.	Коефіцієнт максимуму K_m	Максимальна потужність			Розрахунковий струм I_m , А
			мінімальна, P_{min} , кВт	максимальна, P_{max} , кВт	сумарна P_n , кВт				активна потужність $P_{зм}$, кВт	реактивна потужність $Q_{зм}$, квар			Максимальна активна потужність P_m , кВт	Максимальна реактивна потужність Q_m , квар	Максимальна повна потужність S_m , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ШРА-1	Група А															
	Верстат токарний 16K20	2	9,22		18,44	0,2	0,6	1,33	3,688	4,91						
	Верстат токарний 1М63	4	16,7		66,8	0,2	0,6	1,33	13,36	17,77						
	Верстат токарний 1K62	5	10		50	0,2	0,6	1,33	10	13,30						
		11	9,22	16,7	135,24	0,2	0,6	1,33	27,05	35,97	10,24	1,75	47,33	62,95	78,76	113,82
	Група Б															
	Кран-балка	1	15	15	15	0,1	0,65	1,17	1,5	1,76	1,00	2,50	3,75	4,39	5,77	8,34
	Група В															
	Вентилятор	1	14,9	14,9	14,9	0,6	0,8	0,75	8,94	6,71	1,00	1,50	13,41	10,06	16,76	24,22
Разом по вузлу		13			165,14				37,49	44,43			64,49	77,40	101,30	146,38
ШРА-2	Група А															
	Верстат токарний 1М63	5	16,7		83,5	0,2	0,6	1,33	16,7	22,21						

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Верстат токарний ДИП - 500	2	15		30	0,2	0,6	1,33	6	7,98						
	Верстат токарний 1К62	2	10		20	0,2	0,6	1,33	4	5,32						
		9	10	16,7	133,5	0,2	0,6	1,33	26,7	35,51	8,72	1,90	50,73	67,47	84,41	121,99
	Група Б															
	Кран-балка	1	15	15	15	0,1	0,65	1,17	1,5	1,76	1,00	2,50	3,75	4,39	5,77	8,34
Разом по вузлу		10			148,5				28,2	37,266			54,48	71,86	90,19	130,3
ШРА-3	Група А															
	Верстат токарний ДИП - 500	5	15		75	0,2	0,6	1,33	15	19,95						
	Верстат токарний 1К62	7	10		70	0,2	0,6	1,33	14	18,62						
		12	9,22	16,7	145	0,2	0,6	1,33	29	38,57	11,52	1,65	47,85	63,64	79,62	115,06
Разом по вузлу		12			145				29	38,57		1,65	47,85	63,64	79,62	115,1
ШРА-4	Група А															
	Верстат консольно-фрезерний 6Р82	8	7,5		60	0,2	0,6	1,33	12	15,96						
	Верстат токарний 1М63	3	16,7		50,1	0,2	0,6	1,33	10,02	13,33						
		11	7,5	16,7	110,1	0,2	0,6	1,33	22,02	29,29	9,42	1,80	39,64	52,72	65,95	95,31
	Група Б															
	Кран-балка	1	15	15	15	0,1	0,65	1,17	1,5	1,76	1,00	2,50	3,75	4,39	5,77	8,34
	Група В															
	Вентилятор	1	14,9	14,9	14,9	0,6	0,8	0,75	8,94	6,71	1,00	1,50	13,41	10,06	16,76	24,22
Разом по вузлу		13			140				23,52	31,04			43,39	57,10	71,73	103,65

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ШРІ	Група А															
	Зварювальний напівавтоматичний пост	6	6		36	0,4	0,7	1,02	14,4	14,69	6,00	1,40	20,16	20,56	28,80	41,61
	Група Б															
	Вентилятор	2	14,9		29,8	0,6	0,8	0,75	17,88	13,41	1,00	1,40	25,03	18,77	31,29	45,22
	Група В															
	Поточна лінія термічної обробки	1	18		18	0,4	0,85	0,62	7,2	4,46	1	1,5	10,80	6,70	12,71	18,36
Разом по вузлу		9			83,8				32,28	28,10			45,19	39,34	60,09	86,83
Разом по об'єкту		57			542,44				127	148,37			212	252,2	331,2	478,6

Вибір електрощитового (розподільчого) обладнання та визначення місць його встановлення.

Визначаємо максимальний струм для живлення лінії $I_{м.л}$, А, який визначається за формулою

$$I_{м.л} = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (1.4.3)$$

де S_M – повна потужність всіх електроприймачів, що підключені до лінії, кВА;
 U_H - номінальна напруга живлення, $U_H = 0,4$ кВ.

Для ШРА1: $I_{м.л} = 101,3 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 146,38$

Для ШРА2: $I_{м.л} = 90,19 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 130,33$

Для ШРА3: $I_{м.л} = 79,6 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 115,06$

Для ШРА4: $I_{м.л} = 71,1 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 103,65$

Для ШР1: $I_{м.л} = 60,09 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 86,83$

Номінальний струм автоматичного вимикача не повинен перевищувати номінальний струм розчеплювача:

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р}, \quad (1.4.3.1)$$

де $I_{н.а}$ – струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н.р}$ – номінальний струм розчеплювача для обраного автоматичного вимикача. А.

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times I_{м.л}, \quad (1.4.3.2)$$

Для ШРА1:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 146,38$$

$$I_{н.р} \geq 161,02$$

Для ШРА2:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 130,33$$

$$I_{н.р} \geq 143,4$$

Для ШРА 3:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 115,06$$

$$I_{н.р} \geq 126,57$$

Для ШРА 4:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 103,65$$

$$I_{н.р} \geq 114,02$$

Для ШР 1:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 86,83$$

$$I_{н.р} \geq 95,5$$

Результати розрахунків та вибору кабелю, захисної апаратури для живлення всіх інших ліній заносимо до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати розрахунків та вибору кабелю та захисної апаратури для живлення всіх ліній

