

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем

ГОЛОСАЙ Юрій Леонідович

Автоматизована система безперебійного енергопостачання / An automated
system of uninterrupted energy supply

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ-41

Ю.Л. Голосай

Науковий керівник

к.е.н., доцент А.М. Шевчук

Кваліфікаційну роботу допущено

до захисту:

«_____» _____ 2025р.

Завідувач кафедри

_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2025

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

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
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 КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ГОЛОСАЙ Юрію Леонідовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система безперебійного енергопостачання / An automated system of uninterrupted energy supply.

Керівник роботи: к.е.н., доцент Шевчук А.М.

затверджені наказом по університету від «28» листопада 2024 р. № 938.

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 06.05.2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Особливості побудови автоматизованих систем безперебійного енергопостачання.

2. Способи керування основними і резервними джерелами енергопостачання.

3. Технічні засоби автоматизації об'єкта управління.

4. Розрахункова ефективність системи автоматичного управління основними і контрольними засобами об'єкта керування.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз складової та технічних засобів автоматизованої системи безперебійного енергопостачання.

2. Реалізація структури автоматизованої системи безперебійного енергопостачання та обґрунтування вибору технічних засобів реалізації запропонованої системи.

3. Розробка функціональної схеми комплексу технічних засобів автоматизації.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структура автоматизованої системи безперебійного енергопостачання.

2. Графічні залежності перехідних процесів відносно заданих параметрів.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Шевчук А.М.		
2	Шевчук А.М.		
3	Шевчук А.М.		

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу як об’єкта керування	12.2024р. – 01.2025р.	
2	Специфікація вибору технічних засобів автоматизації	02.2025р. – 03.2025р.	
3	Розрахунок системи автоматичного регулювання	04.2025р. – 05.2025р.	

Студент _____
(підпис)

Голосай Ю.Л.

Керівник роботи _____
(підпис)

к.е.н., доцент Шевчук А.М.

АНОТАЦІЯ

Голосай Ю.Л. Автоматизована система безперебійного енергопостачання. –

Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна (наукова) програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

У роботі досліджено автоматизовані системи безперебійного енергопостачання, проаналізовано загальні характеристики та складові таких систем, визначено функціональні, структурні та архітектурні особливості систем, що забезпечують якісне та надійне електропостачання. Проведена специфікація вибору технічних засобів автоматизації і управління основними апаратно-програмними засобами автоматизованої системи, проаналізовано технологічну базу системи безперебійного енергопостачання та обґрунтовано вибір технічних засобів реалізації. Розроблено структуру та функціональну схеми, а також метод параметричного синтезу цифрових регуляторів на основі амплітудно-фазової характеристики.

ABSTRACT

Golosay Y.L. An automated system of uninterrupted energy supply. - Manuscript.

Research for obtaining a bachelor's degree in the specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies", educational and professional (scientific) program. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

The work investigates automated systems of uninterrupted power supply, analyzes the general characteristics and components of such systems, determines the functional, structural and architectural features of systems that provide high-quality and reliable power supply. The specification of the choice of technical means of automation and control of the main hardware and software of the automated system is carried out, the technological base of the uninterrupted power supply system is analyzed and the choice of technical means of implementation is justified. The structure and functional scheme are developed, as well as the method of parametric synthesis of digital regulators based on the amplitude-phase characteristic.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	9
1.1 Аналіз та загальна характеристика автоматизованих систем безперебійного енергопостачання	9
1.2 Огляд складової систем енергозабезпечення промислових об'єктів	14
1.3 Загальне представлення контура регулювання та особливостей складних систем автоматизації об'єкта управління	22
2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	29
2.1 Реалізація структури автоматизованої системи безперебійного енергопостачання та функціональне представлення основних вузлів управління	29
2.2 Обґрунтування вибору промислового програмовано-логічного контролера для автоматизованої системи енергопостачання	35
2.3 Вибір первинних перетворювачів фізичних величин та сенсорів для шафи управління автоматизованої системи	39
2.4 Вибір виконавчих механізмів та засобів автоматизації системи енергопостачання	45
3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	49
3.1 Розробка алгоритму автоматизованого проектування системи безперебійного енергопостачання	49

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система безперебійного енергопостачання / An automated system of uninterrupted energy supply	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Голосай Ю.Л.					4	66
Перевір.		Шевчук А.М.						
Консульт.		Шевчук А.М.						
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		

3.2 Розробка методу параметричного синтезу цифрових регуляторів на основі амплітудно-фазової характеристики для систем енергопостачання	54
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах зростаючої залежності підприємств від електроенергії та високих вимог до стабільності технологічних процесів питання забезпечення безперервного електропостачання набуває критичного значення. Навіть короточасні перебої в енергопостачанні можуть призвести до зупинки виробництва, пошкодження обладнання, втрати даних та значних економічних збитків. Особливо це стосується підприємств з безперервними технологіями, таких як хімічна, фармацевтична, харчова промисловість, ІТ-сфера та медичні заклади.

