

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Освітнього ступеня "магістр"
на тему:

Система автоматизованого управління резервним енергозабезпеченням
виробничих потужностей промислового об'єкта / The system of automated
management of backup energy supply of production facilities of an industrial facility

Виконав студент групи АКІТм-21
Маландій Павло Константинович

Керівник роботи: к.т.н., доцент Албанський І.Б.

Тернопіль 2024

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"

Спеціальність – 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Маландій Павла Констянтиновича

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Система автоматизованого управління резервним енергозабезпеченням
виробничих потужностей промислового об'єкта / The system of automated
management of backup energy supply of production facilities of an industrial
facility.

Керівник роботи: к.т.н., доцент Албанський І.Б.

Затверджені наказом по університету від 12 грудня 2023 р. № 753

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

02 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Механізми функціонування систем резервним енергозабезпеченням
виробничих потужностей.
2. Структура та алгоритм роботи системи резервним енергозабезпеченням
промислового об'єкта.
3. Процеси збору й обробки інформації в автоматизованих системах.
4. Метод розрахунку надійності системи резервного електрозабезпечення.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Огляд автоматизованих систем резервного енергозабезпечення та
особливостей їх роботи.
2. Розробка системи автоматичного керування резервним
енергозабезпеченням підприємства.
3. Підвищення надійності і ефективності роботи системи резервного
енергозабезпечення з програмного комплексу.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна та функціональна схеми автоматизованої системи резервного енергозабезпечення виробничої площадки.
2. Графіки результатів моделювання інтенсивності відмов системи.

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС		
2	Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС		
3	Албанський І.Б., к.т.н., доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд автоматизованих систем резервного енергозабезпечення та особливостей їх роботи	12.2023р. – 02.2024р.	виконано
2	Розробка системи автоматичного керування резервним енергозабезпеченням підприємства	03.2024р. – 06.2024р.	виконано
3	Підвищення надійності і ефективності роботи системи резервного енергозабезпечення з програмного комплексу	07.2024р. – 11.2024р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату та виправлення недоліків	11.2024р. – 12.2024р.	виконано

Студент

(підпис)

Маландій П.К.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доцент Албанський І.Б.

АНОТАЦІЯ

Маландій П.К. Система автоматизованого управління резервним енергозабезпеченням виробничих потужностей промислового об'єкта. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» - Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2024.

У роботі: досліджено автоматизовані системи резервного енергозабезпечення та особливості їх роботи, розглянуті різновиди компонування та умови проектування автоматизованих систем резервного та альтернативного електрозабезпечення, обґрунтуванні умови та необхідності електрозабезпечення промислових підприємств і вибір схеми мережі живлення, розроблено структурну схему автоматизованої системи резервного енергозабезпечення виробничої площадки, обґрунтовано вибір засобів автоматизації, розроблено метод розрахунку надійності системи резервного електрозабезпечення.

ANNOTATION

Malandiy P.K. The system of automated management of backup energy supply of production facilities of an industrial facility. - Manuscript.

Research for obtaining a master's degree in the specialty - 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics", educational and professional program - "Automation and computer-integrated technologies" - Western Ukrainian National University. Ternopil, 2024.

In the work: automated back-up power supply systems and their features were investigated, types of layout and design conditions of automated back-up and alternative power supply systems were considered, substantiation of the conditions and necessity of power supply of industrial enterprises and the selection of a power network scheme, a structural diagram of the automated back-up power supply system of the production site was developed, substantiated the selection of automation tools,

the method of calculating the reliability of the backup power supply system has been developed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1. ОГЛЯД АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ РЕЗЕРВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ РОБОТИ	10
1.1 Загальний вигляд та призначення систем резервного та аварійного енергозабезпечення	10
1.2 Різновиди компонування та умови проектування автоматизованих систем резервного та альтернативного електрозабезпечення	17
1.3 Автоматизація і диспетчеризація систем енергозабезпечення для підвищення ефективності роботи промислового об'єкта	24
2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РЕЗЕРВНИМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ПІДПРИЄМСТВА	30
2.1 Обґрунтування умов та необхідності електрозабезпечення промислових підприємств та вибір схеми мережі живлення	30
2.1.1 Функціональні пристрої та способи захисту електромережі підприємства	35
2.2 Розробка структурної схеми автоматизованої системи резервного енергозабезпечення виробничої площадки	38
2.3 Обґрунтування вибору засобів автоматизації системи комплексу систем електропостачання промислового об'єкта	44
3. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСА	48
3.1 Розробка методу розрахунку надійності системи резервного електрозабезпечення	48

3.2 Забезпечення відмовостійкості систем енергозабезпечення методом резервування	55
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТОК А	69

ВСТУП

Актуальність теми. У процесі експлуатації енергосистем можливий вихід із ладу одного з елементів. Різке відключення частини споживачів може спричинити стрибок у мережі, а відключення потужного генератора обертається нестійкою роботою систем. Неймовірні збитки можуть завдати навіть секундне падіння напруги: як відомо, пускові струми в кілька разів більші за номінальні, і одночасне включення всіх електроустановок виведе з ладу всю мережу. Основна проблема полягає в тому, що процеси, які порушують нормальну роботу електроустаткування, протікають дуже швидко, людина просто не встигає відреагувати та запобігти можливим проблемам. Єдине рішення – автоматизація енергосистем.

Автоматика у системах електропостачання відіграє колосальну роль. Вона дозволяє керувати нормальними режимами електропостачання та забезпечує стабільну роботу електрообладнання в аварійних режимах або після ліквідації збоїв у мережі. Як показує практика, впровадження засобів автоматизації, телемеханізації та комп'ютерних систем забезпечує стабільну роботу енергомережі, захист обладнання від усіляких ризиків та економію енергоресурсів.

Промисловість у країні споживає близько двох третіх від всієї електричної енергії, що виробляється. Постійно відбувається зростання потужності промислових підприємств та електроприймачів. Саме це призводить до проблеми раціонального формування схем розподілу цієї енергії. Зростають вимоги до економічності, надійності, безпеки та зручності експлуатації, а також якості електроенергії.

Система електропостачання підприємства включає розподільні, живильні, перетворювальні, а також трансформаторні підстанції. Всі вони пов'язані між собою спеціальними кабельними лініями та проводами, якими протікає струм. Потрібні дані пристрої для розподілу електроенергії між

усіма споживачами. Розподіл електричної енергії від 35 до 220 кВ відбувається за повітряними лініями, а 6 – 10 кВ – за кабельними.

Такі системи електропостачання промислових підприємств є дуже важливими для всіх існуючих заводів. Зумовлено це величезним споживанням електроенергії галуззю. Переривати такий процес просто неможливо, оскільки це призведе до порушення технологічного процесу. Саме тому всі промислові підприємства мають жити виключно якісною електроенергією. Будується дана система таким чином, щоб вона безперебійно постачала електрику в нормальному та післяаварійному режимі, а також була максимально надійною, безпечною та зручною у процесі обслуговування.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка та дослідження систем автоматизованого управління резервних енергозабезпеченням виробничих потужностей промислового об'єкта.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно:

- дослідити існуючі системи резервного та аварійного енергозабезпечення підприємств та різних установ;
- проаналізувати елементну базу та структури автоматизованих систем управління та систем диспетчеризації енергозабезпеченням промислового об'єкта;
- розробити структуру системи автоматизованого управління резервним енергозабезпеченням підприємства;
- обґрунтувати вибір елементної бази запропонованої автоматизованої системи;
- обґрунтувати методи розрахунку надійності системи резервного електрозабезпечення;
- обґрунтувати умови забезпечення відмовостійкості систем енергозабезпечення методом резервування.

Об’єкт дослідження: процеси автоматизації та контролю параметрів електричної мережі в процесі експлуатації промислового обладнання в нормальному режимі і в аварійних ситуаціях.

Предметом дослідження є система автоматичного управління резервним енергозабезпеченням виробничих потужностей підприємства.

Наукова новизна одержаних результатів: реалізований метод розрахунку надійності системи резервного електрозабезпечення шляхом використання ефективних способів обробки сигналу, що забезпечує ефективну роботу автоматизованої системи в залежності від споживчих потужностей виробничої площадки, це в свою чергу доводить ефективність програмно-апаратних засобів автоматизованої системи резервного та аварійного енергозабезпечення.

Практичне значення отриманих результатів: гнучкість, простота та технічна можливість масштабування щитів контролю мережевих параметрів напруги і струму запропонованої автоматизована система, яка дозволяє ефективно працювати без аварійних зупинок промислового обладнанню не перериваючи технологічний процес.

Апробація. На основі досліджень підготовлено та опубліковано 2 тези доповідей на наукових конференціях (додаток А).

1. ОГЛЯД АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ РЕЗЕРВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ РОБОТИ

1.1 Загальний вигляд та призначення систем резервного та аварійного енергозабезпечення

Організація низки технологічних процесів (ТП) у різних галузях сучасного людського життя – у промисловому виробництві, на транспорті, об'єктах військового призначення, в медицині, зв'язку тощо, безпосередньо пов'язана із споживанням та перетворенням електроенергії.

При цьому якість ТП і, як наслідок, його кінцевий продукт багато в чому визначаються параметрами електроенергії, що використовується. Організація електропостачання, адекватного якості кінцевому продукту ТП, призводить до необхідності дослідження, проектування та застосування спеціальних статичних систем електроживлення (СЕЖ), вихідні параметри яких відрізняються від параметрів промислових мереж. Центральним блоком таких СЕЖ є напівпровідниковий статистичний перетворювач (СП), побудований на основі автономних інверторів напруги (АІН). При цьому перетворення енергії передбачає наявність первинного джерела та можливість автономної роботи.

Ряд спеціальних електроспоживачів у безперервних та складних ТП можна назвати також "відповідальними", оскільки для них недозволена навіть короткочасна перерва в електропостачанні.

Системи безперебійного живлення (СБЖ) як різновид спеціальних СЕЖ з'явилися в 70-х роках 20-го століття, що було обумовлено збільшеними вимогами до якості напруги та розвитком напівпровідникової техніки. За тридцять із невеликим років розвитку СБЖ перетворилися на інтелектуальні системи силової електроніки з мікропроцесорним керуванням. В даний час СБЖ виділилися в окремий клас пристроїв зі своєю топологією,

термінологією та класифікацією, що дозволяють задовольнити вимоги різноманітних електроспоживачів.

Безперебійність і висока якість напруги живлення є необхідною умовою нормальної роботи різноманітних споживачів електроенергії, що беруть участь у різних ТП. Робота обчислювальних центрів або окремих машин, що входять до автоматизованих систем управління (АСУ) ТП, комплексів контрольно-вимірювальних приладів промислових виробництв та автономних об'єктів, проведення хірургічних операцій та реанімаційних заходів у медицині, управління і стеження за об'єктами, що рухаються, функціонування систем зв'язку або передачі інформації, проведення міжбанківських розрахунків, автоматизація транспорту нафтопродуктів – і це далеко не повний перелік ТП, що вимагають особливої уваги до організації їхнього безперебійного електроживлення [1].

Статичні СЕЖ відповідальних споживачів постійного та змінного струму – СБЖ будуються, як правило, на основі АІН, акумуляторних батарей (АБ) та випрямлячів (загалом це трансформаторно-випрямний блок – ТВБ). Слід зазначити, що сукупність АІН та випрямлячів є основою конверторів ("DC-DC"-перетворювачів) – перетворювачів постійної напруги одного рівня в постійну напругу іншого рівня.

На рисунку 1.1 представлений загальний випадок СЕЖ для сукупності споживачів постійного та змінного струму. Не розглядаючи в цьому розділі канал постійного струму СЕЖ "випрямляч – акумуляторна батарея – конвертор", зазначимо, що канал змінного струму "випрямляч – акумуляторна батарея – інвертор" є схемотехнічно складнішим, оскільки передбачає взаємодію окремих каналів між собою та з мережею на змінному струмі.

Структурна побудова СБЖ змінного струму передбачає використання двох основних варіантів: які працюють у режимі "на лінії" (у зарубіжній термінології on-line, або UPS - Uninterruptible Power Supply) і "у лінії", "резервний" (off-line, або SPS - Standby Power Supply).

За першим варіантом (рисунок 1.2) живлення споживачів відбувається постійно через АІН, який незалежно від стану первинної мережі забезпечує високу якість вихідної напруги СБЖ, перебуваючи на одній лінії з споживачами. При цьому замкнуті перемикачі S1, S4 і S5, виконані на швидкодіючих контакторах або напівпровідниках (тиристри або симістри).

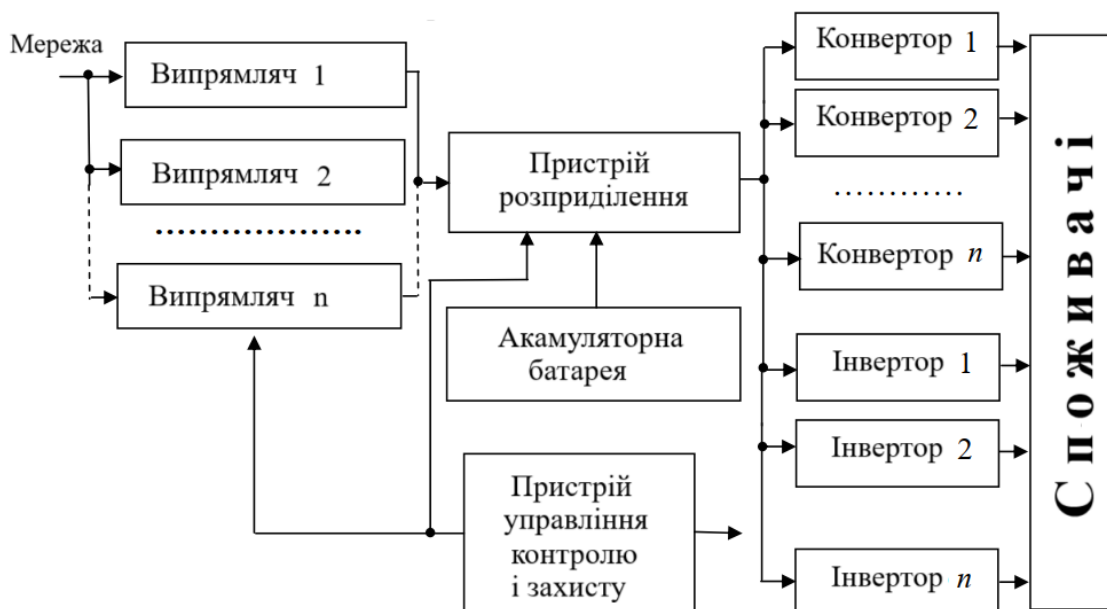


Рисунок 1.1 - Система електроживлення споживачів постійного та змінного струму

Зарядний пристрій (ЗП) забезпечує заряд АБ. У разі провалу напруги мережі нижче допустимої заданої межі, споживач переходить на живлення від АБ. Автоматичний байпасний перемикач S3 служить для синхронізованого підключення споживача до мережі у разі аварії СБЖ, будучи таким чином, елементом резервування.

Для відключення СБЖ для проведення профілактичних робіт служить ручний байпасний перемикач S2. Основні переваги СБЖ за схемою on-line полягають у повній фільтрації та згладжуванні будь-яких коливань вхідної напруги та високовольтних імпульсів на вході, а також нульовим часом перемикання при відсутності напруги в мережі без перехідних процесів на виході. Усі перемикання з АІН на мережу та навпаки (включаючи операції з байпасом) відбуваються при синфазуванні напруги АІН та мережі.

Прикладом СБЖ, побудованих за схемою on-line, можуть бути моделі UPStation GXT виробництва компанії "Liebert". Вони оснащені стабілізатором вхідної напруги з діапазоном стабілізації 120...276 без переходу на АБ. До недоліків схеми відносяться відносна складність та більш висока вартість, а також наявність додаткових енерговитрат на подвійне перетворення, що знижують загальний ККД системи. СБЖ, що працюють за схемою on-line, можна використовувати, наприклад, для живлення серверів та робочих станцій локальних обчислювальних мереж, а також будь-якого іншого обладнання, що висуває підвищені вимоги до якості електроживлення. Вважається, що схема on-line є найдосконалішим на сьогоднішній день рішенням, що дозволяє повністю захистити навантаження від існуючих неполадок електроживлення [2].