Назва траси	Тип розподільчої шини (шафи)	Максимальний струм для живлення лінії $I_{м.л.}$, А,	Номинальний струм розчеплювача $I_{н.р.}$, А	Марка та переріз кабелю, мм ²	Захисний апарат		
					Тип автомата	Номинальний струм I_n , А	Струм розчеплювача I_p , А
ШРА1	KSA400 ED4501 0	146,38	161,02	АВВГ 3×70+1×25	A3736ФУ3	250	200
ШРА2	KSA630 ED4206	130,33	143,4	АВВГ 3×50+1×25	A3763ФУ3 ·	160	160
ШРА 3	KSA400 ED4501 0	115,06	126,57	АВВГ 3×50+1×25	A3723ФУ3 ·	160	160
ШРА 4	KSA400 ED4501 0	103,65	114,02	АВВГ 3×35+1×15	A3723ФУ3 ·	160	125
ШР 1	AT/U	86,83	95,5	АВВГ 3×35+1×15	A3716ФУ3	160	100

Таблиця 2.9 – Вибір електрощитового (розподільного) обладнання

Пункт розподільчий	Пункт розподільчий	Пункт розподільчий	Назва обладнання
Електрощитова	Електрощитова	Електрощитова	Місце встановлення
KSA400ED45010	KSA630ED4206	KSA400ED45010	Тип
навісний	навісний	навісний	Конструктивне виконання
400	400	400	Номинальний струм, А
-/4	-/4	-/4	Кількість фідерних ліній трифазних/однофазних
Автоматичні вимикачі	Автоматичні вимикачі	Автоматичні вимикачі	Захисна апаратура
IP55	IP55	IP55	Ступінь захисту
У3	У3	У3	Кліматичне виконання і категорія розміщення
600x400x200	600x400x200	600x400x200	Розміри

Продовження таблиці 2.9

Пункт розподільчий	Пункт розподільчий	1	Назва обладнання
Електрощитова	Електрощитова	2	Місце встановлення
АТ/У	KSA400ED45010	3	Тип
підлоговий	навісний	4	Конструктивне виконання
125	400	5	Номінальний струм, А
-/4	-/4	6	кількість фідерних ліній трифазних/однофазних
Автоматичні вимикачі	Автоматичні вимикачі	7	Захисна апаратура
IP43	IP55	8	Ступінь захисту
У3	У3	9	Кліматичне виконання і категорія розміщення
600x400x200	600x400x200	10	Розміри

Вибір апаратів захисту та управління.

Автоматичний вимикач - це контактний комутаційний апарат, що спроможний вмикати, проводити та вимикати струм навантаження, коли електричне коло в робочому стані, а також вмикати, проводити протягом певного встановленого часу і вимикати аварійний струм в електричному колі. Автоматичний вимикач призначено для нечастих вмикань/вимикань (хоча автоматичні вимикачі провідних фірм, можуть мати комутаційну витривалість до 20 000 циклів увімкнено/вимкнено, а модульні вимикачі навантаження — до 100 000 циклів і працювати за температури від -30 до +60 °С та вологості 95 %), а також для захисту кабелів та кінцевих споживачів від перевантаження і короткого замикання. Автоматичні вимикачі можуть мати додаткові незалежні від струму навантаження, розчіплювачі з додатковими контактами сигналізації або моторні приводи, для віддаленого керування вимикачем. [4]

Розрахунок електричних мереж та вибір автоматичних вимикачів виконується для напіваавтоматичного-круглошліфувального верстата в наступному порядку:

Визначаємо номінальний струм електроспоживача (на прикладі токарного верстату 16K20) I_n , А, за формулою

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta}$$

$$\frac{9,22}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 0,83} = 26,75$$

де P_n – номінальна потужність споживача, кВт;

U_n – номінальна напруга, $U_n = 0,4$ кВ;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД).

Визначаємо пусковий струм електроспоживача $I_{\text{п}}$, А, за формулою

$$I_{\text{п}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}} \quad (1.4.2)$$

$$7,5 \times 26,75 = 200,6$$

де $K_{\text{п}}$ – кратність пускового струму.

Визначаємо номінальний струм розчеплювача автоматичного вимикача $I_{\text{н.р.}}$, А, за умови

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{роб}} \quad (1.4.3)$$

$$1,1 \times 26,75 \geq 29,43$$

де $I_{\text{роб}}$ – робочий струм лінії, приймається рівним номінальному струму споживача $I_{\text{роб}} = I_{\text{н}}$.

За таблицею 11 "Технічні дані автоматичних вимикачів серії АЕ" вибираємо автоматичний вимикач типу АЕ2046 зі струмом розчеплювача $I_{\text{н.р.ст}}$ 31,5 (струм номінальний розчеплювача стандартний).

Знаходимо розрахунковий струм спрацювання $I_{\text{спр.р}}$, А, автоматичного вимикача обраного типу за умовою

$$I_{\text{спр.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{п}}$$

де $I_{\text{п}}$ – пусковий струм двигуна електроспоживача, А.

1.4.6 Визначаємо каталожне значення струму спрацювання $I_{\text{спр.кат.}}$, А, за формулою

$$I_{\text{спр.кат.}} = K_p \cdot I_{\text{н.р.ст}}$$

$$12 \times 31,5 = 378$$

де K_p – кратність струму спрацювання. Вибирається в залежності від типу автоматичного вимикача за таблицею 11 "Технічні дані автоматичних вимикачів серії АЕ";

$I_{\text{н.р.ст}}$ – струм номінальний розчеплювача стандартний, вибраний в

Розрахунковий струм спрацювання не повинен перевищувати значення струму за каталогом

$$I_{\text{спр.р}} \leq I_{\text{спр.кат}}$$

$$250,75 \leq 378$$

За значенням розрахованого номінального струму споживача за каталогами продукції [5] обираємо марку проводу АПВ та переріз 4мм^2 для підключення електроспоживача до мережі живлення.