З огляду на нестабільність енергомереж, зношеність енергетичної інфраструктури та зростаючі навантаження, актуальність впровадження автоматизованих систем безперебійного енергопостачання (АСБЕ) значно зростає. В умовах енергетичних криз, кібератак на енергосистеми та кліматичних катастроф особливу роль відіграють інтелектуальні АСБЕ, які можуть адаптуватися до змін зовнішнього середовища в режимі реального часу.

Ключовою перевагою автоматизованих систем є можливість самостійного контролю, діагностики та оперативного перемикання на резервні джерела енергії. Це дозволяє зменшити навантаження на персонал, запобігти людським помилкам та мінімізувати час простою. АСБЕ дозволяють інтегрувати джерела альтернативної енергії, акумуляторні системи та стабілізатори в єдину керовану структуру.

Крім того, автоматизовані системи дозволяють накопичувати, аналізувати та архівувати великі обсяги даних про стан енергосистеми, що є основою для прогнозування несправностей, оптимізації споживання та підвищення енергоефективності підприємства.

Таким чином, розробка АСБЕ є вкрай актуальною як з точки зору забезпечення надійності виробничих процесів, так і з погляду стратегічної

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергетичної безпеки підприємств різних галузей. Її впровадження є не лише технічним, а й економічно доцільним кроком у напрямку цифрової трансформації сучасного виробництва.

Мета кваліфікаційної роботи. У представленій кваліфікаційній роботі проаналізовано автоматизовані системи енергозабезпечення та представлено структуру запропонованої системи і функціональне представлення основних вузлів управління, а також проведено вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) безпосередньо на об'єкті керування. Основними задачами розробки автоматизованої системи безперебійного енергопостачання з використанням інтегрованих програмно-технічних засобів та логічних рішень на базі промислових контролерів, що є на сьогоднішній день невід'ємним елементом для автоматизованих систем керування.

Основними задачами кваліфікаційної роботи є:

- аналіз автоматизованих систем безперебійного енергопостачання, та пристроїв, засобів їх автоматизації;
- розробка структури автоматизованої системи безперебійного енергопостачання та функціональне представлення основних вузлів управління;
- обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації;
- розробка алгоритму автоматизованого проектування системи безперебійного енергопостачання;
- реалізація методів параметричного синтезу цифрових регуляторів для автоматизованих систем керування.

Автоматизована система безперебійного енергопостачання є актуальною розробкою та вирішенням нагальним проблем енергорозподілу на промисловому об'єкті. Рішенням задач задачі в енергетиці є симбіоз сучасних програмно-технічних засобів автоматизації з новими алгоритмами та математичними методами у промисловому енергетичному секторі.

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Предметом дослідження є автоматизована система безперебійного енергопостачання.

Об'єктом дослідження є система автоматичного управління, постачання і розподілу електроенергії на підстанції промислового об'єкта.

Методи дослідження – аналіз та огляд актуальних електронних ресурсів і літературних джерел, порівняльний аналіз конкуренто спроможних розробок в промислово-енергетичному секторі.

Практичне значення одержаних результатів. Основане на тому, що запропоновані методи та технічні рішення по проектуванні та розрахунку систем безперебійного енергопостачання, які мають практичні можливості підвищити їх надійність та ефективність в рази.