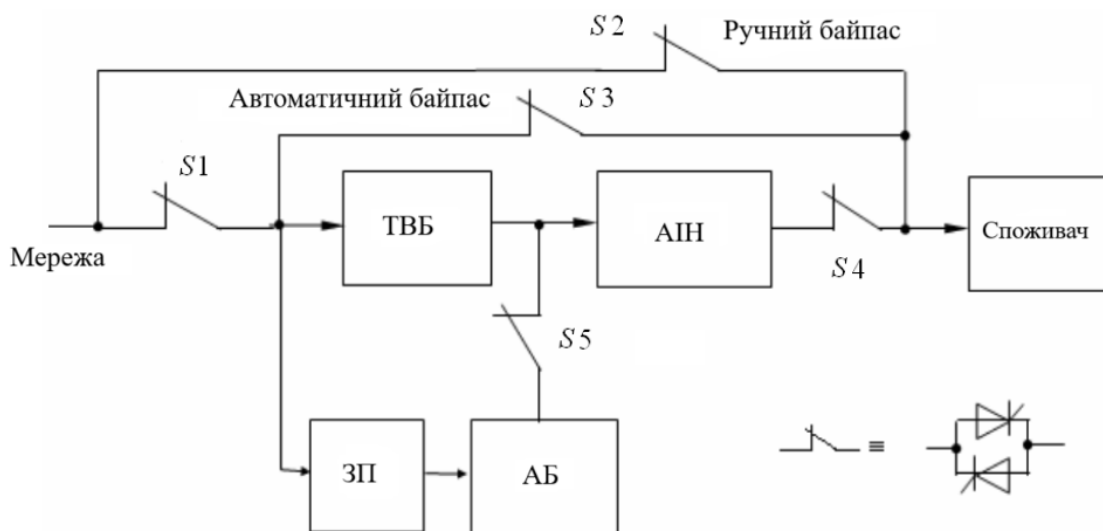


Рисунок 1.2 - Схема СБЖ типу "на лінії" ("on-line")

Другий варіант (рисунок 1.3) передбачає перемикання споживача на АІН лише у разі зникнення напруги у мережі. У нормальному режимі споживач живиться від мережі через перемикачі S1 та S3. Перемикачі S2, S4 при цьому розімкнуті, а ЗП забезпечує заряд АБ. При зникненні напруги мережі включається перемикач S4 і відключається перемикач S3. Споживач перекладається на АІН, вихідна напруга якого є синфазною мережевою. Зазвичай такі СБЖ дешевші за побудовані за "першим варіантом". Переваги

схеми off-line полягають у її простоті та економічності, а недоліки – без стабілізації вхідної напруги під час роботи споживача від мережі та наявності деякого часу перемикання (біля 4 мс) під час переходу в режим роботи від АБ. СБЖ, що працюють за схемою off-line, використовуються, наприклад, для живлення персональних комп'ютерів чи робочих станцій локальних обчислювальних мереж. Практично всі недорогі малопотужні СБЖ, що пропонуються на вітчизняному ринку, побудовані за схемою off-line.

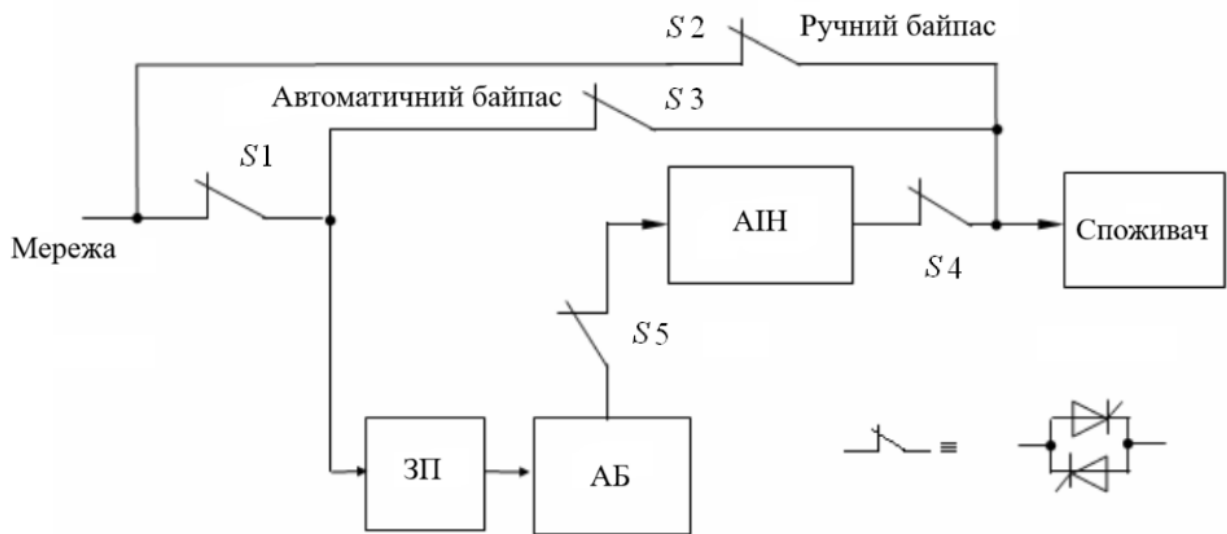


Рисунок 1.3 - Схема СБЖ типу "у лінії" (off-line)

Логічним розвитком "другого варіанту" є об'єднання функцій СБЖ та стабілізатора напруги. Часто тривале підвищення або зниження напруги, що є результатом підключення або відключення на підстанції великої кількості споживачів, може триватиме годинами. Однак перехід на АБ у цьому випадку може бути не виправданий, хоча вихід напруги за допустимі межі може призвести як до збоїв роботи споживача, так і для його виходу з ладу. У цьому випадку доцільно, не використовуючи енергію АБ, коригувати напругу за допомогою стабілізатора, функціонально об'єднаного з перетворювачем та перемикачами. Фактично стабілізатор з перемикачами є трансформатором з керованим коефіцієнтом трансформації. Перехід на батарею відбувається лише у разі відсутності напруги мережі або надмірної її

зниженні. Подібний різновид СБЖ прийнято називати інтерактивним (line-interactive) (рисунок 1.4).

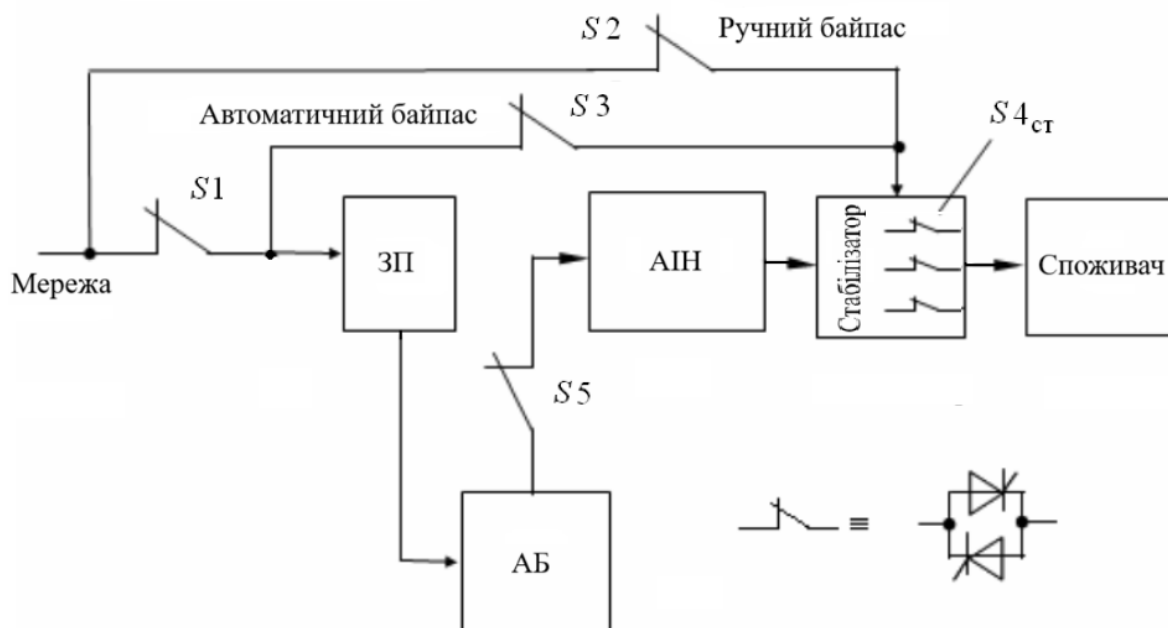


Рисунок 1.4 - Схема СБЖ типу "лінійно-інтерактивна" (line-interactive)

Схема line-interactive є вдалим компромісом між дорогими системами on-line та відносно простими off-line. Вони використовуються для живлення персональних комп'ютерів робочих станцій та файлових серверів локальних обчислювальних мереж, офісного та іншого технологічного обладнання, критичного до неполадок електромережі. Що стосується ступінчастого трансформаторного стабілізатора, більшість фірм-виробників застосовують тільки підвищувальний трансформатор («бустер»), що має одну або кілька ступенів підвищення. Однак зустрічаються СБЖ, оснащені універсальним регулятором, що працює як на підвищення (boost), так і на зниження (buck) напруги. Наприклад, серія СБЖ Smart Line забезпечена універсальним регулятором, що має сходинки як підвищення, так і зниження вхідної напруги. При цьому допустимий діапазон зміни вхідної напруги без переходу до «автономного» режиму роботи становить 220 В (-27 ... +22)%. Лінійно-інтерактивні СБЖ будуються або на основі керованих трансформаторів (КТ) з автоматичними перемикачами, або за схемою "трипорт". У СБЖ з КТ

трансформатор побудований за класичною схемою і зазвичай органічно пов'язаний з АІН, вихідним фільтром та автоматичними перемикачами.

СБЖ за схемою “три порт” використовує трансформатор спеціального виготовлення з магнітними шунтами – шунт-трансформатор (Ш-ТР), що володіє додатково фільтруючими та стабілізуючими властивостями. У цьому сенсі “три порт” можна назвати окремим різновидом СБЖ (рисунок 1.5). Фактично в такій СБЖ використовується ферорезонансний трансформатор, включений замість автотрансформатора з відведеннями. Він стабілізує напругу на виході СБЖ, що дозволяє їй працювати у широкому діапазоні мережових напруг без перемикання на АБ. Ферорезонансний трансформатор має значну індуктивність. Під час роботи СБЖ від мережі в магнітному полі трансформатора накопичується велика енергія, яка живить навантаження під час перемикання працюючи від АБ. Тому вихідна напруга такої СБЖ не має розрив у момент зникнення напруги в електричній мережі [2, 3].

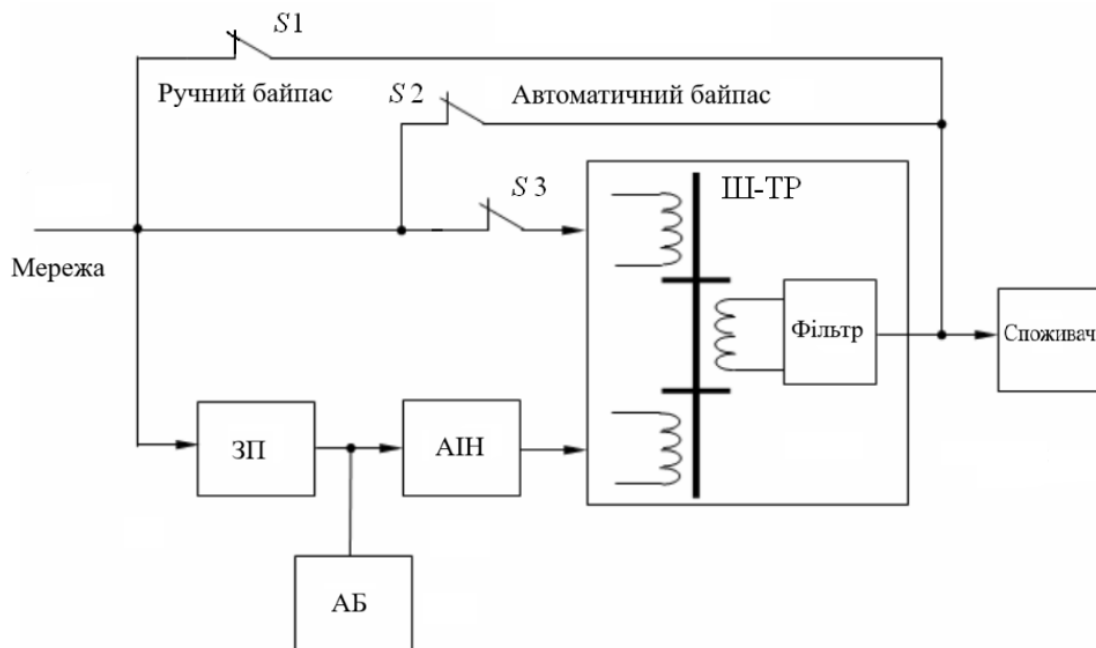


Рисунок 1.5 - СБЖ за схемою “три порт” на основі шунт-трансформатора (СБЖ “ферорезонансного типу”)

У такій схемі споживач може житися або від мережі через Ш-ТР при

вимкненому АІН, або від АБ через АІН при відключеній мережі. Добре те, що можливий і проміжний варіант, коли енергія до споживача надходить відразу від АІН та мережі. І тут Ш-ТР виконує погоджувальну функцію. Фільтрація на виході Ш-ТР допускає використання АІН з найпростішим законом 180° управління (регулювання).

При повному навантаженні ферорезонансний трансформатор забезпечує стабілізацію напруги з похибкою близько 1% при зміні напруги на вході на 15% щодо номінального. Найбільші можливості ферорезонансний трансформатор надає, якщо його навантаження менше від номінального. Так, при навантаженні близько 50% діапазон вхідних напруг розширюється більш ніж до 50% від номінальної вхідної напруги.

1.2 Різновиди компонування та умови проектування автоматизованих систем резервного та альтернативного електрозабезпечення

Якість електрики, що надходить із мережі загального електропостачання, залишає бажати кращого: часто відбуваються стрибки та короточасні падіння напруги, відключення електрики. Перепади напруги призводять до псування обладнання та побутових незручностей. А в офісних будинках чи малих підприємствах може не вистачити виділеної потужності мережі загального призначення. Розумний вихід із цих ситуацій – встановлення власної системи аварійного (гарантованого та безперебійного) електропостачання.

Також треба взяти до уваги, що у випадку офісної будівлі або невеликого підприємства частина споживачів підключається безпосередньо до муніципальної мережі загального електропостачання, інша частина через автомат введення резерву (АВР) живиться від електрогенератора, а спеціальна група споживачів підключається через джерело безперебійного живлення (ДБЖ) або інвертор. І тут електрогенератор служить джерелом гарантованого електропостачання, а ДБЖ – джерелом безперебійного

електропостачання. Електрогенератор включається, коли зникає напруга у мережі загального користування. Забезпечити автоматичне увімкнення генераторної установки можна за допомогою АВР. Якщо генератор не комплектується АВР, цей пристрій встановлюється окремо.

Генератор (електростанція) включає двигун внутрішнього згоряння, який приводить в обертання ротор електрогенератора. Так енергія згоряння палива перетворюється на електроенергію. Резерв автономної роботи генератора (залежно від ємності паливного бака) може становити від 4 до 48 годин. На сьогоднішній день новітні технології пропонують автономні дизель-генераторні установки (ДГУ), призначені виробляти електричну енергію в місцях, куди її подача іншими способами скрутна або тимчасово неможлива. Необхідна для вирішення конкретного завдання дизель-генераторна установка вибирається в межах модельного ряду, в якому представлені стандартні дизель-генератор від 10 до 1000 кВт. Якщо цього недостатньо, за бажанням в необхідності можлива реалізація індивідуальних проектів із збільшенням потужності до необхідного рівня [4].