Розрахунок і вибір перерізу монтажного проводу типу і струму розчеплювача автоматичного вимикача для інших електроспоживачів ділянки №3 виконується аналогічно за допомогою комп'ютерної програми. Результати заносимо до таблиці 2.10

Таблиця 2.10 – Результати розрахунку і вибір перерізу монтажного проводу та типу і струму розчеплювача автоматичного вимикача для інших електроспоживачів виробничого корпусу

Номинальна потужність в кВт	Номинальний струм I_a , А	Пусковий струм, I_p , А	Розрахунковий струм розчеплювача $I_{н.р.}$, А	Розрахований струм спрацювання, А	Вибір проводу		Тип автомата	Номинальний струм автомата, $I_{ном.а}$, А	Струм розчепл., $I_{р.}$, А
					Марка	Кількість і переріз жил			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7,5	21,0	157,5	173,28	196,91	АПВ	3х2,5	АЕ 2046	63	25
8,85	21,2	159,3	175,26	199,16	АПВ	3х2,5	АЕ 2046	63	25
9,22	25,8	193,7	213,02	242,07	АПВ	3х4	АЕ 2046	63	31,5
10	28,0	210,0	231,05	262,55	АПВ	3х4	АЕ 2046	63	31,5
11	26,4	198,0	217,84	247,55	АПВ	3х4	АЕ 2046	63	31,5
14,9	31,3	234,7	258,19	293,40	АПВ	3х4	АЕ 2046	63	31,5
15	36,0	270,1	297,06	337,57	АПВ	3х6	АЕ 2046	63	40
15	42,0	315,1	346,57	393,83	АПВ	3х6	АЕ 2046	63	63
16,7	46,8	350,8	385,85	438,46	АПВ	3х10	АЕ 2046	63	63
18	50,4	378,1	415,88	472,59	АПВ	3х10	АЕ 2046	63	63

Визначення типу кабелів (шин) та способів прокладання електропроводки.

За розрахунковими даними обираємо тип шинопроводу KSA400ED45010 (ШРА 1) на номінальний струм 400 А, він пролягає у лотках які кріпляться на кронштейнах до стіни і живить 13 електроприймачів, які підключені проводом марки АПВ перерізом від $2,5\text{мм}^2$ до 10мм^2 прокладеним у металевій трубі діаметром від 20мм до 50мм. В якості захисної апаратури обираємо автоматичний вимикач типу АЗ726ФУЗ. До ввідного розподільчого пристрою підключений кабелем АВВГ з перерізом $3\times 70+1\times 25\text{мм}^2$.

За розрахунковими даними обираємо тип шинопроводу KSA400ED4206 (ШРА 2) на номінальний струм 400 А, він пролягає у лотках які кріпляться на кронштейнах до стіни і живить 10 електроприймачів, які підключені проводом марки АПВ перерізом від $2,5\text{мм}^2$ до 10мм^2 прокладеним у металевій трубі діаметром від 20мм до 50мм. В якості захисної апаратури обираємо автоматичний вимикач типу АЗ763ФУЗ. До ввідного розподільчого пристрою підключений кабелем АВВГ з перерізом $3\times 50+1\times 25\text{мм}^2$.

За розрахунковими даними обираємо тип шинопроводу KSA400ED45010 (ШРА 3) на номінальний струм 400 А, він пролягає у лотках які кріпляться на кронштейнах до стіни і живить 12 електроприймачів, які підключені проводом марки АПВ перерізом від $2,5\text{мм}^2$ до 10мм^2 прокладеним у металевій трубі діаметром від 20мм до 32мм. В якості захисної апаратури обираємо автоматичний вимикач типу АЗ716ФУЗ. До ввідного розподільчого пристрою підключений кабелем АВВГ з перерізом $3\times 50+1\times 25\text{мм}^2$.

За розрахунковими даними обираємо тип шинопроводу KSA400ED45010 (ШРА 4) на номінальний струм 400 А, він пролягає у лотках які кріпляться на кронштейнах до стіни і живить 13 електроприймачів, які підключені проводом марки АПВ перерізом від $2,5\text{мм}^2$ до 10мм^2 прокладеним у металевій трубі діаметром від 20мм до 32мм. В якості захисної апаратури обираємо автоматичний вимикач типу АЗ716ФУЗ. До ввідного розподільчого пристрою підключений кабелем АВВГ з перерізом $3\times 35+1\times 15\text{мм}^2$.

За розрахунковими даними обираємо тип розподільчої шафи АТ/У (ШР 1)

на номінальний струм 125 А, вона кріпиться до підлоги біля стіни. Живить 9 електроприймачів, які підключені проводом марки АПВ перерізом від $2,5\text{мм}^2$ до 10мм^2 прокладеним у металевій трубі діаметром 20мм. В якості захисної апаратури обираємо автоматичний вимикач типу АЗ716ФУЗ. До розподільчого пристрою підключений кабелем АВВГ з перерізом $3\times35+1\times15\text{мм}^2$.

Розрахунок показників надійності і безвідмовності системи електрозабезпечення

Таблиця 2.11 – Розрахункова елементна таблиця

Позначення елемента на електросхемі чи на електромеханічній схемі	Назва елемента	Назва супутніх елементів	Кількість супутніх елементів	Примітка
ШРА 1	Розподільчий шинопровід	Автоматичний вимикач	13	-
		Гвинтове з'єднання	26	
		Кабелі	30	
		Рубильник	1	
ШРА 2	Розподільчий шинопровід	Автоматичний вимикач	10	-
		Гвинтове з'єднання	12	
		Кабелі	25	
		Рубильник	1	
ШРА 3	Розподільчий шинопровід	Автоматичний вимикач	12	-
		Гвинтове з'єднання	24	
		Кабелі	18	
		Рубильник	1	
ШРА 4	Розподільчий шинопровід	Автоматичний вимикач	13	
		Гвинтове з'єднання	26	
		Кабелі	8	
		Рубильник	1	
ШР 1	Розподільчий шафа	Автоматичний вимикач	9	-
		Гвинтове з'єднання	18	
		Кабелі	10	
		Рубильник	1	

Таблиця 2.12 – Таблиця результатів розрахунків параметрів надійності

Назва елемента	Кількість елементів в системі, n_i	Інтенсивність (потік) відмов елементів, λ_2 1/год	Середній наробіток до відмови елемента, T_n , год	Імовірність безвідмовної роботи елемента в інтервалі часу, $P_n(t, \tau)$
1	2	3	4	5
Автоматичний вимикач	57	$1,05 \times 10^{-5}$	95238	0,984
Кабелі	66	$0,1 \times 10^{-5}$	1000000	0,985
Гвинтове з'єднання	114	$0,12 \times 10^{-5}$	833333	0,998
Рубильник	5	1×10^{-5}	1000000	0,985

Розраховуємо показники надійності (безвідмовності) розподільчого щита та шинопроводу.