Апробація. Албанський І.Б., Шестопако В.Є., Шидлівський Р.К., Голосай Ю.Л. Інтеграція вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів автоматизованих систем у технології інтернету речей IoT. – Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ-2025), Тернопіль, 2025. – 79-85с.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Аналіз та загальна характеристика автоматизованих систем безперебійного енергопостачання

У сучасних умовах безперебійне енергопостачання є критичним чинником для забезпечення надійної та стабільної роботи промислових підприємств. Навіть короточасні перебої живлення можуть призвести до зупинки технологічних процесів, псування обладнання, втрати продукції та значних фінансових втрат. Тому все більше підприємств впроваджують автоматизовані системи безперебійного енергопостачання (АСБЕ), які забезпечують надійний контроль, управління і діагностику електроживлення на основі сучасних технологій (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 - Автоматика у системах безперебійного електропостачання

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. Наймовірні 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.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматика у системах безперебійного електропостачання відіграє колосальну роль. Вона дозволяє керувати нормальними режимами електропостачання та забезпечує стабільну роботу електрообладнання в аварійних режимах або після ліквідації збоїв у мережі.

Автоматизація систем безперебійного електропостачання вирішує низку завдань [1]:

- захист енергомережі від перевантажень, коротких замикань, стрибків напруги;
- забезпечення нормального рівня напруги та безперебійного харчування споживачів;
- мінімізація споживання електроенергії;
- запобігання, локалізація та ліквідація аварій;
- автоматичне керування живленням обладнання;
- автоматичний облік енергоспоживання.

Як показує практика, впровадження засобів автоматизації, телемеханізації та комп'ютерних систем забезпечує стабільну роботу енергомережі, захист обладнання від усіляких ризиків та економію енергоресурсів.

Основна проблема полягає в тому, що процеси, що порушують нормальну роботу електроустаткування, протікають дуже швидко, людина просто не встигає відреагувати та запобігти можливим проблемам. Єдине рішення – автоматизація енергосистем.

АСБЕ — це комплекс апаратно-програмних засобів, які забезпечують моніторинг параметрів електроживлення, виявлення аварійних ситуацій і автоматичне перемикання джерел живлення (основного, резервного, автономного) (рисунки 1.1, 1.2).

До основних структурних компонентів АСБЕ відносять [1, 2]:

- джерела живлення:
 - основне джерело (мережа 10/0.4 кВ);
 - резервне джерело (дизель-генератор, друга підстанція);

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- джерела безперебійного живлення (UPS);
- джерела альтернативної енергії (сонячні, вітрові).
- програмовано-логічні контролери (ПЛК) – центральна частина системи, що реалізує логіку перемикавання, контролює режими живлення, отримує дані з сенсорів;
- мережа сенсорів і виконавчих пристроїв – дає змогу контролювати напругу, струм, частоту, фазу та температуру обладнання, сюди входять трансформатори струму/напруги, сенсори напруги, електромагнітні реле, контактори, моторизовані вимикачі тощо;
- системи візуалізації та HMI/SCADA – для оперативного моніторингу стану енергомережі, перегляду журналів аварій та телеметрії, віддаленого керування системою.



Рисунок 1.2 – Загальна структура АСБЕ

Автоматика для енергосистем поділяється на дві групи:

- технологічна - призначена для регулювання номінальних режимів (автоматичне включення синхронізаторів, керування напругою та інше);

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- системна - призначена для керування в аварійних ситуаціях (автоматичне повторне включення, автоматичне включення резервного живлення).

Для забезпечення стабільного енергопостачання на виробничих підприємствах використовуються такі типи автоматики:

- пристрої автоматичного повторного включення (АПВ), які використовуються для включення споживачів, відключених пристроями релейного захисту, електродвигунів, відключених для забезпечення запуску невеликих електроприводів та інше;

- автоматичне включення резерву (АВР), пристрої, що забезпечують безперебійну роботу обладнання, підключаючи споживачів до джерела живлення;

- автоматичне регулювання збудження (АРВ), обладнання призначене для підтримки стабільної напруги у споживачів та розподілу реактивного навантаження;

- авторегулювання частоти (АЛР), автоматика забезпечує стабільний рівень частоти електромережі;

- захист від навантаження відключає споживачів, що перевантажують мережу;

- самозапуск електроприводів, система забезпечує автоматичне включення двигунів, що виконують відповідальні функції після переривання живлення на кілька секунд, інші невідповідальні двигуни, щоб уникнути перевантаження енергосистеми, відключаються.

Основними функціями АСБЕ є [3]:

- моніторинг параметрів енергопостачання в реальному часі;

- автоматичне виявлення аномалій (відхилення напруги, частоти, втрати фази);

- автоматичне перемикання джерел живлення з основного на резервне без втрати напруги;

- діагностика несправностей у вузлах енергомережі;

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ведення журналу подій і аварій для подальшого аналізу;
- підвищення надійності та стабільності електроживлення критичних споживачів;
- інтеграція з ERP/SCADA/MES-системами підприємства.