До переваг ДГУ, насамперед належить автономність, портативність та простота використання. Для того, щоб ввести такий агрегат в дію, не потрібні якісь будівельні роботи, фундаменти і т.д. Все, що потрібно - це доставити генератор на місце, підключити електричний ланцюг до споживача, залити дизпаливо в бак і запустити двигун.

В якості аварійного джерела електроживлення можуть використовуватися різні установки на основі двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), а саме (рисунок 1.6):

- дизельні генератори (потужні установки, що обладнані дизельним двигуном внутрішнього згоряння, їх характерна велика потужність, підвищена продуктивність, функціональність та відмінні технічні характеристики, дизельні генератори здатні працювати в безперебійному режимі до 12 годин, забезпечуючи подачу електроенергії під стабільною напругою);

- бензинові або газові генератори (використовуються для аварійного енергопостачання невеликих будинків, вони також мають відносно невелику потужність, відрізняються мінімальним споживанням палива, мають високі технічні характеристики, прості та доступні у ремонті, час безперебійної роботи бензинових генераторів становить 4-6 годин);

- інвертори разом із сонячними батареями чи вітряними електростанціями (даний варіант автономного аварійного електропостачання відрізняється екологічністю та економічністю, його використовують для забезпечення електроенергією як невеликих заміських будинків, так і великих промислових об'єктів).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.6 – Види аварійних джерел електроживлення: а) – ДГУ, б) – бензинові або газові електроустановки, в) – інверторні, г) – сонячні електростанції.

Загалом в практиці використовується декілька варіантів організації аварійного енергозабезпечення великого офісного приміщення або незначного підприємства [4, 5]:

- перший варіант - поділ живлення за групами споживачів електроенергії, для кожної групи призначено власне джерело безперебійного живлення, установки в таких групах поєднуються за функціональною або територіальною ознакою і у разі виходу з ладу одного джерела живлення відключається лише одна група, решта продовжує працювати у стабільному режимі, якщо збільшується кількість устаткування однієї групи, досить змінити джерело аварійного енергопостачання більш потужний, у свою чергу. Слід звернути увагу, що кожен джерело живлення буде навантажене по-різному, тому час автономної роботи груп може істотно відрізнятися;

- другий варіант - побудова цілісної системи аварійного безперебійного енергопостачання, яка забезпечить електроенергією все підприємств, а основою вказаної системи є одне потужне джерело, даний спосіб аварійного енергопостачання зручніший і економічно вигідніший, він дозволяє здійснювати гнучке управління часом автономної роботи за рахунок відключення менш важливих навантажень;

- третій варіант - використання дворівневої системи, що є синтезом перших двох варіантів.

Незалежно від того, який вид аварійного електропостачання підприємства використовуватиметься, подача електроенергії буде якісною, а напруга стабільною.

Аварійне та резервне електроживлення – це не синоніми, а два різних способи підтримки працездатності виробничих потужностей підприємства. Резервне живлення – це система, що з одного чи кількох допоміжних джерел енергопостачання, що використовуються на додаток до централізованого. Воно застосовується для забезпечення роботи електричного обладнання за нестабільної напруги, коли стабілізатор не справляється з його вирівнюванням та якщо в мережі недостатньо потужності для коректного

функціонування пристроїв. Резервне живлення може не перекривати всі потреби користувача, воно лише засіб забезпечення електроенергією основних систем: освітлення, насосне обладнання, холодильна техніка, кондиціювання, охоронні системи.

Аварійне електроживлення повинне короткочасно компенсувати прогалини в централізованій подачі електричної енергії або при падінні напруги нижче критичного значення. Його особливості – автоматичний запуск та забезпечення функціонування всього спектра обладнання до появи чи стабілізації напруги централізованого електропостачання.

Підвищення надійності електропостачання з боку постачальника включає комплекс обов'язкових технічних заходів: регулярне обслуговування і заміна обладнання, скорочення радіусу дії електромереж, застосування підземних електрокабелів та інше.

З боку споживача надійність підвищується установкою системи резервного або аварійного електропостачання. Автоматичне перемикання живлення від акумуляторів ДБЖ, перетворюючи їх постійну напругу в змінну 220В, відбувається у випадках, коли основне електропостачання має відхилення від норми. Більшість енергетиків підприємств, а також їх власників відають перевагу встановленню дизель-, бензо- або газогенератор з автозапуском.

Загалом про вартісний показник підключення резервної системи складається з таких складових:

- вартість обладнання системи;
- вартість монтажних робіт;
- вартість робіт з організації системи внутрішнього електропостачання на підприємстві, якщо резервується лише частина системи.

При розробці системи необхідно враховувати, що при резервуванні “всього” її вартість збільшується кратно. У зв'язку з цим і потрібен поділ в електрощиті приймачів умовної групи життєзабезпечення (циркуляційні

насоси, холодильне обладнання, системи безпеки, вентиляція) від систем додаткового комфорту, наприклад, підігрів води у бойлерах, опалення і таке інше.

Система резервного електропостачання буде по-різному організована на різних підприємствах чи виробничих площадках одного і того ж підприємства. Її ціна розраховується індивідуально і залежатиме від кількості та потужності споживачів енергії, що резервуються, кількості акумуляторних батарей та іншого обладнання.

Електропостачання промислового підприємства та його виробничих потужностей - комплексна система, що забезпечує безперебійну подачу електричної енергії для технологічних процесів, освітлення, опалення та інших потреб виробництва. Воно включає безліч елементів, починаючи від джерел електроенергії і закінчуючи кінцевими споживачами. Для її створення слід використовувати провід ВВГ та інші види кабелів із відповідними характеристиками.

До основних елементів автоматизованої системи енергозабезпечення підприємства відносять [5]:

- джерела електроенергії - власні електростанції підприємства чи зовнішні мережі;
- розподільчі пристрої – це пристрої, що служать для прийому, розподілу та перетворення електроенергії;
- лінії електропередач, за ними електроенергія передається від джерел споживачам;
- електропристрої - вимикачі, запобіжники, трансформатори та інше;
- споживачі електроенергії - електроприводи, освітлювальні установки, електронагрівальні пристрої та інше.

Перед тим, як вибирати кабеля електричні для системи електропостачання, слід ознайомитися з головними принципами і параметрами. Вибір залежить від різних факторів - номінальна напруга (визначає товщину ізоляції дроту), номінальний струм (визначає перетин

жили дроту), умови експлуатації (температура навколишнього середовища, вологість, механічні навантаження тощо), спосіб прокладання (відкритий або прихований). До основних типів проводів (кабелів), які використовуються на промислових об'єктах відносяться:

- ВВГ - мідний з ПВХ-ізоляцією (один із найпоширеніших для внутрішньої прокладки);
- АВВГ - алюмінієвий аналог ВВГ (менш поширений через більш високий опір);
- СП (самонесучий ізольований провід) для повітряних ліній електропередачі;
- КГ - гнучкий із гумовою ізоляцією для підключення переносних електроприладів;
- НКГ - негорючий аналог КГ;
- кабеля спеціального призначення для різних умов експлуатації (наприклад, для прокладання в агресивних середовищах).

Правильний вибір проводів та грамотне проектування системи електропостачання – запорука безпечної та ефективної роботи промислового підприємства.

Основними засадами при проектуванні аварійного і резервного енергозабезпечення для підприємства є наступні етапи і принципи:

- розрахунок навантажень - визначення сумарної потужності всіх споживачів електроенергії для підприємства, що дозволяє вибрати необхідний переріз кабельних ліній та потужність трансформаторів;
- вибір схеми електропостачання - визначення оптимальної схеми підключення споживачів до джерела живлення з огляду на особливості виробництва та вимоги безпеки;
- вибір обладнання - трансформатори, розподільчі пристрої, кабельні лінії, дроти з урахуванням розрахункових навантажень та умов експлуатації;

- забезпечення безпеки - дотримання всіх вимог безпеки під час проектування, монтажу та експлуатації електроустановок;
- облік перспектив розвитку - планування системи з урахуванням можливого розширення виробництва та зміни технологічних процесів.

1.3 Автоматизація і диспетчеризація систем енергозабезпечення для підвищення ефективності роботи промислового об'єкта

Диспетчеризація електропостачання – це процес контролю та управління електроенергетичними системами, що дозволяє оптимізувати роботу електростанцій, трансформаторів, ліній електропередач та інших елементів енергетичної інфраструктури. Диспетчеризація відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та надійності основного та резервного електропостачання споживачів систем будь-якого об'єкта, споруди, промислової, житлової чи комерційної будівлі. Автоматизація електропостачання є однією із підсистем загальної інтегрованої системи будь-якого об'єкта.

Автоматизована система диспетчерського управління електропостачанням промислового підприємства (АСДУЕ) призначена для контролю та управління технологічними процесами та обладнанням на об'єктах електропостачання промислових підприємств (рисунки 1.7). Такі системи можуть бути територіально розподіленою багаторівневою інформаційно-вимірювальною централізованою системою реального часу.

До основних функцій АСДУЕ відносять [6]:

- контроль технологічних параметрів роботи електричної мережі та силового обладнання (значення струмів, напруг, потужностей, частоти та інше);
- реєстрацію перехідних процесів у внутрішніх мережах підприємства;

- збирання інформації з цифрових модулів вимірювальних перетворювачів;
- збирання інформації з мікропроцесорних пристроїв релейного захисту автоматики;
- контроль за положенням комутаційного обладнання та правильністю виконання перемикачів;
- дистанційне керування комутаційним обладнанням основного і аварійного (резервного) електропостачання;
- графічне та табличне подання поточних та архівних даних вимірювань;
- технічний облік електроенергії;
- вимір якості електричної енергії;
- формування протоколів результатів вимірів;
- передача даних в АСУ підприємства та зовнішні інформаційні системи.

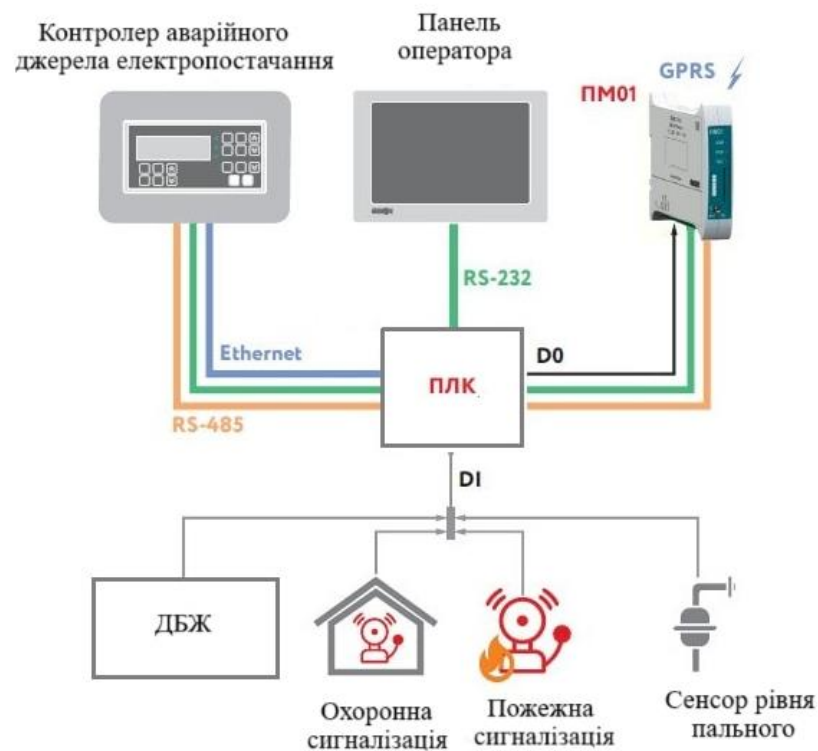


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд найпростішої автоматизованої системи диспетчеризації аварійного електропостачання

Диспетчеризація є ключовим елементом в управлінні системами гарантованого електропостачання, що дозволяє оптимізувати їх роботу та підвищити ефективність. До основних задач, які виконує АСДУЕ відносять:

- збір та аналіз даних про роботу енергосистеми (включає вимірювання параметрів струму, напруги і потужності на кожному елементі мережі, а також контроль за станом обладнання і його працездатністю, на основі отриманих даних диспетчер приймає рішення про коригування режимів роботи енергосистеми, щоб забезпечити стабільність та безпеку електропостачання);

- управління та контроль (диспетчер може змінювати параметри роботи обладнання, щоб оптимізувати використання енергії та знизити навантаження на мережу, наприклад, він може зменшити потужність, якщо навантаження на мережу надто високе, або збільшити її, якщо є вільні потужності);

- керування режимами роботи мережі (диспетчер може перемикає лінії електропередачі, щоб розподілити навантаження між різними ділянками мережі та запобігти перевантаженню, це особливо важливо за аварійних ситуацій, коли необхідно швидко відновити нормальну роботу мережі;

- оптимізація використання енергії (диспетчер може керувати режимами роботи обладнання та розподілом навантаження, щоб знизити споживання енергії, це може бути особливо важливим в умовах обмежених ресурсів або при необхідності економії енергії).

Таким чином, диспетчеризація енергопостачання відіграє важливу роль в управлінні та контролі за роботою електричних систем загалом.

Устаткування для системи автоматизації енергопостачання умовно можна поділити на три основні складові (рисунки 1.8) [7, 8]:

- верхній рівень (на верхньому рівні відбувається збір, структурування інформації, і навіть автоматизація усіх процесів, це програмне забезпечення, встановлене на серверах управління, управління технічними процесами відбувається через другий рівень);

- інтеграційний рівень (на цьому рівні відбувається отримання, передача та керування інформаційними потоками);
- управління технічним процесом (третій або нижній рівень служить для збирання інформації та фізичного управління, рівень включає контролери, сенсори, вимірювальні прилади, генератори, трансформатори і інше обладнання).

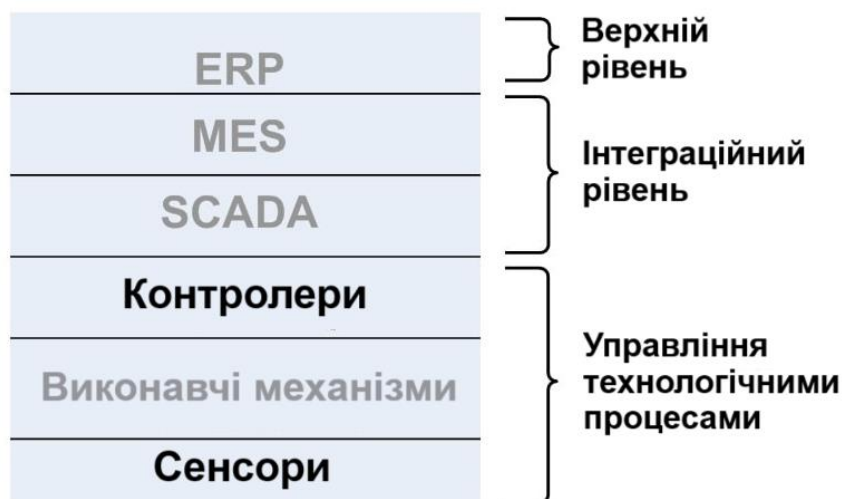


Рисунок 1.8 – Ієрархічна структура обладнання та устаткування АСДУЕ

Основою АСДУЕ є багатофункціональний контролер або програмовано-логічний контролер (ПЛК). Продуктивність і комплектація контролера вибирається в залежності від обсягу даних, що збираються, і виконуваних функцій, що дозволяє технічно і фінансово оптимізувати витрати по кожному з об'єктів, що заводяться в систему (рисунок 1.9).

Зібрана інформація з кожного об'єкта передається через локальну обчислювальну мережу підприємства на верхній рівень. За допомогою програмного забезпечення оброблена інформація може відображатися на головному щиті управління (ГЩУ) у вигляді мнемосхем, графіків та таблиць, а також на автоматизованих робочих місцях (АРМ) обслуговуючого персоналу [8, 9].