1. Наробіток до відмови.

ШРА 1: $T = (13/95238 + 26/833333 + 30/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1987$ год

ШРА 2: $T = (10/95238 + 20/833333 + 25/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1550$ год

ШРА 3: $T = (12/95238 + 24/833333 + 18/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1738$ год

ШРА 4: $T = (13/95238 + 26/833333 + 8/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1767$ год

ШР 1: $T = (9/95238 + 18/833333 + 10/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1370$ год

$$T_{\text{ср}} = (2662 + 2145 + 1707 + 1281)/4 = 1833$$

ШРА 1: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(13)} \times 0,985^{(26)} \times 0,998^{(30)} \times 0,985^{(1)} = 0,51$ або 51%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1983 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500

годин експлуатації становить 51%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 51% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

ШРА 2: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(12)} \times 0,985^{(24)} \times 0,998^{(7)} \times 0,985^{(1)} = 0,59$ або 59%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1550 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 59%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 59% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

ШРА 3: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(12)} \times 0,985^{(24)} \times 0,998^{(18)} \times 0,985^{(1)} = 0,54$ або 54%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1738 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 54%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 54% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

ШРА 4: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(13)} \times 0,985^{(26)} \times 0,998^{(8)} \times 0,985^{(1)} = 0,53$ або 53%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1767 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 53%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 53% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

ШР 1: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(9)} \times 0,985^{(18)} \times 0,998^{(10)} \times 0,985^{(1)} = 0,63$ або 63%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1271 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 63%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 63% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов. [7]

2.5 Проектування сонячної фотоелектричної електростанції

Аналіз вихідних даних на проектування фотоелектричної електростанції

Вихідні умови на проектування фотоелектричної електростанції для системи комплексного електропостачання збирального цеху машинобудівного виробництва м.Харків відповідно до технічного завдання наведено в таблиці 2.12

Таблиця 2.12 Вихідні дані на проектування фотоелектричної електростанції

Показник	Вимога	Од.вим	Кількісний показник
Розташування об'єкту	м. Харків, проспект Героїв Харкова 258		49.964158, 36.303772
Тип електростанції за видом підключення до зовнішніх та внутрішніх мереж	Гібридна, під власне споживання	---	---
Бажана встановлена потужність фотоелектричних модулів		кВт	10
Бажана ємність засобів акумуляування енергії		кВт * год	20
Бажаний діапазон максимальної генерації електричної енергії		год.	10:00 – 15:00
Кліматичні умови району	м. Харків.		
Бажаний річний обсяг згенерованої електричної енергії	Під власне споживання	кВт*год	10000

Відповідно до план-карти об'єкту та бажаного часу максимального навантаження визначимо максимально можливу кількість панелей фотоелектричних модулів, які розташовуються плоскій покрівлі цеху та орієнтовані на південь. Визначення кількості фотоелектричних модулів

відбувається на підставі проєктування їх розміщення по покрівлі об'єкту (рис. 2. 3)