Основними або ключовими переваги впровадження АСБЕ є:

- безперервність виробництва – уникнення простоїв і зупинок технологічного процесу.
- зменшення втрат і аварійності – системи забезпечують швидке реагування на критичні ситуації.
- енергоефективність – оптимальне керування джерелами живлення дозволяє економити ресурси.
- висока адаптивність – можливість гнучкої настройки під конкретні потреби об'єкта.
- покращення обслуговування – аналітика аварій і профілактичні сповіщення зменшують ризики.

Типові рішення та обладнання сучасних підприємств можна виділити популярні зразки АСБЕ, серед яких:

- Schneider Electric EcoStruxure Power – рішення для моніторингу та управління електроживленням на промислових підприємствах;
- Siemens SENTRON PAC + WinCC – система вимірювання, реєстрації параметрів і управління аварійними ситуаціями;
- ABB Power and Automation Systems – системи з високим рівнем інтеграції та підтримки PLC;
- General Electric iPower/Proficy HMI/SCADA – для енергетичного моніторингу та контролю.

Виклики та перспективи розвитку АСБЕ на сьогоднішній день незважаючи на ефективність, існують інші фактори, а саме:

- висока вартість впровадження;
- необхідність модернізації старої інфраструктури;

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- високі вимоги до фахівців (налаштування, програмування, обслуговування).

Однак з розвитком технологій IoT, хмарних сервісів та віртуалізації, АСБЕ стають доступнішими і ефективнішими. Особливої уваги набуває використання штучного інтелекту для прогнозування збоїв і самоналаштування систем. Актуальними стають комплексні системи безперебійного електропостачання промислових об'єктів (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд комплексної СБГЕ

Автоматизовані системи безперебійного енергопостачання є стратегічно важливим елементом для підтримки безпечної та ефективної роботи промислових об'єктів. Їх застосування дозволяє значно підвищити надійність, зменшити втрати від аварій та мінімізувати вплив людського фактора. У контексті цифровізації промисловості, АСБЕ стають базовою складовою концепції Industry 4.0.

1.2 Огляд складової систем енергозабезпечення промислових об'єктів

Система безперебійного енергозабезпечення (СБЕ) промислового об'єкта — це складний комплекс взаємопов'язаних технічних засобів, призначених для гарантування безперервного, стабільного і якісного

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

електроживлення технологічного та критичного обладнання підприємства. СБЕ забезпечує автоматичний контроль і регулювання електропостачання, виявлення аварійних ситуацій, переключення на резервні джерела живлення, накопичення та аналіз історії подій.

Сучасні промислові підприємства мають підвищені вимоги до надійності енергоживлення, оскільки навіть короточасні збої можуть спричинити втрату даних, пошкодження обладнання, зупинку виробництва або навіть небезпечні технологічні інциденти. Тому розробка, проектування та експлуатація СБЕ вимагає ретельного підходу до вибору її складових та інтеграції їх у загальну автоматизовану систему керування [4].

Основне джерело живлення це централізоване електропостачання від енергосистеми підприємства або енергопостачальної організації. Його стабільність контролюється засобами моніторингу напруги, струму, частоти та фази. Основне джерело забезпечує звичайну роботу промислового об’єкта (ПО), і лише у випадку відмови СБЕ переключає навантаження на резерв (рисунок 1.4).