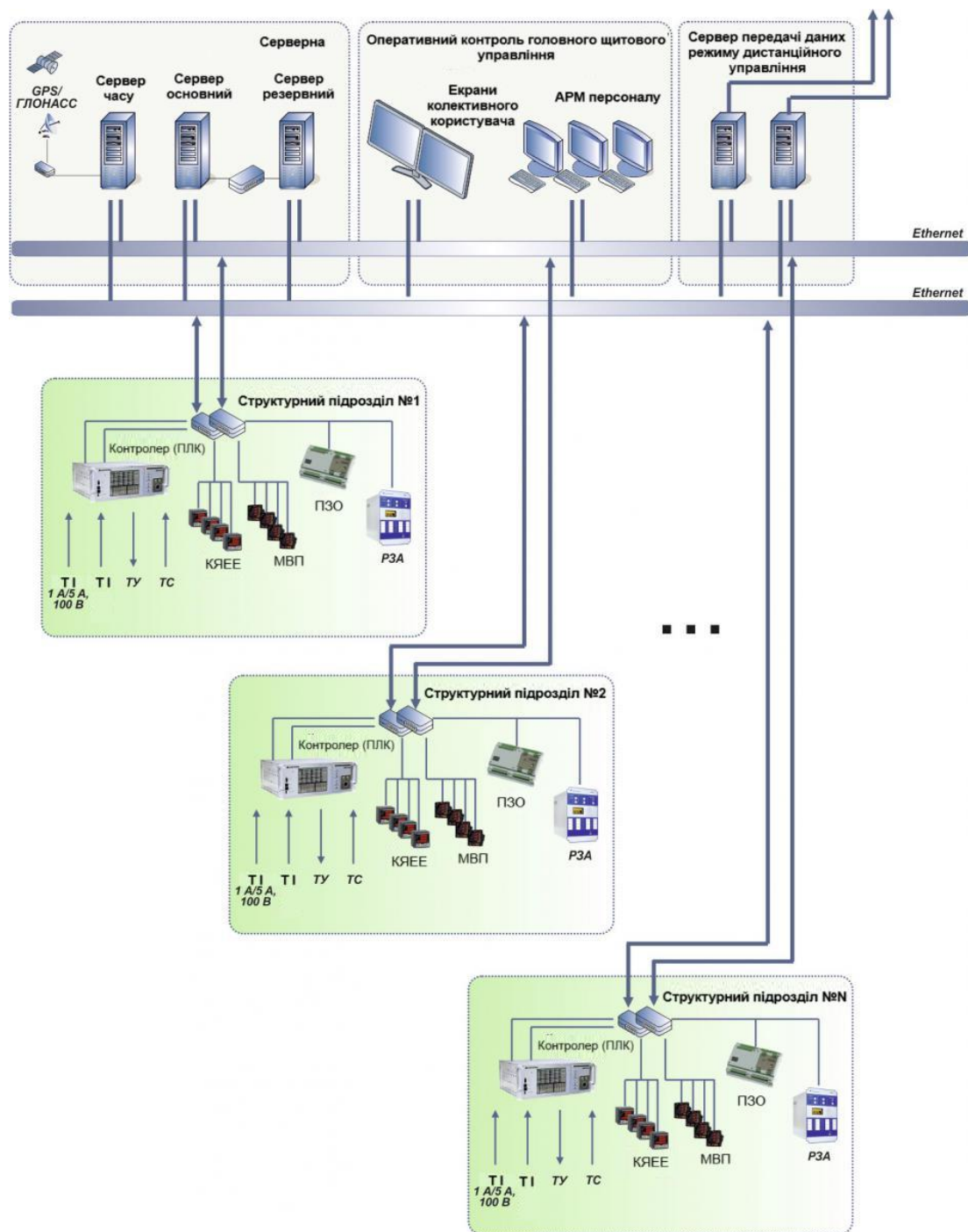


Рисунок 1.9 – Структурна схема АСДУЕ великого підприємства

У системі передбачена можливість управління комутаційним обладнанням, сигналізації про різні події в системі електропостачання, також передачі даних нормального режиму та аварійних осцилограм з реалізацією технічних вимог системного оператора щодо обміну технологічною інформацією.

На рисунку 1.9 наведено узагальнену структуру системи диспетчеризації електропостачання промислового підприємства. Система об'язує всі об'єкти енергетичного господарства, починаючи з розподільчої підстанції будь-якого класу напруги і закінчуючи цеховими розподільчими щитами. На кожному такому об'єкті здійснюється збір інформації про поточний, нормальний режим роботи з використанням аналогових або цифрових перетворювачів або інформації з терміналів РЗА та різних пристроїв зв'язку з об'єктами (ПЗО). На найбільш відповідальних підстанціях також здійснюється реєстрація аварійних подій та контроль якості електричної енергії (КЯ ЕЕ).

Загалом потрібно відзначити, що диспетчеризація електропостачання основного, аварійного чи резервного із застосуванням сучасних технологій, таких як ПЛК, дає широку можливість програмування різних сценаріїв освітлення, керувати різними електроприладами та сенсорами, моніторити за ситуацією через диспетчерський пункт, приймати рішення про коригування режимів роботи енергосистеми, а також в автоматичному режимі забезпечувати стабільність та безпеку всієї системи електропостачання.

2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РЕЗЕРВНИМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Обґрунтування умов та необхідності електрозабезпечення промислових підприємств та вибір схеми мережі живлення

До оснащення та облаштування систем, що забезпечують електропостачання підприємств промислової сфери, висуваються особливі вимоги. Від якісної енергії та безперебійності її постачання залежить безперервність технологічного процесу. Елементи системи електропостачання промислових об'єктів на сьогоднішній день є найрізноманітніші (безліч виробників того чи іншого енергетичного обладнання). Їхні функції – забезпечення електроенергією електромеханізмів, освітлювальних пристроїв, апаратів для зварювання, верстатів, різноманітних машин, що працюють на виробничих майданчиках. Основні джерела, що відповідають за вироблення електроенергії – гідро- та теплові електростанції. Від електростанцій енергія передається на потужності центральних розподільчих підстанцій, що є на великих підприємствах. По високовольтних лініях електропередач (ВЛЕП) вона надходить на обладнання цехових розподільчих пунктів, а потім відправляється до кожного споживача (рисунок 2.1).

Основна структура систем енергорозподілу представлена на рисунку 2.1, яка включає в себе наступні елементи [10]:

- джерела електроенергії;
- електропередаючі лінії, ЛЕП;
- пункти прийому електроенергії;
- розподільчі мережі;
- енергоприймачі (споживачі).

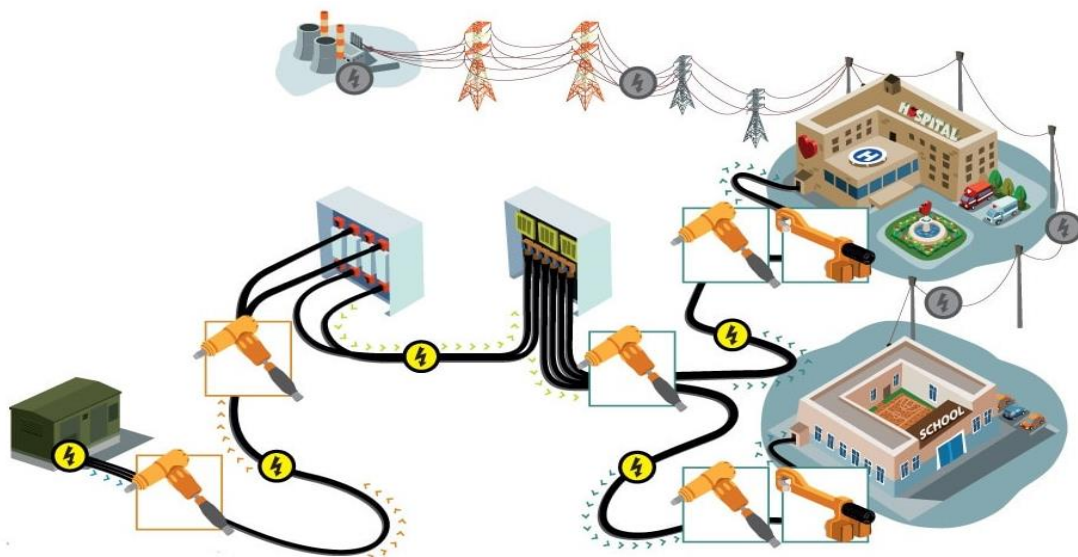


Рисунок 2.1 – Організація передачі електроенергії від виробника до споживача

Для функціонування електросистем потрібна наявність мереж живлення та спеціального обладнання розподільного призначення. Схеми живлення підбирають з опорою на потужністю, якої потребує споживач. Вони бувають магістральними, радіальними, мішаними. По магістральних схемах на різних ділянках приєднуються лінії. Вони служать для постачання електроенергії на вузли та потужні майданчики споживання. Такий тип використовується для машино- та приладобудівної сфер, заводів, пов'язаних з енергоємними виробництвами. Це надійні конструкції, що експлуатуються у просторах, де неагресивні середовища, а робочі механізми розподілені рівномірно. Установка радіальних схем підходить для виробничого приміщення, незалежно від середовищ, що переважають у ньому. Їх конструкція передбачає з'єднання споживача з підстанцією чи пунктом розподілу електроенергії з допомогою окремих ліній. Такі схеми відповідають за живлення зосереджених навантажень та потужних електродвигунів. Змішана магістраль це магістраль, яка живить кілька пунктів, від кожного з яких до споживачів ведуть радіальні лінії.

Для виробничих потужностей передбачено наявність підстанцій, що здійснюють живлення, розподільчі функції, трансформаторного та

перетворювальних типів. Вони зв'язуються за допомогою кабельних комунікацій, мереж повітряного розташування та струмопроводів високої та низької напруг. Розподіл електроенергії від 35-220 кВ відбувається з допомогою повітряних ліній, від 6 до 10 кВ – кабельних.

Серед основних вимог - гнучкість, надійність, зручність, безпека експлуатації. Вони мають постачати на підприємство енергію у необхідних кількостях, без перебоїв при режимі як нормальному і після аварійному та резервному.

Також має враховуватися економічність з мінімум витрат на кожен рік, енерговитрат, витрат на дефіцитні матеріали, дорогі деталі та конструкції. Монтаж проводиться з мінімальним віддаленням від основних точок живлення, зі зведеною до мінімуму кількістю трансформаційних сходів, надійністю магістральних схем.

Як джерело живлення виробничого підприємства можна розглядати електростанцію централізованого типу чи власну станцію. Другий варіант доречний для енергоємного об'єкта, при спеціальних запитах, пов'язаних з надійністю постачання енергії, при розташуванні, віддаленому від центральних електросистем.

Створюючи підстанції та електромережі, слід вести їх облік у будівельно-технологічних частинах, щодо черги будівельних робіт, занесення у загальний генеральний план. Це важлива складова у загальному комплексі підприємств поряд з рештою комунікаційних споруд та будинків.

Першим ділом, аналізуються та плануються навантаження, що виникають у процесі роботи. Грамотне планування забезпечує продуктивність та правильність діяльності всіх системних частин. Для функціонування виробничих майданчиків необхідна трифазна подача змінного струму. Для живлення енергоприймачів, які використовують постійний струм, використовуються перетворювачі особливого зразку. Великі виробництва оснащені рядом перетворювальних підстанцій, де використовуються випрямлячі ртутної та напівпровідникової конструкції.

Здебільшого промисловість потребує змінного трифазного струму в 50 Hz. Підвищені та високі частоти потрібні для індуктивного та діелектричного нагріву. Обов'язково необхідно враховувати відмінність навантаження у кожній фазі. Промислові об'єкти обладнуються несиметричними та симетричними приймачами.

Важливими додатковими вимогами є приймачі, робота яких передбачає різко змінне навантаження ударного типу, яка повторюється циклічно. Ще безперебійне живлення постачається споживачам, класифікованим за ступенями резервування на три типокатегорії [12].

У першій категорії – електроприймачів із найважливішими механізмами, деталями, транспортом. Вони мають функціонувати безперебійно. Перерва в їхній діяльності повністю припинить перебіг технологічного процесу, становитиме загрозу для здоров'я та життя співробітників. Припинення електроподачі часто призводить до виходу з ладу обладнання.

Дана категорія потребує двох автономних джерел живлення. Тривалість перерви має становити період часу, який знадобиться, щоб увімкнувся резервний захист. Електронавантаження першої категорії представлені обладнанням для доменного цеху, відповідальної насосної, котельні, що виробляє виробничу пару, водовідливних та підйомних машин гірничорудних підприємств.

Якщо зупинка приймача здатна викликати аварію чи надзвичайну ситуацію, він належить до «особливої групи». Перебої здатні спровокувати масові отруєння, пожежу, вибухи. Для таких електричних навантажень необхідний монтаж третього електрорезерву. Для прикладу, можна привести електричні двигуни запірної арматури, засувки, електроприводи вентиляторів, насоси компресорів, прилади аварійного освітлення на ділянках підприємства.

До другої категорії належить електрообладнання, що відповідає за функціонування робочих механізмів. Збої в його діяльності загрожують

зниженням продуктивності, простоєм машин, персоналу. Виникає необхідність встановлення двох (одного з них – резервного) джерел живлення. Дозволено перерву такої тривалості, щоб черговий запустив вручну генератор резерву. Якщо не передбачено наявності постійних співробітників, резерв може увімкнути виїзна бригада.

Вимоги постачання енергії для цієї категорії приймачів значно різняться. Одні будуть наближені до першої, інші – до третьої. При розгляді питання спецрезервування потрібно зі слатися на правила пристрою електроустановки. Це забезпечить раціональне використання енергетичних ресурсів та витрат на оснащення електросистеми.

До третьої категорії входить інше електрообладнання, що забезпечує постачання енергії на невідповідні складські приміщення, у другорядні цехи. Перерва може тривати до 24 годин. За цей термін здійснюються ремонти із заміною пошкоджених деталей або відбувається оновлення обладнання.

Аварійний та післяаварійний режим роботи такої енергомережі аргументується внутрішньою структурою організації АСДУЕ. Щоб правильно вирішити питання, пов'язані з надійністю постачання електроенергії та ступенем резервувань, потрібне суворе визначення режимів. Один з них виникає в період аварії, другий – слідує за ним.

Виникнення аварійного режиму відбувається із порушенням нормального режиму роботи. Воно пов'язане з перебоями у функціонуванні електросистеми об'єкта (ділянок, елементів). Аварійний відрізняється короткочасністю і вважається перехідним, що триває до вимкнення проблемних ланок. Такий режим триває, доки не спрацює захист: автоматика, реле, телеуправління.

Після аварійний йде на зміну аварійному режиму і виникає після того, як пошкоджені ланки відключаються. Його тривалість залежить від часу, затраченого усунення поломок. Він закінчується з відновленням нормального режиму із звичайними робочими умовами. Створення має ґрунтуватися на умовах, які дозволять йому протягом післяаварійного

режиму займатися забезпеченням роботи основних виробничих ділянок після необхідних перемикань чи під'єднань. Для цього доречним є застосування засобів, можливостей, що не використовуються при нормальному функціонуванні електромережі (відновлення функціональності за допомогою перемичок, зв'язок, в основі яких – вторинна напруга).

Після аварійний режим допускає можливість обмежити рівень потужності, що подається, або створити короткі перерви в постачанні приймачів третьої і частково другої категорії, поки будуть проводитися перемикання чи перепідключення. Дозволяється відступати від норми ступенів відхилень, стежачи за коливаннями напруг і частот, що коливаються, не виходячи за межі допусків. При цьому навантаження елементів мереж допускається в діапазоні, прописаному у відповідному нормативному документі. Якщо у післяаварійному періоді неможливо повністю зберегти функціонування основних технологічних виробництв, важливо обмежити потужності поруч із запровадженням скороченого виробничого графіка. Ще один варіант передбачає підтримку процесів у стані гарячого резерву. Це дозволить швидко відновити технологічний процес після відновлення енергопостачання.