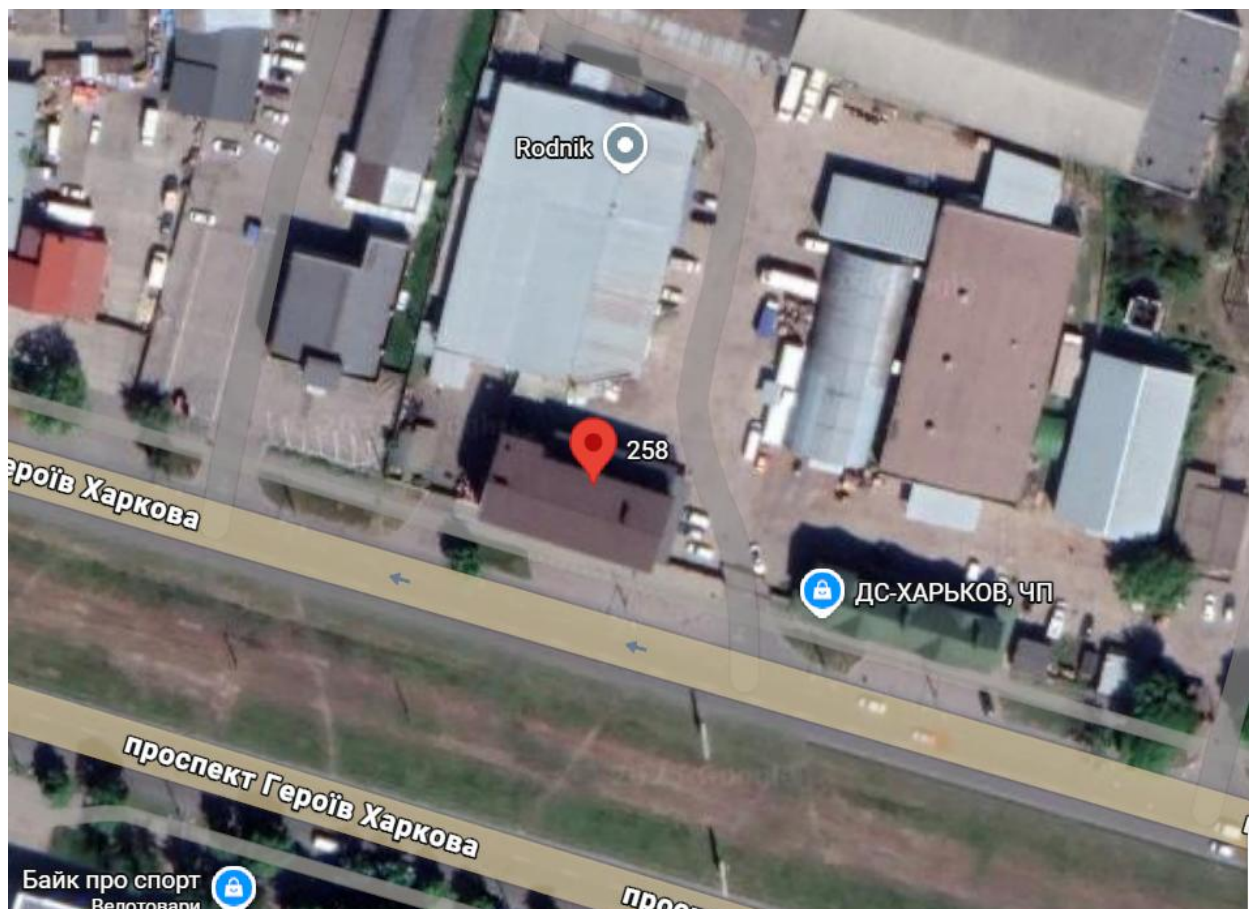


Рис. 2.2 План-карта об'єкту

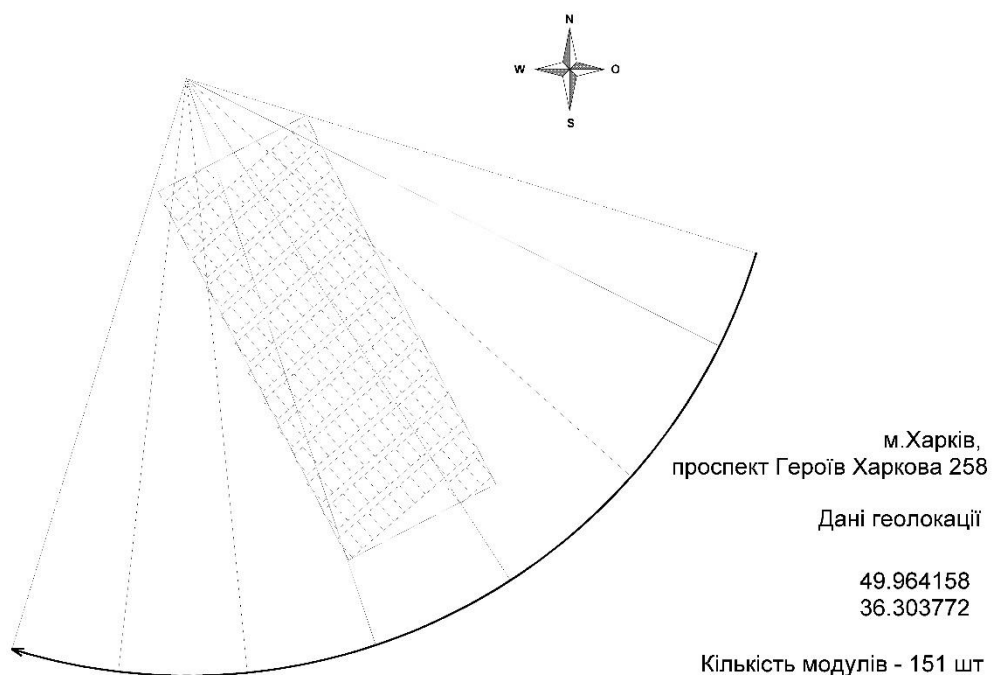


Рис. 2.3 План розміщення фотоелектричних модулів на покрівлі об'єкту

Відповідно до плану розміщення фотоелектричних модулів маємо такі базові показники сонячної електростанції (таблиця 2.13)

Таблиця 2.13 Базові показники сонячної електростанції

Показник	Одиниця виміру	Значення
Кількість фотоелектричних модулів	шт.	151
Тип фотоелектричних модулів	---	Монокристалічні
Встановлена потужність одиниці фотоелектричного модулю	кВт	0,44
Загальна встановлена потужність електростанції	кВт	46,64

Визначимо очікувану річну генерацію електростанції за формулою:

$$W = P \times H \times PH,$$

де P – сумарна встановлена потужність фотоелектричних модулів, кВт

H – середньорічна сонячна інсоляція у вибраному кліматичному регіоні, кВт*год/м²

PH – коефіцієнт продуктивності роботи електростанції, в.о.

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.4.3.

Таблиця 2.14 Визначення очікуваної річної генерації сонячної фотоелектричної електростанції, яка проєктується

Сумарна встановлена потужність фотоелектричних модулів	Середньорічна сонячна інсоляція	Коефіцієнт продуктивності	Річна генерація електричної енергії СЕС
P	H	PH	W
кВт	кВт*год/м ²	в.о.	кВт*год
66,44	1125	0,75	56058

Визначення елементної бази сонячної електростанції

Перелік основних елементів сонячної електростанції, що проектується відповідає принциповій технологічній схемі сонячної електростанції (рис. 2.4) та наведено в таблиці 2.14.