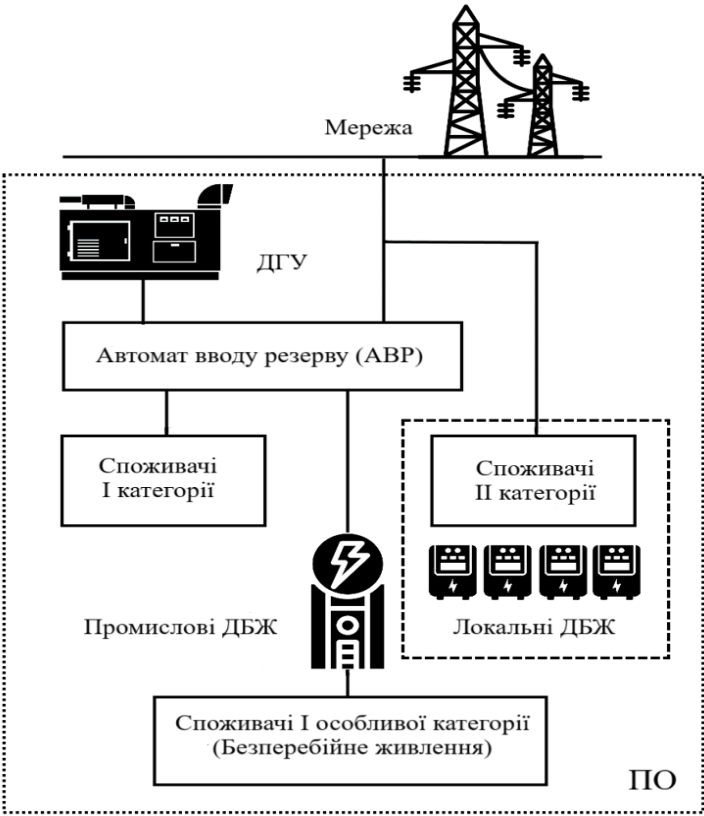


Рисунок 1.4 – Структура централізованого і резервного енергопостачання ПО

Резервне джерело живлення, у більшості випадків резервне живлення здійснюється від дизель-генераторних установок (ДГУ), газопоршневих агрегатів або інших альтернативних джерел (рисунки 1.4). Система повинна забезпечити автоматичний запуск резервного джерела у випадку зникнення основного живлення. Це джерело не призначене для тривалої роботи, але дає змогу зберегти працездатність підприємства до відновлення основного живлення.

Джерела безперебійного живлення (UPS), використовуються для підтримки живлення критично важливих об'єктів (серверів, систем керування, телеметрії) до моменту запуску резервного джерела. UPS може бути виконане на базі батарей (аккумуляторів) або суперконденсаторів і забезпечує нульовий проміжок між зникненням основної напруги і подачею резервного живлення.

Децентралізовані та централізовані схеми безперебійного електроживлення не є взаємовиключними. Наприклад, критичні споживачі (спеціалізоване устаткування) усередині підприємства захищені великими промисловими ДБЖ, але в конкретному цеху, який не має гарантованого живлення, можуть бути локально використані ДБЖ початкового та середнього класу для забезпечення захисту постів оператора, сервера, принтера та іншої техніки. Застосування на підприємствах трьох типів ДБЖ, - оффлайн-ДБЖ, лінійно-інтерактивний тип і онлайн-ДБЖ, дає можливість забезпечити технологічні процеси на усіх стадіях виробництва.

Найбільш прості і дешеві резервні ДБЖ (offline, back-UPS, stand-by) у багатьох випадках не рекомендуються з огляду на те, що напруга, що подається з мережі, безпосередньо передається на навантаження (рисунки 1.5 а)). Хоча напруга в резервних ДБЖ фільтрується, але вона ніяк не регулюється - якщо в мережі занижена або підвищена напруга, то саме така і надійде на навантаження. Живлення від батареї в резервних ДБЖ включається тільки при повному зникненні напруги на вході, і на вихід подається апроксимована (наближена) форма синусоїди напруги, що погано

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

впливає на працездатність обладнання з трансформаторними блоками живлення, електромоторів, дроселів, аудіо- та відеоапаратури класу Hi-Fi, котлів кондиціонери, насоси для води. Категорично не рекомендується використовувати резервні ДБЖ для захисту лабораторного обладнання та медтехніки, які можна заживлювати лише напругою з ідеальною синусоїдою.