2.1.1 Функціональні пристрої та способи захисту електромережі підприємства

Захист системи енергопостачання відбувається комплексними заходами направленними на забезпечення якісного функціонування технічних засобів автоматизації, стійкості і живучості енергомережі до зовнішніх подразників (скачків напруги, зсув фази, перенапруги та інших факторів). В захист входять спеціальні пристрої та технічні засоби, що автоматично відключають пошкоджену ланку при перевантаженнях, коротких замиканнях, перенапругах, пов'язаних з атмосферними впливами,

надструмах. До такого рівня захисту висувається низка вимог. Ефективність функціонування пристроїв захисту визначається наступними чинниками [13]:

- захистоспроможністю (захищеність всього об'єкта від будь-якого типу пошкоджень, ненормального режиму);
- чутливістю (фіксація пошкоджень має здійснюватися незалежно від робочих режимів);
- селективністю (проводити відключення комутаційного і комутаційно-захисного апарату вибірково, у безпосередній близькості від місця ушкодження);
- стійкістю функціонування (захист повинен надійно спрацювати, якщо пошкодження відбулося всередині ділянки, що захищається, і не реагувати на зовнішні дефекти);

Прямий захист здійснюється автоматичними повітряними вимикачами, запобіжниками. Для високовольтних об'єктів використовується комплект, що складається з чутливого комутаційного апарату та реле. Роль електромеханічних, мікроелектронних, мікропроцесорних реле - фіксувати появу надструмів і подавати команду на переведення силових контактів вимикача в положення "вимкнено".

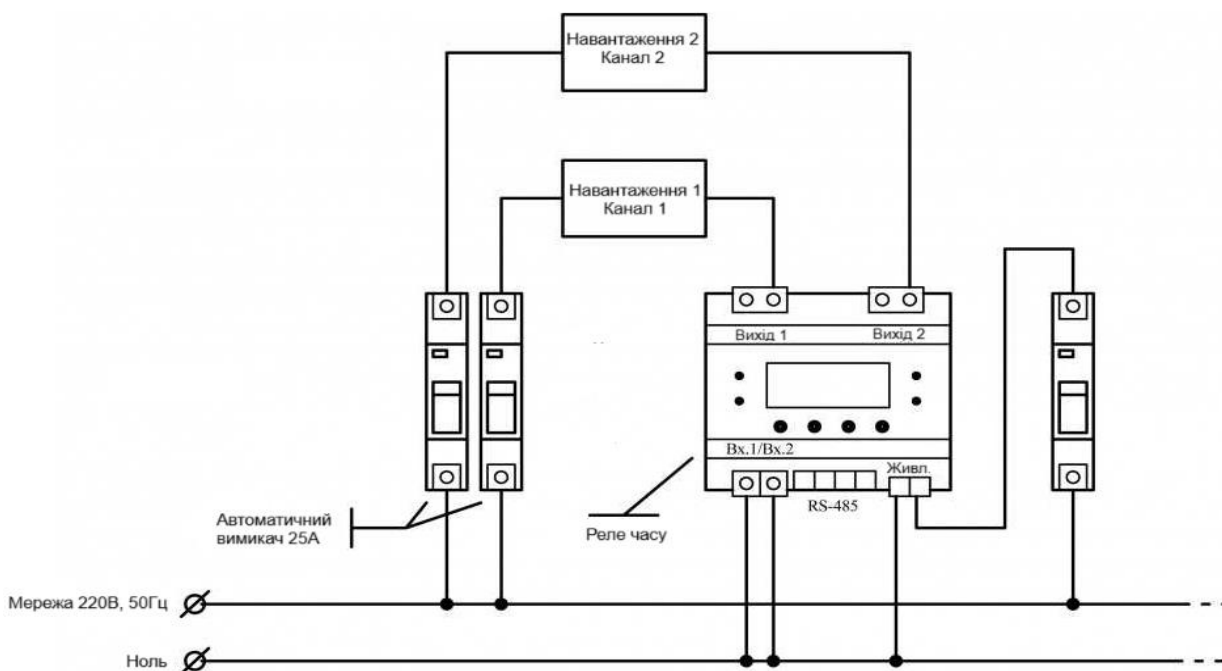


Рисунок 2.2 – Схема включення реле захисту в мережі енергопостачання

Функції релейного захисту зводяться до фізичного розмикання між джерелом напруги та споживачем. Електропостачання часто схильне до впливу негативних факторів, які проявляються в перевантаженнях, коротких замиканнях, перевищення встановлених показників частоти і напруги. Функції автоматичних пристроїв та реле-захисту – контроль роботи всіх частин електросистеми, подача команди вимикати, перемикати, вмикати потрібні елементи. Автоматика надсилає повідомлення про аварійну ситуацію, щоб оператор міг припинити її вплив на робочий процес.

Реле – основна частина захисту такого виду. На його вхідній ділянці порівнюється збіг величин, що надходять, із заданими. Якщо вони не збігаються, на виході параметри змінюються на потрібні або створюються передумови для вимкнення.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд реле захисту типу EPF-43

На сьогоднішній день на ринку промислових електронних компонентів розрізняють види реле за функціональним призначенням:

- проміжне – передає дії вимірювального на вимикачі, розмножує сигнали інших приладів, посилює, передає;
- вимірювальне – має високу чутливість, коефіцієнт повернення, порівнює контрольовану величину із встановленою;

- виконавче - останнє у схемі, що безпосередньо управляє відключенням.

Безперебійне подання електроживлення запорука якісного протікання технологічних процесів. Для ефективного безперервного здійснення технологічних операційних циклів важлива якість електроенергії. Поява перебоїв, перешкод, стрибків у напрузі порушується технологія, скорочується термін служби електроустаткування. Наявність системи безперебійного живлення (СБЖ) дозволяє виконати заміну постійного джерела струму тимчасовим, щоб усунути перебої з електрикою. Підключаючи прилади та механізми до автоматизованого обладнання, можна забезпечити їхню безперебійну діяльність.

Безперебійники реалізуються у кількох схемах. Вони бувають ферорезонансними, що взаємодіють з мережею, з перемиканням, подвійним перетворенням електроенергії. У кожної – свої певні особливості та сфера використання.

З допомогою СБП непомітним чином здійснюється підключення резервного електроживлення в момент аварії на лінії, порушення постачання високовольтними імпульсними перешкодами. Також вони відповідають за коригування частоти. Кожна промислова модель аварійного електропостачання має відповідати підвищеним вимогам, адже її функція – захищати низку критично складних навантажень. Якщо вони якимось чином знеструмляться, наслідки будуть непередбачуваними. СБП повинні мати відповідну потужність, бути максимально надійними. Завдяки їх дії запобігають аварійним ситуаціям, мінімізуються матеріальні збитки.

2.2 Розробка структурної схеми автоматизованої системи резервного енергозабезпечення виробничої площадки

Диспетчеризація управління енергооб'єктами за допомогою АСУ електропостачання дає економію споживаної електроенергії за рахунок

різкого зниження заявленої потужності, збільшення коефіцієнта використання виділеного ліміту потужності, зниження питомого коефіцієнта споживання енергії цехами. Особливої актуальності завдання обліку електроенергії набуло в умовах сучасного ринку електроенергії та потужності, коли ціна електроенергії постійно зростає. Досвід застосування автоматизації обліку електроенергії показує, що потужність, що заявляється підприємством, і оплата за електроенергію знижується на 4-6%.

Диспетчеризація електропостачання дозволяє скоротити втрати через недорозходу та неякісну продукцію. Застосування високоточних лічильників електроенергії дозволяє заощадити 0,5-1% коштів під час розрахунків з енергозбутовими підприємствами.

Зменшення кількості кабельних зв'язків у системі веде до зниження капітальних витрат за обладнання до 10%. Автоматичне діагностування режимів роботи обладнання, відстеження вироблення ресурсу та, відповідно, своєчасність ремонтних робіт ведуть до збільшення терміну служби обладнання, зниження аварійності та витрат на ремонтні роботи до 10%.

Зниження трудовитрат на обслуговування мікропроцесорної техніки, постійна самодіагностика системи призводять до зниження загальної кількості необхідного обслуговуючого персоналу та економії фонду заробітної плати на 5-10%.

Сучасна автоматизована система диспетчерського контролю основного та резервного енергоспоживання – це комплекс розподілених програмно-технічних засобів, який забезпечує збір даних з обладнання, встановленого на лініях електропередач, розподільних та трансформаторних підстанціях, обробку та передачу зібраних даних до диспетчерських пунктів головних офісів та філій електромережових компаній, а також реалізує функції диспетчерського управління обладнанням та моніторингу його стану (рисунки 2.4).

Основним завданням розробки АСДКУЕ є [14]:

- забезпечення диспетчерського контролю та обліку енергоспоживання в мережах компанії;
- підвищення ефективності диспетчерсько-технологічного управління зниження експлуатаційних витрат;
- отримання своєчасної та якісної технологічної інформації з енергооб'єктів;
- відображення графічної інформації згідно з реальною схемою електропостачання компанії;
- організація віддаленої роботи користувачів з розмежуванням прав доступу;
- архівування та тривале зберігання результатів вимірювань;
- можливість поетапного впровадження, супроводу та розширення системи силами персоналу компанії.

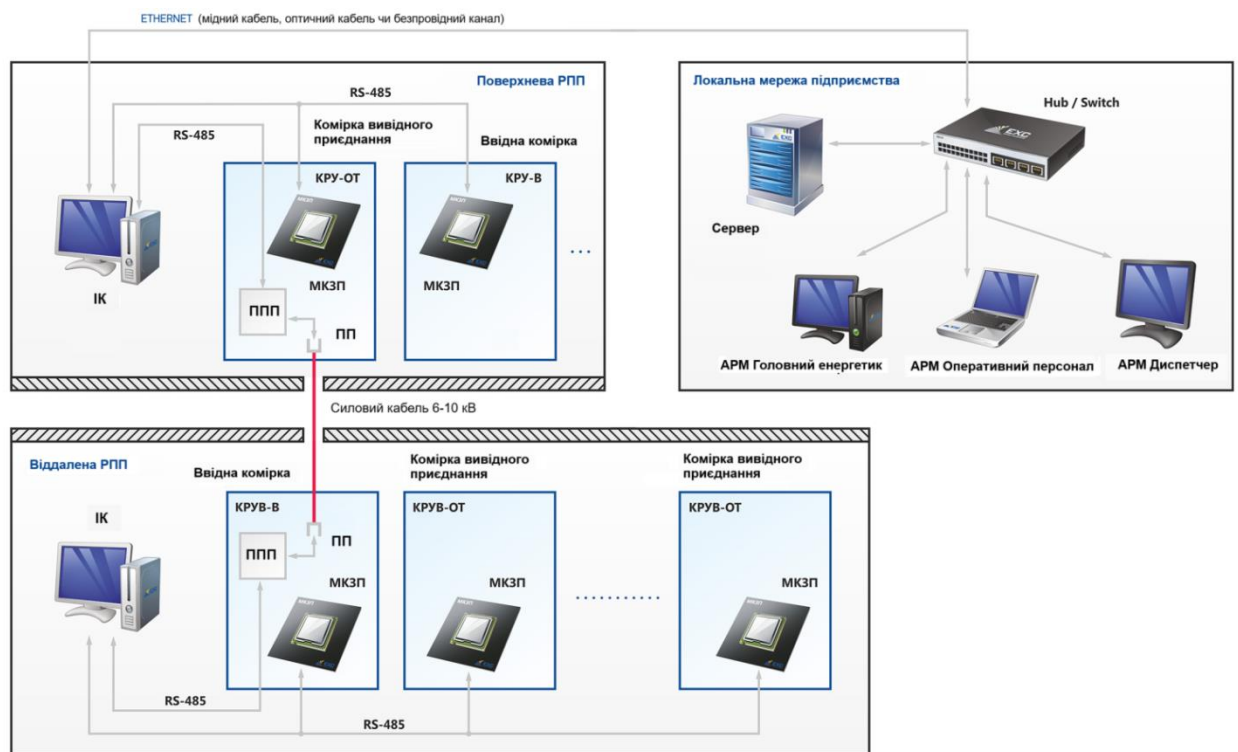


Рисунок 2.4 – Загальна структура автоматизована система диспетчерського контролю основного та резервного енергоспоживання включає: КРУ-ОТ, КРУ_В – високовольтне комутаційне обладнання, МКЗП – мікроконтролерний блок захисту приєднань, ПП – пристрої приєднання, ППП – прийомо-передаючий пристрій, ІК – інтелектуальний комутатор.

Характерними рисами АСДКУЕ є високовольтне комутаційне обладнання виробництва провідних світових виробників, що має вбудовану систему передачі даних і дозволяє легко масштабувати систему диспетчеризації електрогосподарства, включаючи нові розподільчі підстанції в систему практично відразу після їх запуску в експлуатацію. Надійність функціонування забезпечується дублюванням каналів зв'язку по парі ввідних приєднань, а також за рахунок можливості реалізації віртуальних кілець, що дозволяють організовувати резервні маршрути доступу до пристроїв низького рівня.

Дана АСУ ефективна для створення комбінованих систем, які використовують будь-які доступні канали зв'язку та забезпечують інтеграцію до системи найрізноманітніших завдань автоматизації. Автоматизована система включає зручні програмні засоби з обслуговування та експлуатації, також можлива інтеграція з АСУ ТП та АСУ П.

Будь-який виробничий технологічний процес тісно пов'язаний з електропостачанням виробничого обладнання та є основним споживачем електроенергії на підприємстві. Тому важливою та невід'ємною частиною АСУ ТП є контроль та керування електротехнічним обладнанням (вимикачі, трансформатори та інші пристрої) для забезпечення безперебійного постачання основного виробництва електроенергією та зменшення часу простою обладнання при аваріях.

В даний час широко впроваджуються сучасні мікропроцесорні пристрої захисту, автоматики та управління (термінали РЗА) різного первинного електротехнічного обладнання всіх рівнів напруги 0,4-10 кВ та вище. Термінали застосовуються в схемах вторинної комутації для використання як основні та резервні захисти. Поруч із виконанням функцій РЗА термінали є і інтерфейсними пристроями нижнього рівня (ПНР) для побудови систем управління. Термінали можуть передавати вимірювані величини, параметри аварійних режимів, значення уставок, осцилограми, інформацію про стан обладнання АСУ, а також виконувати дистанційне керування об'єктом

автоматизації. Інтеграція терміналів РЗА в АСУ дозволяє зменшити капітальні витрати на обладнання ПНР при створенні АСУ електропостачання [15].



Рисунок 2.5 – Інтелектуальні пристрої релейного захисту і автоматизації серії SPAC8xxx

Термінали РЗА, що представлені на рисунку 2.5 серій SPACOM, SPAC8xx, REx5xx, а також інтелектуальні електронні пристрої сімейства Relion® виконані на мікропроцесорній елементній базі та призначені для захисту різного первинного електротехнічного обладнання. Термінали застосовуються в схемах вторинної комутації для використання як основні та резервні захисти напругою 0,4-35 кВ.

Комплектні пристрої захисту, керування та автоматики серії SPAC 800, SPAC810 виробництва провідного виробника призначені для захисту з'єднань 6-35 кВ. Термінали REF542plus мають вільно програмовану логіку, що дозволяє реалізувати на них будь-яку конфігурацію захисту та автоматики. Термінали серії Relion мають покращені масо-габаритні показники та унікальну роз'ємну конструкцію, що дає переваги при монтажі та обслуговуванні пристроїв. Крім того, серія 615 повністю підтримує сучасний стандарт IEC 61850.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд терміналів захисту фідерів

Всі термінали представлені на рисунку 2.6 відрізняються високою якістю та надійністю, мають широкий перелік інтерфейсів із системою АСУ, здійснюють індикацію поточних та аварійних значень струмів та напруг, установок та каналів, що спрацювали на цифровому дисплеї. Поруч із виконанням функцій РЗА термінали є інтерфейсними пристроями нижнього рівня побудови систем управління енергооб'єкта. Термінали можуть передавати вимірювані величини, параметри аварійних режимів, значення установок, осцилограми, інформацію про стан обладнання в АСУ, а також здійснювати дистанційне керування об'єктом.

Пристрої серія 615 багатофункціональні засоби захисту та управління. Нова серія 615 виду Relion® призначена для захисту, управління, вимірювання та контролю розподільчих підстанцій та промислових мереж середньої напруги. Нова апаратна платформа розроблена для використання всіх можливостей стандарту зв'язку та сумісності MEK 61850 при автоматизації підстанцій та мереж [16].