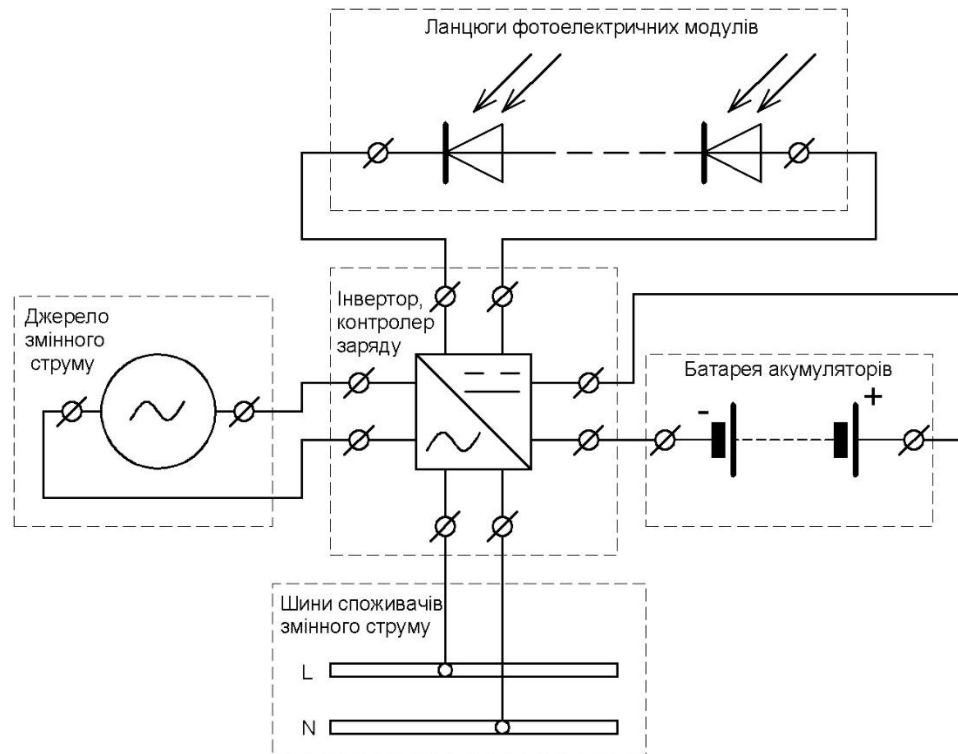


Рис. 2.4 Принципова технологічна схема сонячної фотоелектричної електростанції яка проектується

Таблиця 2.15 Перелік елементної бази сонячної електростанції яка проектується

Елемент	Тип	Посилання	Виробник
Інвертор	Deye SUN-50K-SG01HP3-EU-BM4	https://solar-markets.com.ua/hibrydnyi-soniachnyi-invertor-deye-sun-50k-sg01hp3-eu-bm3/?gad_source=1&gad_campaignid=20821923076&gbraid=0AAAAAqhHZHIX85LuUrYMbs2xjNNWiCdEf&gclid=Cj0KCQiAgP_JBhD-ARIsANpEMxwISWolAPIZ6DbOvZL6rO0Lp68vfJlzpAhhrhyrhCevWMq8sgBLAaAv6VEALw_wcB	Китай
Фотоелектричні модулі	Longi Solar LR5-54HTH-440M	https://vinur.com.ua/ua/products/solnechnie-batarei/komplektuyushie/solnechnye-paneli/lr5-54hth-440m	Китай
Акумуляторні блоки	Dyness B4850	https://magazzilla.com.ua/ua/p2343188942-akkumulyatornyj-blok-kvt.html?source=merchant_center&gad_source=1&ad_campaignid=21673251561&gbraid=0AAAAAqdLhGZNJkZTaUR2VsfuoQqdrGTG&gclid=Cj0KCQiAo4TKBhDRARIsAGW29beKch3mjbOhf-joXrsAHnUaD0Gglw89Qp0Usmu4Bsn5V7uvB_6af2EaAtK-EALw_wcB	Китай

Висновки за розділом 2

У другому розділі роботи проведено ескізне проєктування системи комплексного енергозабезпечення ковальського цеху у м. Харків.

Спроектовано структурну схему системи комплексного енергозабезпечення, проведене проєктування системи електропостачання ліцею з використанням трьох джерел живлення: електрична мережа, фотоелектрична сонячна електростанція та дизель генератор.

Проведено проєктування фотоелектричної електростанції.

Визначено показники надійності роботи системи розподілу електроенергії .

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз останніх тенденцій розвитку технологій захисту електрообладнання від струмів замикання та перенапруг комутаційного та атмосферного характерів.

В проєктній частині було проведено ескізне проєктування системи комплексного енергозабезпечення ковальського цеху машинобудівного виробництва у м. Харків, який забезпечує сталу роботу критично-важливого технологічного циклу.

Було прийнято рішення впровадити додаткові засоби генерації, такі як фотоелектрична електростанція та дизель-генераторна установка та впровадити систему накопичення електроенергії на базі батареї хімічних акумуляторів.

Розраховано показники надійності роботи системи розподілення електроенергії до електроприймачів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Voronovsky, G.K., Denysiuk, S.P., Kyrylenko, O.V., Stogniy, B.S., Shydlovsky, A.K. (2005). Energy of the World and Ukraine. Figures and Facts. K. Ukrainian Encyclopedic Knowledge, 404.
2. Levakin, V., Yefimova, K., Polyvoda, S., Iokst, V. (2017). Regulatory requirements for nuclear and radiation safety for power supply systems of nuclear powerplants. Nuclear and Radiation Safety, 3(75), 46-49. DOI:10.32918/nrs.2017.3(75).08
3. Regulatory act of the State Emergency Service 306.2.205-2016 Requirements for power supply systems important for the safety of nuclear powerplants. (2016). Official Gazette of Ukraine No. 10.
4. Rules for the arrangement of electrical installations. (2017). K. Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, 617. (in Ukrainian)
5. Rezvik, I., Yefimova, K., Polyvoda, S., & Iokst, V. (2017). Modernization of fire extinguishing installations at Ukrainian nuclear powerplants. Nuclear and radiation safety, 4(76), 56-62. DOI: 10.32918/nrs.2017.4(76).09
6. Soskov, A. G., Kobozev, A.S. (2010). Modernization of the protection system of urban electric networks of 0.4 kV due to the use of microprocessor technology in circuit breaker releases. Light engineering and electrical engineering, 2, 53-63.
7. Chang, C.S., Feng, T., Khambadkone, A.M., Kumar, S. (2000), "Remote short-circuit current determination in DC railway systems using wavelet transform", Electric Power Applications IEE Proceedings, Vol. 147, iss. 6, pp. 520-526. ISSN 1350-2352.
8. Sereda, O.G., Varshamova, I.S., Litvinenko, V.V., Morgun, V.V. (2013). Technical analysis of modern methods for improving the protective properties of circuit breakers. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of improving electrical machines and devices. Theory and practice. NTU "KhPI", 65 (1038). 61-92. (in Ukrainian) DOI:10.20998/2541-7741.13.06.01
9. Ostashevsky, M.O., Yuryeva, O.Yu., ed. Mi-lykh, V.I. (2018). Electric machines and transformers: a textbook. K. Karavela, 452. (in Ukrainian)