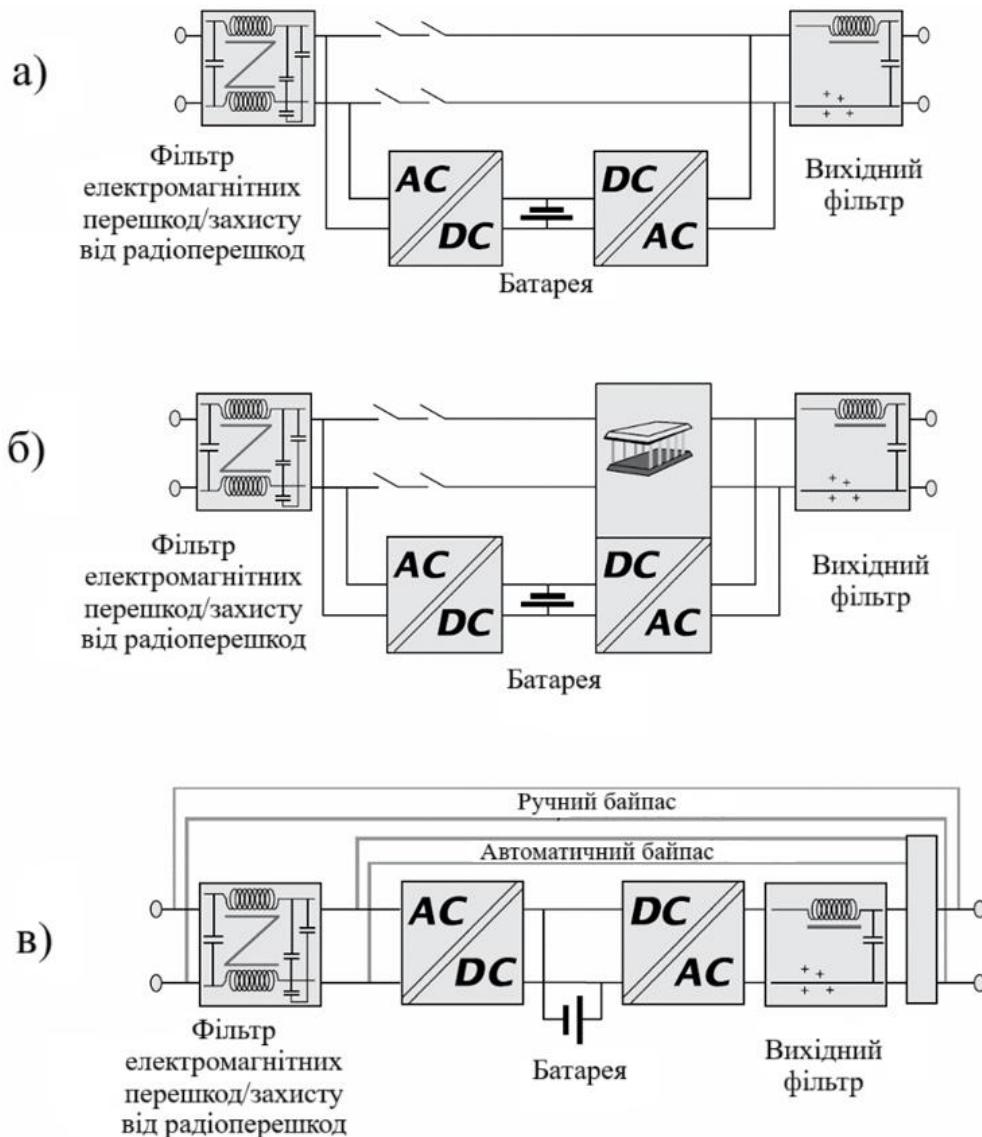


Рисунок 1.5 – Структурні схеми трьох типів ДБЖ: а) оф-лайн, б) лінійно-інтерактивний, в) он-лайн.

Лінійно-інтерактивні ДБЖ (line-interactive) — найпрактичніші з погляду співвідношення «ціна/якість електроживлення» (рисунок 1.5 б)). Важливою відмінністю лінійно-інтерактивних ДБЖ від офлайн-ДБЖ є наявність стабілізатора напруги (так званого автотрансформатора, AVR -

Automatic Voltage Regulator). Тому лінійно-інтерактивний ДБЖ найбільш корисний при використанні в умовах, коли вхідна напруга може змінюватися в широких межах. Можливості стабілізації напруги у таких ДБЖ досить значні - від 150-160 до 270-290 на вході в залежності від моделі, при цьому на виході будуть стабільні 230 В. Сучасні лінійно-інтерактивні ДБЖ, такі як Eaton серій 5P та 5PX, мають мікропроцесорне керування та забезпечують ідеальну синусоїду вихідної напруги [4, 5].

Он-лайн ДБЖ (online, double conversion) - повна протилежність оф-лайн ДБЖ у сенсі якості електроживлення, яка б не була напруга або перешкоди в електромережі, на навантаження надійде ідеальна синусоїда (рисунок 1.5 в)). Усередині ДБЖ проводиться подвійне перетворення - змінна вхідна напруга перетворюється на постійну, а потім знову на змінну, вже з ідеальними параметрами. Єдиний недолік он-лайн ДБЖ - це висока вартість.