Завдяки наявності стандартних конфігурацій, пристрої серії 615 можуть бути швидко встановлені і введені в роботу після завдання необхідних уставок. Якщо потрібна адаптація під спеціальні умови експлуатації, пристрій дозволяє змінити стандартну конфігурацію за допомогою

інструмента редагування внутрішніх сигналів (Signal Matrix Tool), що входить до складу стандартного пакета програм для конфігурування та параметризації пристроїв сімейства Relion'-' — PCM600. Пакети зв'язку з персональним комп'ютером (Connectivity Packages) включають інформацію про пристрої релейного захисту ABB з описом сигналів, параметрів і адрес і дозволяють виконувати конфігурування пристрою в середовищі MicroSCADA Pro або програмного забезпечення PCM600. Знімні модулі та касета пристрою дозволяють використовувати різні типи монтажу, швидку заміну, перевірку та обслуговування.

2.3 Обґрунтування вибору засобів автоматизації системи комплексу систем електропостачання промислового об'єкта

Для нашого часу характерний перехід від локальних однорівневих АСУ ТП до багаторівневих інтегрованих систем управління технологічними процесами та підприємством загалом. Інтегрована АСУ (ІАСУ) забезпечує автоматизацію як окремих пристроїв та ділянок нижнього рівня, так і глобальних вертикально інтегрованих систем технологічного та адміністративно-господарського управління на заводському рівні. Дана система орієнтована на рішення завдань як економічного, виробничого управління так і традиційних прикладних завдань управління роботою технологічних агрегатів та забезпечення безпеки їх роботи.

ІАСУ промислових підприємств включає в себе ряд компонентів [17, 18]:

- АСУ підприємства (АСУ П) чи корпоративна інформаційна система (KIC);
- АСУ ТП основних виробництв;
- АСУ електро- та енергопостачання;
- АСКУЕ.

Створення інтегрованої АСУ дає найбільший ефект при автоматизованому управлінні всією технологією, а не лише основною. При аналізі ринку програмно-технічних засобів можна побачити чіткий розподіл на АСУТП та АСУ електропостачання. Найбільш спеціалізованою із підсистем ІАСУ є АСУ електропостачання (АСУ ЕП).

Основною специфікою електропостачання АСУ є наступні пункти:

- швидкоплинність електричних процесів;
- застосування різних, спеціалізованих терміналів захистів залежно від типу електрообладнання та рівня напруги;
- необхідність наявності реєстраторів аварійних режимів та своєчасна передача осцилограм на верхній рівень;
- відсутність єдиного стандарту на комунікаційний протокол (ІЕС 61850), внаслідок цього безліч різних протоколів;
- необхідність технічного та комерційного обліку електроенергії з функціями автоматичних розрахунків та передачею інформації на великі відстані;
- необхідність організації АРМ електрика з можливістю віддаленої роботи з терміналами РЗА.

Базою для побудови сучасних АСУ резервного електропостачання рівня електрообладнання є мікропроцесорні пристрої захисту автоматики і управління (термінали РЗА), які, крім функцій РЗА, виконують функції УСО та мають порти зв'язку. Для інтеграції до системи об'єктів, не охоплених терміналами РЗА, використовуються термінали УСО (контролери). АСУ ЕС також дозволяє реалізувати інтеграцію до неї лічильників електроенергії для виконання функцій АСКОЕ.

Спроба побудови АСУ ЕС лише з урахуванням пристроїв зв'язку з об'єктом не забезпечує виконання всіх необхідних службі енергетика функцій й у більшості випадків закінчується звичайною "телемеханізацією".

Будь-який виробничий технологічний процес тісно пов'язаний з електропостачанням виробничого обладнання та є основним споживачем

електроенергії на підприємстві. Тому важливою та невід'ємною частиною АСУТП є контроль та керування електротехнічним обладнанням (вимикачі, трансформатори та інше) для забезпечення безперебійного постачання основного виробництва електроенергією та зменшення часу простою обладнання при аваріях. Інтеграція АСУ ТП та АСУ електропостачання може бути виконана у різний спосіб для різних підприємств.

Мікропроцесорні пристрої захисту виконують ті ж функції, що і прості пристрої релейного захисту та автоматики, але на основі нової елементної бази - мікропроцесорних елементів (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд мікропроцесорного пристрою захисту підключень

Основні характеристики мікропроцесорних захистів значно вищі, ніж у мікроелектронних, а тим більше електромеханічних. Наприклад, потужність, споживана від вимірювальних трансформаторів струму і напруги, становить 0,1–0,5 ВА, апаратна похибка — не більше 2–5%, коефіцієнт повернення вимірювальних органів становить 0,96–0,97.

Мікропроцесорний термінал релейного захисту автоматики (РЗА) серії «ТОР 200-16К» є компактною версією терміналу РЗА серії «ТОР 200-16» та призначений для здійснення функцій захисту первинного обладнання,

керування та сигналізації на об'єктах енергетики з напругою 6(10)-35(110) кВ, у тому числі і на цифрових підстанціях (І та ІІ архітектури). Для позначення компактного виконання терміналу вводиться буква "К", що дозволяє ідентифікувати апаратну відмінність, наприклад: "ТОР 200 Л 22 3235-16К".



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд мікропроцесорного терміналу релейного захисту автоматики

До основних функцій пристрою відносять [18]:

- автоматика керування вимикачем;
- струмовий захист: спрямована і ненаправлена МТЗ та ОЗЗ;
- диференціальний струмовий захист;
- комплект захисту двигуна (в тому числі “теплова” модель);
- реле мінімальної і максимальної напруги;
- вимірювальні органи частоти, швидкості зміни частоти;
- автоматика: АВР, ВНР, АЧР, ЧАПВ, АОСН, АПВН;
- визначення місця ушкодження (ОМП) на ЛЕП;
- вимірювання аналогових величин;
- осцилограф та реєстратор подій.

3. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСА

3.1 Розробка методу розрахунку надійності системи резервного електрозабезпечення

В сьогоdnішній час в країні, як і в усьому світі, фіксується зростаюча вимога до якості надання послуг, та послуги в електроенергетиці не виняток, особливо у частині технічної надійності системи електропостачання. Причини виникнення цієї тенденції наступні: по-перше, це швидке поширення складних виробництв і систем, які потребують сталості технологічних процесів (складні хімічні, біотехнологічні та напівпровідникові виробництва, корпоративні системи управління тощо); по-друге, зростання якості життя населення в розвинених країнах, що веде до підвищення вимог до якості електропостачання як на стороні споживачів (поширення побутових та електронних приладів, чутливих до перепадів напруги та сили струму, перерв в електропостачанні побутової апаратури), так і комерційного сектора.

Крім вищезгаданих причин важливою залишається і проблема морально застарілого обладнання, яке експлуатується як у розподільчих, так і магістральних електричних мереж. Електромережні організації активно борються з цією проблемою, проводячи різні інвестиційні програми, науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи. Проте з великим обсягом морально застарілого і устаткуванням, що виробило нормативний термін служби відмови неминучі. Крім того, одноразово поповнити парк обладнання економічно неможливо.

Про постійне повернення до питання надійності говорять і аналітичні звіти, в яких щомісяця згадується про відмову та поломки високовольтного обладнання на електроенергетичних підстанціях, що призводить до виведення з ладу не тільки обладнання, а й усієї системи електропостачання

(СЕ). Вирішенню цього питання у енергетичних компаніях приділяється важливе значення, що говорить технологічний реєстр з основних напрямів інноваційного розвитку. До технологічного реєстру включено технології за основними напрямками інноваційного розвитку таких компаній, а також компаній дистриб'ютерів [18, 19]:

- перехід та масштабне впровадження цифрових підстанцій (ЦП) класу напруги 35–110 (220) кВ;
- перехід до цифрових активно-адаптивних мереж з розподіленою інтелектуальною системою автоматизації та управління;
- перехід до комплексної ефективності бізнес-процесів та автоматизації систем управління;
- застосування нових технологій та матеріалів в електроенергетиці;
- використання наскрізних технологій.

Концепція інтелектуальних електричних мереж (ІЕМ) передбачає не лише забезпечення певного заданого рівня надійності, а й надання послуг з його зміни відповідно до технічних та економічних переваг споживача, що передбачає наявність у мережі інструментів для гнучкого управління рівнем надійності. Для цього необхідно забезпечити постійне спостереження станом мережі з оцінкою її показників надійності.

Метою даного розділу є визначення показників надійності системи електропостачання із застосуванням моделі штучної нейронної мережі. У роботі систему електропостачання утворює розімкнена радіальна схема електропостачання. У цій схемі лінії електропередач пов'язують центр живлення з кожним споживачем. Дві секції шин у схемі з'єднують живильної підстанції споживача з'єднані секційним вимикачем, який у нормальному режимі роботи мережі знаходиться у відключеному стані. При зникненні напруги, наприклад, на 1-й секції шин цей вимикач включається автоматикою введення резервного живлення. Підсистема з точки зору надійності є нерезервованою, частина системи, елементи якої послідовно з'єднані при відмові будь-якого елемента відбувається відмова підсистеми 2.

Інтенсивність відмов підсистеми електропостачання визначається за наступною формулою (1):

$$\lambda_{\text{пс}} = \sum_1^n \lambda_i = 0,00741791, \quad (1)$$

де λ_i - інтенсивність відмов i -го елемента підсистеми, що визначається за формулою $\lambda_i = 1/T_i$; n – кількість елементів підсистеми, $n = 10$ (значення $n=10$ прийнято для аналізованої підсистеми).

Результати обчислень напрацювання на відказ i -го елемента підсистеми та значення інтенсивності відмов зведені в таблиці 3.1. Напрацювання на відмову підсистеми знаходиться за формулою (2):

$$T_{\text{пс}} = \frac{1}{\lambda_{\text{пс}}} = \frac{1}{0,0074179} = 134,8095, \quad (2)$$

де $\lambda_{\text{пс}}$ - інтенсивність відмов підсистеми.

Імовірність безвідмовної роботи підсистеми визначається за формулою (3):

$$P(t)_{\text{пс}} = e^{-\lambda_{\text{пс}} t} = e^{-0,0074179 \cdot 100} = 0,476262, \quad (3)$$

де t – напрацювання підсистеми, яку визначається ймовірність безвідмовної роботи $t=100$ год.

Таблиця 3.1 - Результати обчислень напрацювання на відмову i -го елемента підсистеми та значення інтенсивності відмов

№	Напрацювання на відмові i -го елемента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_i, \text{г}$	1600	1700	1800	1900	2000	900	1000	1100	1200	1300
$\lambda_i, 1/\text{г}$	0,000625	0,0005882	0,0005556	0,0005263	0,0005	0,00111	0,001	0,0009091	0,0008333	0,00092

Напрацювання на відмову та час відновлення i -го елемента та підпорядковуються експоненційному закону розподілу. Інтенсивність відмов, напрацювання на відмову та ймовірність відмов розраховуються за формулами (1)–(3).

Середній час відновлення підсистеми визначається за формулою (4):

$$T_{\text{впс}} = T_{\text{пс}} \cdot \sum_1^n K_{ni} = 134,8095 \cdot 0,050919 = 6,864329, \quad (4)$$

де K_{ni} - коефіцієнт простою і-го елемента; $K_{ni}=T_{\text{впс}}/T_i$, $T_{\text{впс}}$ - час відновлення і-го елемента.

Значення K_{ni} для кожного елемента занесені в таблиці 3.2. Коефіцієнти готовності та простою підсистеми визначаються за формулами (4), (5):

$$K_{\text{ГПС}} = \frac{T_{\text{пс}}}{T_{\text{пс}}+T_{\text{впс}}} = \frac{134,8095}{134,8095+6,864329} = 0,951548; \quad (5)$$

$$K_{\text{ППС}} = \frac{T_{\text{впс}}}{T_{\text{пс}}+T_{\text{впс}}} = \frac{6,864329}{134,8095+6,864329} = 0,048452. \quad (6)$$

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти простою елементів підсистеми

№	t відновлення і-го елемента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T_i, Γ	1600	1700	1800	1900	2000	900	1000	1100	1200	1300
$\lambda_i, 1/\Gamma$	0,00063	0,00059	0,00056	0,00053	0,0005	0,00111	0,00100	0,000909	0,00083	0,00077
$T_{\text{впс}}, \Gamma$	6	6,5	7	7,5	8	5	6	7	8	9
K_{ni}	0,00375	0,00382	0,00389	0,00395	0,00400	0,00556	0,0060	0,00636	0,00667	0,00692
$\sum_1^n K_{ni}$	0,0500919									

Визначення інтенсивності відмов системи електропостачання в навантаженому режимі визначається напрацюванням системи на відмову і визначається за формулою (7):

$$T_c = \frac{1,5}{\lambda_{\text{пс}}} = \frac{1,5}{0,0074179} = 202,2136, \quad (7)$$

де $\lambda_{\text{пс}}$ - інтенсивність відмов підсистеми; 1,5 – коефіцієнт надійності елементів підсистеми у навантаженому режимі.

Імовірність безвідмовної роботи системи з навантаженим резервуванням визначається за виразом 8 [19]:

$$\begin{aligned} P(t)_c &= 2e^{-\lambda_{\text{пс}}t} - e^{-2\lambda_{\text{пс}}t} = \\ &= 2e^{-0,0074179 \cdot 100} - e^{-2 \cdot 0,0074179 \cdot 100} = \\ &= 0,725698. \end{aligned} \quad (8)$$

Інтенсивність відмов системи із навантаженим резервуванням визначається за формулою 9:

$$\lambda(t)_c = \frac{2\lambda_{\text{пс}}(1-e^{-\lambda_{\text{пс}}t})}{2-e^{-\lambda_{\text{пс}}t}} . \quad (9)$$

Значення інтенсивності відмов розраховуються за показником часу $t=0, 100, 200, 300, 400, 500$ г; результати обчислень показані у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення інтенсивності відмов системи з навантаженим резервуванням

Час експлуатації, г	0	100	200	300	400	500
$\lambda(t)_c, 1/\text{г}$	0	0,005099	0,006469	0,006994	0,007222	0,007326

За даними таблиці 3.3 побудовано криву залежності інтенсивності відмов системи від часу експлуатації (рисунок 3.1). Напрацювання системи на відмову визначається за формулою (10):

$$T_c = \frac{2}{\lambda_{\text{пс}}} = \frac{2}{0,0074179} = 269,6180 , \quad (10)$$

де 2 - коефіцієнт надійності елементів підсистеми з абсолютно ненадійним перемикачем.

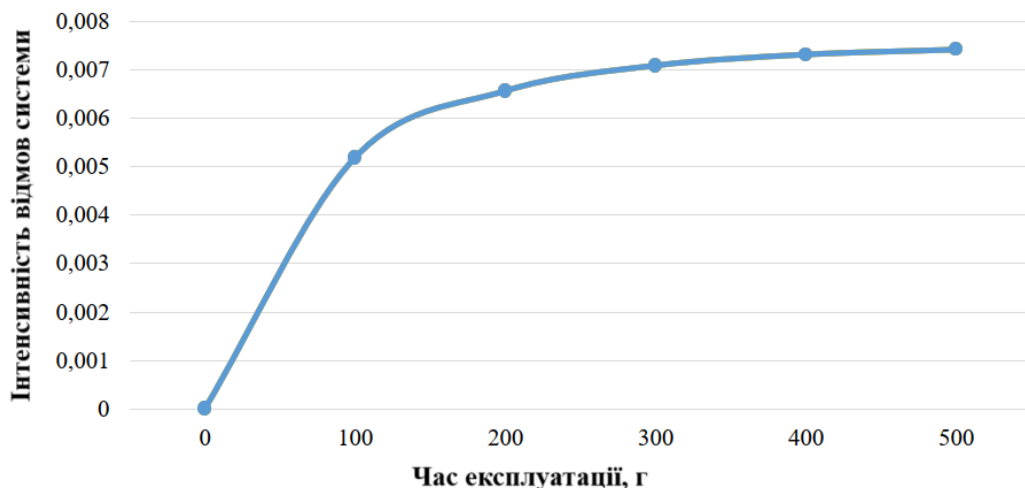


Рисунок 3.1 - Інтенсивність відмов системи електропостачання, що складається з основної підсистеми і такої ж резервної, яка знаходиться в навантаженому режимі

Після розрахунку проводиться порівняння отриманих значень напрацювання системи до відмови за формулами (7) та (10):

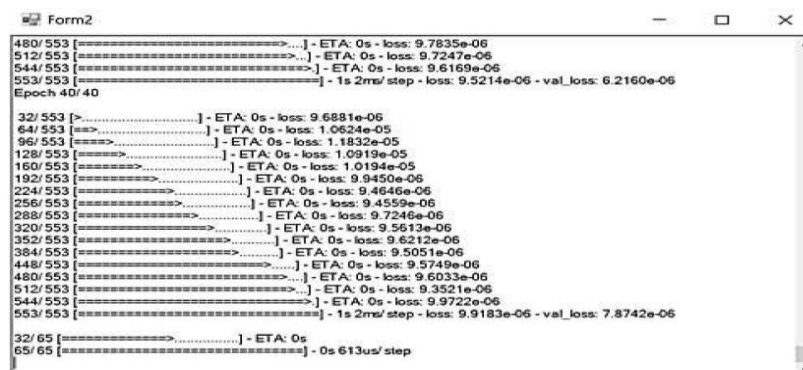
$$T_{c7} = 202,2136 \text{ ч}; T_{c10} = 269,6180.$$

Для більш точного прогнозування надійності СЕП та для запобігання виходу з ладу пропонується застосовувати програмний комплекс MatLab, а також елементи штучних нейронних мереж. Позитивною складовою даної моделі є можливість її застосування у випадках, коли утруднено використання традиційних методів [20].