10. Circuit breakers AP-50B URL:
<https://svitog.com.ua/product/avtomaticheskij-vykljuchatel-ap-50b-3mt-25-a/>
11. Circuit breakers VA URL: [https://www.rimk.biz/va50-41-v50-43-v50-39-v51-35-v50-31-v57-35-v08-08-v09-09-v50-35-avtomaticheskie-vykljuchateli-\(va5000\)](https://www.rimk.biz/va50-41-v50-43-v50-39-v51-35-v50-31-v57-35-v08-08-v09-09-v50-35-avtomaticheskie-vykljuchateli-(va5000))
12. Circuit breakers A3700 (VA3700) URL:
[https://www.rimk.biz/avtomaticheskie-vykljuchateli-a3700-\(va3700\)](https://www.rimk.biz/avtomaticheskie-vykljuchateli-a3700-(va3700))
13. Pat. 101084 of the Ukrainian MPK (2013.01) H02N 3/08 (2006.01), H02N 7/00, H01N 73/00. Method of fast-acting maximum current protection with high sensitivity to remote short-circuit currents / O.S. Kobozev, O.G. Sereda. – No. a201109057; filed on 19.07.2011; published on 25.02.2013, Bull. No. 4. 6. (in Ukrainian)
14. Pat. 73195 of Ukraine MPK H 02 H 3/08 Method of maximum current protection of electrical installations / G.M. Gaponenko, Y.M. Agafonov, S.G. Rassomakhin, V.M. Shlokin. – No. 2003010807. Filed on 30.01.2003; Publ. 15.06.2005, Bull. No. 6. 6. (in Ukrainian)
15. Horbachuk, V. M., Kushlyk-Dyvulska O. I. (2023). Probability Theory and Mathematical Statistics K. Igor Sikorsky Polytechnic Institute, 351. (in Ukrainian)
16. Garlapati, S., Hua Lin, Sambamoorthy, S., Shukla, S.K., Thorp, J.S. (2010), "Agent Based Supervision of Zone 3 Relays to Prevent Hidden Failure Based Tripping", IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 4-6 October 2010, 256-261. ISBN 978-1-4244-6510-1.
17. Manual on the arrangement of electrical installations. Schneider Electric technical solutions. Technical collection Schneider Electric. (2019). Schneider Electric, 596.
18. Coordination of low voltage protection. Technical collection Schneider Electric. (2008). 4.
[49.https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/TechLibrary/Vipusk4-Koordinacia_zashit.pdf](https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/TechLibrary/Vipusk4-Koordinacia_zashit.pdf)

19. Technical Application Papers No.1 –Low Voltage selectivity with ABB circuit-breakers(2024).

56.<https://library.abb.com/r?q=technical%20application%20papers>

20. Technical Application Papers No.4–ABB circuit-breakers inside LV switchboards(2012). 56. <https://library.abb.com/d/1SDC007103G0202>

21. Z. Markov, Over-Voltage Protection in Electronics and Telecommunications, 1983, Belgrade, Serbia and Montenegro, Technical Book, (in Serbo- Croation).

22. Z. Markov, “The comparison of modern over-voltage protection components,” Electrotechnics, vol. 10, no. 1, pp. 961–963, 1987 (in Serbo-Croatian).

23. M. Clark, Surge Live of Transient Voltage Suppressor, C. Marshall Space Flight Center. Contract Nas. 8-30-811, 1986.

24. F. D.Martzloff, “Matching surge protective devices to their environment,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-21, no. 1, pp. 99–106, Jan./Feb. 1985.

25. Osmokrovic Predrag, Boris Loncar, Srboljub Stankovic. "The new method of determining characteristics of elements for overvoltage protection of low-voltage system." IEEE transactions on instrumentation and measurement 55.1 (2006): 257-265.

26. WALUYO, SAODAH S., SARANGA F.K., “Overvoltages due to Single-Phase-to-Ground and Double-Phase Faults on a 20 kV Feeder”, in Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA), 2020, vol. 68, no. 1, pp. 05-11, ISSN 1582-5175.

27. Vieira, Marcos S, and J. M. Janiszewski. "Propagation of lightning electromagnetic fields in the presence of buildings." Electric 118(2015):101-109. Power Systems Research

28. H. Cui and Y. Shan, "Research on Lightning Overvoltage in Building Electrical Engineering," 2021 4th International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE), Changsha, China, 2021, pp. 18-21, doi: 10.1109/AEMCSE51986.2021.00011.

29. T. Dragicevic, X. Lu, J. C. Vasquez and J. M. Guerrero, "DC Microgrids—Part II: A Review of Power Architectures, Applications, and

Standardization Issues," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 31, no. 5, pp. 3528-3549, May 2016.

30. D. Kumar, F. Zare and A. Ghosh, "DC Microgrid Technology: System Architectures, AC Grid Interfaces, Grounding Schemes, Power Quality, Communication Networks, Applications, and Standardizations Aspects," in IEEE Access, vol. 5, pp. 12230- 12256, 2017.

31. X. Yao, "Study on DC arc faults in ring-bus DC microgrids with constant power loads," 2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Milwaukee, WI, 2016, pp. 1-5.

32. S. Zheng, Z. Ni and M. Chinthavali, "A Flexible and Secure Evaluation Platform for Overvoltage Protection in Power Electronics Systems," 2020 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC), Chicago, IL, USA, 2020, pp.10.1109/ITEC48692.2020.9161571. 877-882, doi:

33. Z. An, M. J. Mauger, R. P. Kandula, J. Benzaquen and D. Divan, "A Fast-Response High-Accuracy Overvoltage Protection Circuit for Soft-Switching Current-Source Converters," 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Detroit, MI, USA, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/ECCE50734.2022.9947906.

34. L. Zhou, L. Huang, R. Wei and D. Wang, "A Novel Lightning Overvoltage Protection Scheme Using Magnetic Rings for Transmission Line Systems," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 70, no. 12, pp. 12872-12882, Dec. 2023, doi: 10.1109/TIE.2023.3239899.

35. Y. K. Starostina, "Energy Effective Protection Circuits of the Start-Up Device Against Switching Overvoltage," 2022 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russian Federation, 2022, pp. 160-164, doi: 10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896336.

36. S. Mosamane and C. Gomes, "Lightning-induced overvoltage protection for microinverters using surge protective devices," 2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Cape Town, South Africa, 2022, pp. 138-143, doi: 10.1109/ICLP56858.2022.9942623.