Доповнений програмний комплекс MatLab призначений для прогнозування параметрів електропостачання. Розрахунок прогнозів здійснюється на наступних тимчасових інтервалах:

- короткострокове прогнозування з випередженням від 1 до 10-15 діб;
- середньострокове прогнозування із випередженням від 20 до 60 днів;
- довгострокове прогнозування до 1,5 років.

В запропонованому програмному комплексі є можливість вибору терміну прогнозування. У рамках першого прототипу реалізовано лише короткостроковий прогноз. При запуску відбувається запуск модуля прогнозування та починається навчання нейронної мережі (рисунок 3.2). Як вхідні дані (статистичної бази) заносяться передісторія значень інтенсивності відмов, напрацювання на відмову, коефіцієнти простою, розраховані при різних часових інтервалах.



```
Form2
480/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.7835e-06
512/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.7247e-06
544/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.6169e-06
553/ 553 [=====] - 1s 2ms/step - loss: 9.5214e-06 - val_loss: 6.2160e-06
Epoch 40/ 40

32/ 553 [>=====] - ETA: 0s - loss: 9.6881e-06
64/ 553 [==>=====] - ETA: 0s - loss: 1.0624e-05
96/ 553 [====>=====] - ETA: 0s - loss: 1.1832e-05
128/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 1.0919e-05
160/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 1.0194e-05
192/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.9450e-06
224/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.4646e-06
256/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.4559e-06
288/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.7246e-06
320/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.5613e-06
352/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.6212e-06
384/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.5051e-06
416/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.5749e-06
448/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.6033e-06
480/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.3521e-06
512/ 553 [=====] - ETA: 0s - loss: 9.9722e-06
544/ 553 [=====] - 1s 2ms/step - loss: 9.9183e-06 - val_loss: 7.8742e-06
553/ 553 [=====]

32/ 65 [=====] - ETA: 0s
65/ 65 [=====] - 0s 613us/step
```

Рисунок 3.2 - Процес навчання штучної нейронної мережі у рамках програмного комплексу MatLab

Після процесу навчання система виводить графік прогнозу (рисунок 3.3). Структура модуля синтезу нейронної мережі представляє багатошаровий персептрон. Результати розрахунку прогнозованих значень програмного комплексу з отриманими традиційним способом значеннями наведені у таблиці 3.4.

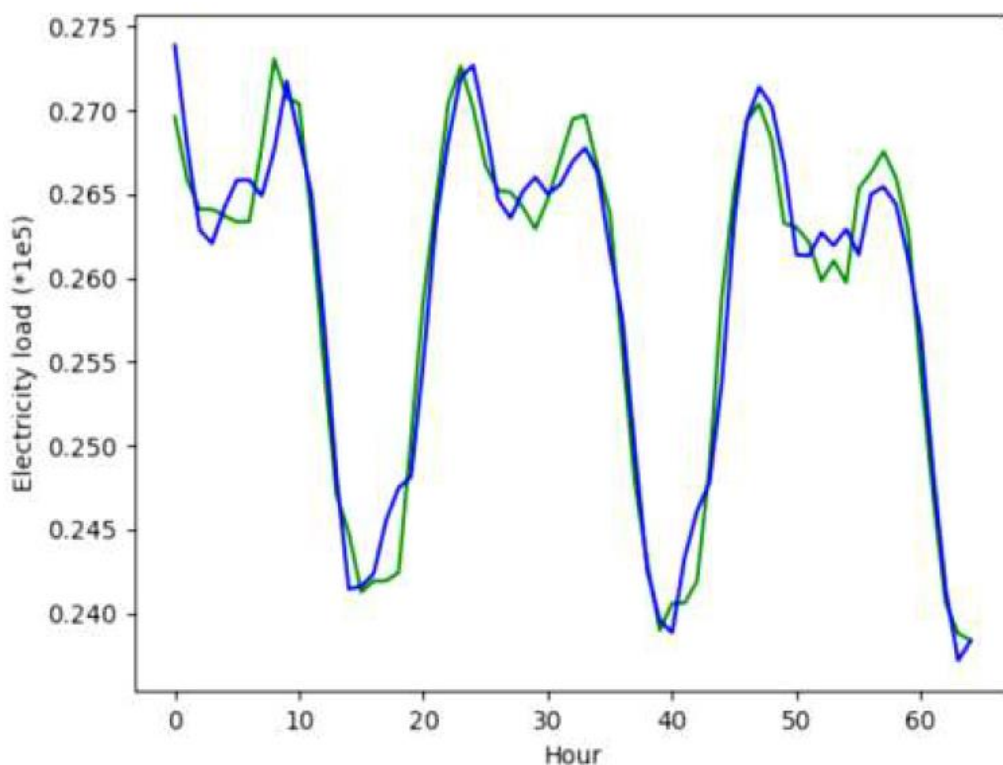


Рисунок 3.3 – Графіки прогнозу програмного комплексу MatLab

Отже при порівнянні значення напрацювання СЕП до відмови (T_c) очевидно, що напрацювання до відмови з основної та такої ж резервної підсистеми, що знаходиться в ненавантаженому режимі з абсолютно надійним перемикачем, становить 269,62 год, що значно вище за напрацювання повністю системи, що складається з основної і такої ж резервної підсистеми, які знаходиться в навантаженому режимі, становить 202,21 год, це говорить про більш високий ступінь надійності застосування СЕП, яка складається з основної та такої ж резервної підсистеми, що знаходиться в ненавантаженому режимі з абсолютно надійним перемикачем [21].

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку надійності системи електропостачання традиційним методом і методом штучних нейронних мереж

Значення	Розрахунок допомогою програмного комплексу MatLab	Традиційний розрахунок – інтенсивність відмов системи	Похибка, %
0	навчання	-	-
1	0,005210	0,005099	2,17
2	0,006482	0,00649	0,20
3	0,000708	0,006994	0,20
4	0,007104	0,007222	1,63
5	0,007247	0,007326	1,08

Виконано порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків за допомогою запропонованого програмного комплексу MatLab надійності СЕП, який показав, що похибка в отриманих значеннях не перевищує 2,17%.

За наявності інформації про стан електрообладнання СЕП з'являється можливість виробити рекомендації щодо режиму роботи, експлуатації та завантаження обладнання без шкоди для їх функціонування.

Застосування моделі прогнозування з урахуванням штучної нейронної мережі дозволяє обробити великий обсяг інформації, виходячи з якої можна сформулювати оптимальні режими роботи системи електропостачання.

3.2 Забезпечення відмовостійкості систем енергозабезпечення методом резервування

Визначення оцінки впливу на технологічний процес різних підходів резервування має виконуватися за умови, що ймовірнісні параметри складових системи відомі. У разі не абсолютно безвідмовного електрообладнання зупинки технологічних машин відбудуться, якщо

відбудеться відмова одночасно робочої та резервної систем або, коли при ремонтно-профілактичному обслуговуванні однієї системи другою сталася відмова обладнання. Отже, поруч із відмовами необхідно враховувати плановані періоди ремонтного обслуговування систем. Для того, щоб розрізняти в оцінці аналізу резервування параметрів робочої та резервної систем, параметрам резервної системи присвоюється індекс "**".

Вирішення поставленого завдання можна здійснювати як щодо напрацювання на відмову, так і перерв в електропостачанні робочих машин промислового підприємства. Напрацювання на відмову системи електропостачання в сотні, тисячі разів більша за тривалість відмов. Тому аналіз здійснюється щодо параметрів тривалості вимушених зупинок робочих машин. Для будь-якої з цих систем частота вимушених перерв у електропостачанні визначається сумою частот. Сума складається з частоти відмов електрообладнання та частоти часу виконання ремонтно-профілактичного обслуговування, що наглядно демонструється наступними формулами [22]:

$$\bar{\mu} = \bar{\mu}_p + \bar{\mu}_c; \quad (1)$$

$$\bar{\mu}^* = \bar{\mu}_p^* + \bar{\mu}_c^*, \quad (2)$$

де $\bar{\mu}$ - частота перерв в електропостачанні робочої системи; $\bar{\mu}_p$ - частота відмов електрообладнання в робочій системі; $\bar{\mu}_c$ - частота виконання ремонтно-профілактичного обслуговування електрообладнання у резервній системі; $\bar{\mu}^*$ - частота перерв у електропостачанні резервної системи; $\bar{\mu}_p^*$ - частота відмов електрообладнання в резервній системі; $\bar{\mu}_c^*$ - частота виконання ремонтно-профілактичного обслуговування електрообладнання в резервній системі.

Сума у виразах (1) та (2) визначається тим, що на виникнення відмов, викликаних випадковими негативними факторами ремонтно-профілактичне обслуговування, практично не впливає, а періоди його проведення припадає на напрацювання на відмову електрообладнання. Якщо робоча та резервна

системи за структурою та використанням обладнання однакові, то й формули (1) та (2) рівнозначні. Щоб оцінити динаміку розглянутого процесу необхідно використовувати розподільчі функції тривалостей відмов і напрацювання на відмову. Щільність ймовірності розподілу тривалостей перерв електропостачання технологічних машин промислового підприємства однією з використовуваних систем буде [23]:

$$\beta(\theta) = \frac{1}{\bar{\mu}} [\bar{\mu}_c \beta_c(\theta) + \sum_{i=1}^n \bar{\mu}_{p,i} \beta_{p,i}(\theta)], \quad (3)$$

де $i=1.2.3.\dots n$; $\bar{\mu}$ - частота перерв в електропостачанні системи енергопостачання; $\bar{\mu}_c$ - частота перерв у електропостачанні, спричинених ремонтно-профілактичним обслуговуванням; $\beta_c(\theta)$ - щільність ймовірності тривалостей ремонтно-профілактичного обслуговування; $\bar{\mu}_{p,i}$ - частота відмов i -ї одиниці електрообладнання від негативних збурюючих факторів; $\beta_{p,i}(\theta)$ - щільність ймовірності тривалостей відмов i -ї одиниці електрообладнання від негативних збурюючих факторів.

Перерви електропостачанні робочих машин, викликані ремонтно-профілактичним обслуговуванням і збурюючими факторами, не перекриваються в часі. Тому ймовірність пауз у системі електропостачання дорівнює:

$$\bar{P} = \bar{\mu}_c \bar{\theta}_c + \bar{\mu}_p \bar{\theta}_p = \bar{\mu} \bar{\theta}. \quad (4)$$

У виразі (4) значення $\bar{\theta}_c$ та $\bar{\theta}_p$ – математичні очікування тривалостей відновлення відмов електрообладнання від впливу випадкових негативних факторів та ремонтно-профілактичного обслуговування систем електропостачання промислового підприємства. Як негативні відмови, так і заплановані профілактичні ремонти завжди потрапляють на напрацювання на відмову системи. Тому напрацювання, на які потрапляють відмови чи періоди проведення ремонтів, поділяються на дві складові. Щільність ймовірності таких тривалостей відображається виразом:

$$\alpha(\tau) = \frac{1}{2} \frac{d^2}{d\tau^2} \int_{2\tau}^{\infty} d\tau \int_{\tau}^{\infty} \alpha_p(\tau) d\tau. \quad (5)$$

У виразі (5) $\alpha_p(\tau)$ - щільність ймовірності напрацювання на відмову системи електропостачання. Це можуть бути напрацювання, на які також припадають, профілактичні ремонти або відмови електрообладнання. Частота напрацювань на які не приходяться профілактичні ремонти чи відмови рівна різниці між вихідною частотою цих напрацювань і напрацювань, що зазнали поділу відмовами електрообладнання або профілактичними ремонтами.

Коли на підприємстві існує резервна система або резервне електрообладнання, то можливі два випадки перемикання навантаження. Перший випадок резервування полягає в тому, що резервне електрообладнання включається в роботу тільки тоді, коли відмовляє. Другий випадок полягає у незалежному переході на працююче обладнання, тобто відбувається перехід на резервне обладнання після завершення відповідного часу роботи обладнання, що перебуває в експлуатації. Відповідно, якщо відбувається відмова, працюючого устаткування, здійснюється використання резервного.

Оцінку переходу, для першого випадку, коли резервне обладнання включається з відмовою працюючого, відповідно буде здійснюватися щодо параметрів системи, що знаходиться в роботі. При першому випадку перерви у забезпеченні електричною енергією робітників і машин наступлять, у разі відмов або ремонтно-профілактичному обслуговуванні, працюючої системи та відмови резервної. З позиції функціонування систем це буде спостерігатися тоді, якщо напрацювання на відмову τ^* системи, яка перебуває в резерві, не перекиває за тривалістю відмови θ робочої системи. Математичне очікування тривалості резервної системи виражається наступною залежністю [24]:

$$\bar{\tau}^* = \frac{\int_0^{\epsilon} \tau^* \alpha^*(\tau) d\tau}{\int_0^{\epsilon} \alpha^*(\tau) d\tau}, \quad (6)$$

де $\alpha^*(\tau)$ - щільність ймовірності розподілу тривалостей напрацювання на відмову електрообладнання резервної системи.

Ймовірність одночасної появи напрацювання на відмову тривалістю $\tau^* < \varepsilon$ резервної та відмови електрообладнання в працюючій системі є наступна:

$$P_{\varepsilon} = P^* \bar{P}. \quad (7)$$

Події, що відображаються ймовірністю P_{ε} , передують одночасній появі відмов, що перебувають в експлуатації та резервній системі. Ці події слідує із частотою:

$$\bar{\mu}_{\gamma} = \frac{\bar{P}}{\bar{\tau}^* + \bar{\theta}^*} \int_0^{\varepsilon} \tau^* \alpha^*(\tau) d\tau. \quad (8)$$

Можливі випадки, що $\tau^* < \varepsilon$, при цьому включення резервної системи відбувається в момент виникнення відмови у працюючій системі. Це призведе до вимушеної зупинки робочих машин промислового підприємства. Математичне очікування тривалості їх зупинки дорівнюватиме наступному виразу:

$$\bar{\theta}_{\gamma} = \bar{\theta} + \bar{\tau}^*. \quad (9)$$

У розглянутому випадку тривалість θ є сумою складових, $\theta_{\gamma} = \tau^* < \theta$ і θ_{γ} . Тому розподіл тривалості відмов робочої системи є двовимірним. У результаті щільності ймовірності значення θ_{γ} виражається наступною рівністю:

$$\beta_{\gamma}(\theta) = \frac{\beta(\theta_{\gamma} + \theta_{\gamma})}{\int_0^{\bar{\tau}^*} \beta(\theta) d\theta}. \quad (10)$$

Отримані залежності дозволяють визначити, з якою ймовірністю здійснюється зупинки робочих машин від перерв їх забезпечення електричною енергією $\bar{P}_{\gamma} = \bar{\mu}_{\gamma} \bar{\theta}_{\gamma}$. Протилежною подією зупинок $\bar{\theta}_{\gamma}$ є напрацювання на відмову. Вона визначається, використанням ймовірності $P_{\gamma} = 1 - \bar{\mu}_{\gamma} \bar{\theta}_{\gamma}$. Тоді:

$$\bar{\tau}_\gamma = \frac{1 - \bar{\mu}_\gamma \bar{\theta}_\gamma}{\bar{\mu}_\gamma}. \quad (11)$$

Отримані вирази (6)-(11) для спільної роботи робочої та резервної систем повною мірою відображають перший випадок, стратегію управління “один”. Якщо резервна система включається в роботу незалежно від стану працюючої системи, то здійснюється другий випадок, стратегія “два”. Параметри для другого випадку слід встановлювати, застосовуючи розподіл напрацювання на відмову, викликану спільним функціонуванням працюючої та резервної систем. Зміна розподілу тривалостей вимушених зупинок технологічних машин, у даному випадку, пропонується здійснювати, використовуючи залежність (10) [25].

Після завершення обслуговування обладнання електричної системи увімкнення технологічних машин відбувається не одночасно з системою, що обслуговується. Відбувається деяка затримка в часі ϑ . Хоча це мало ймовірно, але можливі випадки, коли виявляється, що час затримки по тривалості більший від напрацювань між відмовами електроустаткування. Тому частота включення технологічних машин у роботу не дорівнює їх частоті відмов. Дане значення частоти можна визначити з наступного виразу:

$$\bar{\mu}(\theta < \vartheta) = \bar{\mu}_\gamma \int_{\bar{\theta}}^{\infty} \alpha_\gamma(\tau) d\tau = \bar{\mu}_\gamma (1 - \int_0^{\bar{\theta}} \alpha_\gamma(\tau) d\tau). \quad (12)$$

У виразі (12) значення $\bar{\theta}$ є математичним сподіванням часу затримки увімкнення технологічних машин після завершення обслуговування системи електропостачання. Через перекриття затримками напрацювання між перервами роботи технологічних машин тривалістю менше значення ϑ , а також включенням робочих машин у роботу із затримкою ϑ у разі напрацювання між перервами, за тривалістю більше значення ϑ , скорочує час τ_ϑ продуктивної роботи робочих машин технологічного виробництва. Щоб встановити щільність розподілу тривалості τ_ϑ , потрібно виключити до розгляду напрацювання $\tau_\gamma < \vartheta$ і скоротивши на ϑ напрацювання $\tau_\gamma > \vartheta$. В результаті отримаємо наступний вираз:

$$\alpha_{\vartheta}(\tau) = \frac{\alpha(\tau_{\vartheta} + \vartheta)}{1 - \int_0^{\bar{\vartheta}} \alpha_{\gamma}(\tau) d\tau}. \quad (13)$$

Слід зазначити, що виразі (13) у чисельнику $\tau_{\vartheta} + \vartheta = \tau_{\gamma}$. Тоді математичне сподівання тривалості роботи технологічних машин за одне включення буде рівне:

$$\bar{\tau}_{\vartheta} = \frac{\int_{\bar{\vartheta}}^{\infty} (\tau_{\gamma} - \vartheta) \alpha_{\gamma}(\tau) d\tau}{1 - \int_0^{\bar{\vartheta}} \alpha_{\gamma}(\tau) d\tau}. \quad (14)$$

Якщо не спостерігається між відмовами перекриття затримкою напрацювання, то значення тривалості зупинки визначається сумою $(\theta_{\gamma} + \vartheta)$. Коли відбувається перекриття напрацювань затримкою, то поєднуються між собою дві зупинки та дві затримки. Для виявлення густини розподілу $\beta_{\vartheta}(\theta)$, зупинки за тривалістю рівні $(\theta_{\gamma} + \vartheta)$, позначивши через $\theta_{\vartheta,1}$. Зупинки утворені від $(\theta_{\gamma} + \vartheta + \theta_{\gamma} + \vartheta)$ представлено значенням $\theta_{\vartheta,2}$. Слід мати на увазі, що ймовірність відображає зупинки $\theta_{\vartheta,2}$ значно більша за тривалістю $\theta_{\vartheta,1}$. Викликано це тим, що напрацювання на відмову від систем електропостачання підприємства визначається сотнями годин, а тривалість затримок годинами чи навіть менше. Зупинки $\theta_{\vartheta,1}$, йдуть з наступною частотою:

$$\bar{\mu}_{\vartheta,1} = \bar{\mu}_{\vartheta} - \bar{\mu}_{\gamma} \int_0^{\bar{\vartheta}} \alpha_{\gamma}(\tau) d\tau. \quad (15)$$

Тоді розподіл тривалостей $\theta_{\vartheta,1}$, визначиться сукупністю $\beta_{\gamma}(\theta)$ і $\epsilon(\vartheta)$ також.

$$\beta_{\vartheta,1}(\theta) = \int_0^{\infty} \beta_{\gamma}(\theta) \epsilon(\theta_{\vartheta,1} - \theta_{\gamma}) d\theta = \int_0^{\infty} \beta_{\gamma}(\theta_{\gamma} - \vartheta) \epsilon(\vartheta) d\vartheta. \quad (16)$$

У виразі (16) різниця $\theta_{\vartheta,1} - \theta_{\gamma} = \vartheta$, а $\theta_{\vartheta,1} - \theta_{\vartheta} = \theta_{\gamma}$. Зупинки, що характеризуються значенням $\theta_{\vartheta,2}$, з'являються з частотою, яка визначається, як різниця частоти відмов у технологічному процесі та частоти $\overline{\mu_{\vartheta,1}}$. Розподіл тривалостей цих зупинок виражається сукупністю двох $\theta_{\vartheta,1}$. Використовуючи встановлені частоти та розподілу тривалостей $\theta_{\vartheta,1}$ та $\theta_{\vartheta,2}$, визначаються ймовірність, математичне сподівання та функція розподілу тривалості

зупинок технологічних машин, викликаних відмовами систем електропостачання. Відносне збільшення продуктивності підприємства, в даному випадку, може бути визначено, як відношення отриманої ймовірності простоїв до ймовірності роботи машин.

Слід зазначити, що запропонований підхід дозволяє оцінювати прийнятну стратегію управління системами електропостачання на безвідмовність забезпечення електричною енергією технологічних машин промислового підприємства. Оцінка при необхідності може виконуватися щодо відносної зміни навантаження на машини.

ВИСНОВКИ

У представлений магістерській роботі розроблена система автоматичного управління резервним енергозабезпеченням виробничих потужностей підприємства. У ході роботи проаналізовані системи комерційного та технічного обліку енергоресурсів, системи керування фідерами на розподільчих підстанціях, що в свою чергу дозволило реалізувати ефективну структури резервного та аварійного енергозабезпечення для виробничих об'єктів підприємства.

Досліджено та проаналізовано автоматизовані системи керування та диспетчеризації обліку та розподілу енергоресурсів, що дало можливість вибрати оптимальний варіант для реалізації ефективної системи автоматичного керування резервуванням енергетичних потужностей при аварійних ситуаціях на магістральних електромережах.

Представлено функціональні можливості та основні завдання системи резервування енергетичних потужностей на основі цифрових контрольно-вимірювальних пристроїв, що забезпечують ефективну роботу контрольно-вимірювальній та керуючій апаратурі на різних підстанціях, а саме точний облік витрат та ефективну передачу даних на АРМ.

Обґрунтовано вибір обладнання та технічних засобів автоматизації для розробки САУ резервного та аварійного енергозабезпечення. Реалізовано структурну та функціональну схеми САУ та оптимізовано вибір способів керування ввідними фідерами розподільчої підстанції за допомогою показів контрольно-вимірювальних пристроїв після передачі їх на АРМ. Представлена архітектура САУ, що дозволяє ефективно керувати переключеннями та переходами на різні режими енергозабезпечення, це допомагає ефективніше розраховувати споживчі потужності виробничої площадки та собівартість виготовленої продукції на підприємстві.

Для забезпечення якісного функціонування процесу діагностики основних параметрів електромережі та керування процесом переключення

на різні режими, здійснено обрання технічних засобів та вузлів автоматизації, які б відповідали вимогам і завданням, щодо якісного протікання технологічного процесу. В процесі вибору засобів автоматизації обґрунтовано застосування технічних пристроїв для представленого об'єкту керування, з урахуванням параметрів, що контролюються, а саме способів контролю споживаної потужності окремих цехів, наростання пікових моментів електромережі, перекосу фаз та скачків напруги, нестабільного електрозабезпечення та інше. Обґрунтовано перспективи застосування алгоритмічних рішень для ефективної роботи контрольно-облікових пристроїв, які підключені до мережі Ethernet, що дає можливість оперативного контролю та формування звітності для підприємств постачальників енергоресурсів у розрахунках потужностей виробничого обладнання.

Реалізований та оптимізований метод розрахунку надійності системи резервного електрозабезпечення виробничих цехів підприємства, що забезпечує ефективну роботу обладнання тим самим не перериваючи технологічного процесу з допомогою вимірювальних засобів та мікроелектронних перемикачів між комірками розподільчої підстанції.

Проведений аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування та виявлення недоліків існуючих інформаційних алгоритмів та технічних пристроїв, що застосовуються при функціонуванні обладнання вимірювання обліку, керування та передачі даних на АРМ . Визначено контрольовані параметри технологічного процесу.

Розроблені архітектура та технологічні схеми САУ в яку інтегровано представлені методи забезпечення відмовостійкості систем енергозабезпечення способом резервування.

Обґрунтовано метод та алгоритмічне рішення для забезпечення відмовостійкості систем енергозабезпечення на фідерах контактної мережі, що у свою очередь дало можливість оперативного моніторингу наступних інформативних параметрів з локалізацією за часом та місцем: напруги,

струму, активної потужності, інтегральної величини витрат електроенергії. Запропонований підхід дозволяє оцінювати прийняту стратегію управління системами електропостачання на безвідмовність забезпечення електричною енергією технологічних машин промислового підприємства.

Застосування моделі прогнозування з урахуванням штучної нейронної мережі дозволяє обробити великий обсяг інформації, виходячи з якої можна сформувати оптимальні режими роботи системи електропостачання. Причому для підвищення стійкості до відмов системи застосовуються не тільки середні параметри, але і закони розподілу напрацювання на відмову і відмов, тобто оцінюється динаміка процесу. Запропонована САУ резервного енергозабезпечення виробничих потужностей забезпечує надійну, безперебійну та якісну роботу в процесі контролю, обліку енергоресурсів промислового об'єкта, що дає можливість оперативне відображати споживання, активну потужність, затрати певних енергоресурсів на ті чи інші технологічні процеси.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кириленко О. В. Денисюк С. П. Сучасні тенденції побудови та керування режимами електроенергетичних мереж // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. Energy saving. Power engineering. Energy audit. – 2014. – № 9. – Спец. вып. Т. 2 : Силовая электроника и энергоэффективность. – С. 82-94.
2. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.
3. Артюх С. Ф., Дуель М. А., Шелепов И. Г. Автоматизовані системи керування енергогенеруючими установками електростанцій. Харків 2000р. 448с.
4. Шараєвський Ф.Ю. Модель і процедури короткострокового прогнозування електроспоживання в оптовому ринку електричної енергії. // Системні дослідження та комплексні проблеми енергетики. – 2007. – С. 36–40.
5. Тюріна Н.М. Енергетичний менеджмент: теоретичні та практичні аспекти / Н.М. Тюріна, Є.О. Шелест // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2009. – № 2, т. 2. – С. 32–37.
6. Об'єктно-орієнтоване програмування : конспект лекцій для студентів напряму підготовки "Комп'ютерні науки" всіх форм навчання / Ю. Е. Парфьонов, В. М. Федорченко, М. Ю. Лосєв, О. В. Щербаков. – Харків : Вид. ХНЕУ, 2010. – 312 с.
7. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтег. технології/ М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.
8. Технічні засоби автоматизації:/ В.В. Ткачов, В.П. Чернишев, М.М. Одновол; Нац. гірн. ун-т. - Д. : НГУ, 2007. - 174 с.
9. Автоматизовані системи управління та зв'язок: курс лекцій / Уклад. Л.В. Борисова, О.В. Закора, А.Б. Фещенко . – Х : НУЦЗУ, 2018 . – 282 с.

10. Автоматизовані системи управління та зв'язок: методичні вказівки з організації та завдання до самостійної роботи під час вивчення дисципліни / Уклад. В.О. Собина, В.О. Закора, А.Б. Фещенко . — Х : НУЦЗУ, 2018 . — 27с.
11. І.А. Чуб, В.Є. Пустоваров, Г.Е. Винокуров, П.М. Бортнічук, Л.А. Клименко. Автоматизовані системи управління та зв'язок у сфері цивільного захисту: Навчальний посібник /За загальною редакцією Щербака Г.В. — Х., 2005.
12. В. О. Собина, Д. В. Тарадуда, М. М. Піксасов, Л. В. Борисова, О. В. Закора, А. Б. Фещенко, М.В. Маляров, Д. Л. Соколов, Дослідження проблем функціонування системи зв'язку ДСНС, використання засобів телекомунікацій та інформатизації в системі ДСНС, шляхів їх розвитку із застосуванням сучасних телекомунікаційних та інформаційних технологій, Звіт про НДР: № держреєстрації 0119U001009, Х.: НУЦЗУ, 2020. — 85 с.
13. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. — Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. — С. 380.
14. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник/ За ред. Г. Гелетука. — К.: Поліграф плюс, 2015. — С. 75.
15. Костюк В.О., Шульженко С.В., Близнюк Є.В. Економічна оцінка перспективи використання паливних елементів для енергопостачання локального об'єкта // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку — REMS'15. — 2015. — С. 55-57.
16. Пирский Ю.К. Низкотемпературные топливные элементы: проблемы и перспективы / Выездная сессия Научного совета НАН Украины по проблеме «Электрохимия» 21-25 января 2013 г. Ивано-Франковск [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <http://www.ionc.kar.net/councils/files/Pirskij.pdf>
17. Близнюк Є. В. Комплексне енергопостачання підприємства деревообробної промисловості з використанням паливних елементів / Близнюк Є. В. — Київ, 2016. — С. 135.

18. Рудченко А.Г. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт (частина 2) студентами спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» / А. Г. Рудченко. – Дніпро. - 2017. – С. 55.
19. Від виробництва до ефективного споживання енергії: Посібник для вчителів / О.І. Соловей, А.В. Праховник, Є.М. Іншеков – К.:Київ. Нотна ф-ка, 1999. – С. 400.
12. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. Книга 1. Ветроэлектрогенераторы. – Харьков: ХАИ, 2003. – С. 400.
20. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. – К.: НАНУ, Інститут електродинаміки, Державний комітет України з енергозбереження, 2001.
21. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: Навчальний посібник / О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбака; За заг. Ред. О.І. Солов'я – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – С. 483.
22. Костюк В.О., Тиндирика Ю.О. Комбінована система енергопостачання на основі вітроенергоустановки, оснащеної гідравлічним акумулятором. / В.О. Костюк, Ю.О. Тиндирика // Збірник матеріалів V міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції – REMS'18». – Київ, 2018. – С. 26-27.
23. Костюк В.О., Тиндирика Ю.О. Техніко-економічні переваги комбінованої енергетичної установки з гідроакумуляційними пристроями. / В.О. Костюк, Ю.О. Тиндирика // Збірник наукових праць X науково-технічної конференції ІЕЕ «Енергетика. Екологія. Людина» – Київ, 2018. – С. 54-57.
24. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the inter governmental Panel on Climate Change // Potsdam Institute for Climate Impact Research. – New York: Cambridge University Press, 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cambridge.org/9781107607101>
25. Костюк В.О. Модифіковані схеми розрахунку нормованої ціни виробництва в задачах детерміновано-стохастичного моделювання нових електрогенерувальних об'єктів / В. О. Костюк // Енергетика. - 2015. - № 2. - С. 64-77.

ДОДАТОК А