37. M. N. Hibatullah, L. Gumilar and K. A. Zain, "Monitoring of Protection System for Overvoltage Faults in Distribution Networks," 2022 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT), Malang, Indonesia, 2022, pp. 191-195, doi: 10.1109/IEIT56384.2022.9967912.

38. G. V. Podporkin, E. Yu. Enkin, E. S. Kalakutsky, V.E. Pilshikov, A. D. Sivaev, "Overhead Lines Lightning Protection by Multi-chamber Arresters and Insulator arresters", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, No. 1, pp.214-221, January 2011.

39. G. Podporkin, I. Filippov, U. Kretov and A. Sotnikov, "Multi-Chamber Arresters of a New Type for Protection Overhead Lines 6.6kV, 10kV and 13.8kV Against Induced Overvoltages," 2022 36th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Cape Town, South Africa, 2022, pp. 513-517, doi: 10.1109/ICLP56858.2022.9942491.

40. E. E. Henao-Bravo, S. A. Acevedo-Pérez, A. J. Saavedra Montes and C. A. Ramos-Paja, "Overvoltage protection for DC link in microinverters," 2022 IEEE 40th Central America and Panama Convention (CONCAPAN), Panama, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/CONCAPAN48024.2022.9997690.

41. G. B. Lo Piparo, M. Maccioni, T. Kisielewicz and C. Mazzetti, "Probability of Damage of Apparatus Powered by an HV/LV Transformer due to Lightning to a Structure Protected by a Lightning Protection System," 2023 International Symposium on Lightning Protection (XVII SIPDA), Suzhou, China, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIPDA59763.2023.10349173.

42. S. Kim, B. Sung, J. -H. Heo, D. -S. Lee, J. -H. Kim and D. G. Lee, "Protection against Transient Overvoltages Caused by Intermittent Earth Faults in Unearthed Marine Power Distribution Networks," 2022 IEEE International Conference on Power Systems Technology (POWERCON), Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/POWERCON53406.2022.9929554.

43. A. Ben-Ashour, A. ElMehdi and A. Hamed, "Transient Overvoltages Protection for Series Capacitors in Compensated Transmission Lines," 2021 IEEE PES/IAS

Power Africa, Nairobi, Kenya, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/PowerAfrica52236.2021.9543203.

44. H. Chen and D. Divan, "Soft-Switching Solid-State Transformer (S4T)," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 4, pp. 2933-2947, April 2018.

45. Z. An, X. Han, V. R. Chowdhury, J. Benzaquen, R. P. Kandula and D. Divan, "A Tri-Port Current-Source SoftSwitching Medium-Voltage String Inverter for Large-Scale Solar-Plus-Storage Farms," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2022, doi:10.1109/TPEL.2022.3185006.

46. Y. Xu, Z. Wang, P. Liu, Y. Chen, and J. He, "Soft-Switching Current-Source Rectifier Based Onboard Charging System for Electric Vehicles," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, 2021.

47. K. Mozaffari and M. Amirabadi, "A Reduced-Switch-Count Family of Soft-Switched High-Frequency Inductive AC-Link Converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 35, no. 8, pp. 7972-7990, Aug. 2020.

48. Stanislav Reznikov, Denis Chuev, "Protection against overcurrents and surges and reduction of switching losses in power pulse voltage converters," *Components and Technologies*, no. 58, pp. 132–136, 2006.

49. IEC, 62305-4: 2010 - Protection against Lightning: Part 4: Electrical and Electronic Systems within structures. 2010.

50. J. Miller, M. Brunet-Watson, J. Leighfield, and PSC North America, "Review of Series Compensation for Transmission Lines," *PSC North America-Power Networks*, pp. 9-65, May 2014.

51. Soja, Milomir M., Slobodan Lubura, Dejan Joki, Milan and Radmanovi. "Design and Realisation of Overvoltage Protection in Push-pull Inverters." (2013).

52. Molay Roy and Mainak Sengupta. "An over-voltage protection scheme with very fast response for application in a CSI-fed induction heating prototype." December 2015, Conference: NPEC2015.

53. G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Z. Flisowski, G.B. Lo Piparo, C. Mazzetti, "Surge protective devices for low voltage systems: practical approach for the protection distance evaluation," Published in: 2007 IEEE Lausanne Power Tech,

Lausanne, Switzerland, 01-05 July 2007, pp. 778 782, Print ISBN: 978-1-4244-2189-3, DOI: 10.1109/PCT.2007.4538414.

54. Zhou, Z.; He, Z.; Xue, G.; Zhou, J.; Rong, C.; Liu, G. Analysis of Magnetic Field Characteristics of a Giant Magnetostrictive Actuator with a Semi-Closed Magnetic Circuit. *Actuators* 2022, 11, 108. <https://doi.org/10.3390/act11040108>.

55. M. Popov, L. Grcev, H. K. Hoidalén, B. Gustavsen and V. Terzija, "Investigation of the Overvoltage and Fast Transient Phenomena on Transformer Terminals by Taking into Account the Grounding Effects," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 51, no. 6, pp. 5218- 5227, 2015.

56. H. Kijima, "Earthing system and lightning protection," Corona Co. Published, ISBN4-88552-147-C3055, 2002.

57. H. Kurosawa, H. Kijima, "Recent lightning protection design," JSA (Japanese Standard Association) Published, ISBN4-542-30397-7-C3054, 2006.

58. IEC 61643-1, Surge protective devices connected to low voltage power distribution systems Part 1: Requirements and test methods, 2005.

59. IEC 61643-12, Surge protective devices connected to low voltage power distribution systems Part 12: Selection and application principle, 2004.

60. H. Kijima, "Overvoltage protective device and method of overvoltage protection." *Proceedings of the 8th WSEAS international conference on Electronics, hardware, wireless and optical communication*. 2009.

61. February 2024, <https://www.eaton.com/us/enus/products/medium-voltage-power-distribution-controlsystems/lightning-arresters/surge-arresters-fundamentals-of-surge-arresters.html>.

62. February 2024, <https://www.phoenixcontact.com/roro/produse/combo-type-flt-sec-p-t1-3c-44035-fm2905988>.

63. October 2024, <https://www.aliexpress.com/item/1005003479020344.html>.