Альтернативні джерела, все частіше у СБЕ впроваджуються джерела на базі сонячних батарей, вітроелектростанцій або технологій зберігання енергії. Вони застосовуються як допоміжні або резервні джерела, а також для підвищення енергоефективності та екологічності.

Програмно-апаратні засоби керування (ПЛК, RTU) є не від'ємним елементом будь-якої автоматизованої системи. Центром системи є програмовано-логічний контролер (ПЛК) **або** віддалений термінал управління (RTU), який у свою чергу:

- зчитує параметри живлення з сенсорів;
- здійснює аналіз даних у режимі реального часу;
- приймає рішення про перемикання джерел;
- реєструє усі події в пам'яті;
- керує виконавчими механізмами (контактори, вимикачі, пускачі).

ПЛК можуть працювати автономно або бути інтегрованими в SCADA-систему через промислові протоколи (Modbus, Profibus, OPC-UA). У розширених системах використовуються алгоритми кореляційного аналізу, логіки обробки подій, прогнозування відмов, машинного навчання.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Первинні перетворювачі та сенсори контролю є “очами” і “руками” АСБЕ. Основні типи сенсорів, що можуть використовуватися у АСБЕ:

- трансформатори струму та напруги — для вимірювання силових параметрів;
- сенсори частоти та фази — для аналізу синхронізації живлення;
- температурні сенсори — для контролю теплового режиму ДГУ, батарей, трансформаторів;
- вібраційні сенсори — для діагностики механічного стану генераторів;
- сенсори рівня палива, тиску, обертів — для контролю ДГУ.

Сигнали з цих пристроїв оцифровуються, обробляються та аналізуються ПЛК або іншим процесором з метою виявлення не стабільностей, прогнозування відмов, або запуску дій на випередження.

Виконавчі механізми АСБЕ – електронно-механічні та механічні засоби керування енергетичною установкою. До складу виконавчих механізмів СБЕ входять [5, 6]:

- контактори і силові вимикачі для перемикання ліній живлення;
- автоматичні вимикачі з приводами;
- реле керування, пускові реле;
- системи охолодження і вентиляції для підтримання температури;
- системи дозаправки паливом для ДГУ.

Дані пристрої забезпечують реалізацію команд, які формуються ПЛК або автоматикою керування живленням і енергопостачанням.

Системи візуалізації та диспетчеризації АСБЕ на сьогоднішній день на світовому ринку представлені широким спектром програмно-технічних засобів. Система АСБЕ повинна мати людино-машинний інтерфейс (НМІ) або бути інтегрована в SCADA-платформи. Це дозволяє оператору:

- бачити схему енергоживлення в реальному часі;
- переглядати параметри системи;
- мати доступ до журналів подій;
- отримувати аварійні сповіщення;

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- керувати режимами роботи вручну або автоматично.

Приклади найпопулярніших SCADA-систем: Siemens WinCC, Schneider Citect, ABB 800xA, GE iFix.



Рисунок 1.6 - Приклади найпопулярніших SCADA-систем

Системи накопичення енергії на сучасному енергетичному ринку стали набувати більшої популярності у зв'язку з перенавантаженням енергетичної мережі країни та обмеженнями потужності споживання введеними для великих і середніх підприємства. Новим компонентом АСБЕ стали системи накопичення енергії (Battery Energy Storage Systems). Такі системи дозволяють:

- покривати пікові навантаження;
- накопичувати надлишкову енергію від альтернативних джерел;
- забезпечувати резервне живлення без використання ДГУ;
- стабілізувати мережу при короткочасних коливаннях.

Такі системи можуть інтегруватися через інвертори до ПЛК або SCADA систем будь-якого підприємства чи промислового об'єкта.

Системи накопичення енергії на базі суперконденсаторів – комплексне інноваційне рішення, яке знаходить широке застосування у складі джерел безперебійного живлення (ДБЖ) для дата-центрів, підтримки роботи частотно-регульованих приводів (ЧРП) та в системах додавання потужності.

Суперконденсаторні ДБЖ застосовуються для захисту центрів обробки даних (ЦОД) великих промислових об'єктів від збоїв у системі електропостачання. Цю ж функцію виконують і в енергокомплексах

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

підприємств промисловості. До важливих відмінностей ДБЖ на основі суперконденсаторів від традиційних рішень із застосуванням свинцевих або літієвих батарей слід віднести високі струми і потужності, тривалий термін служби -10-15 років (до 1 000 000 циклів заряд-розряд).

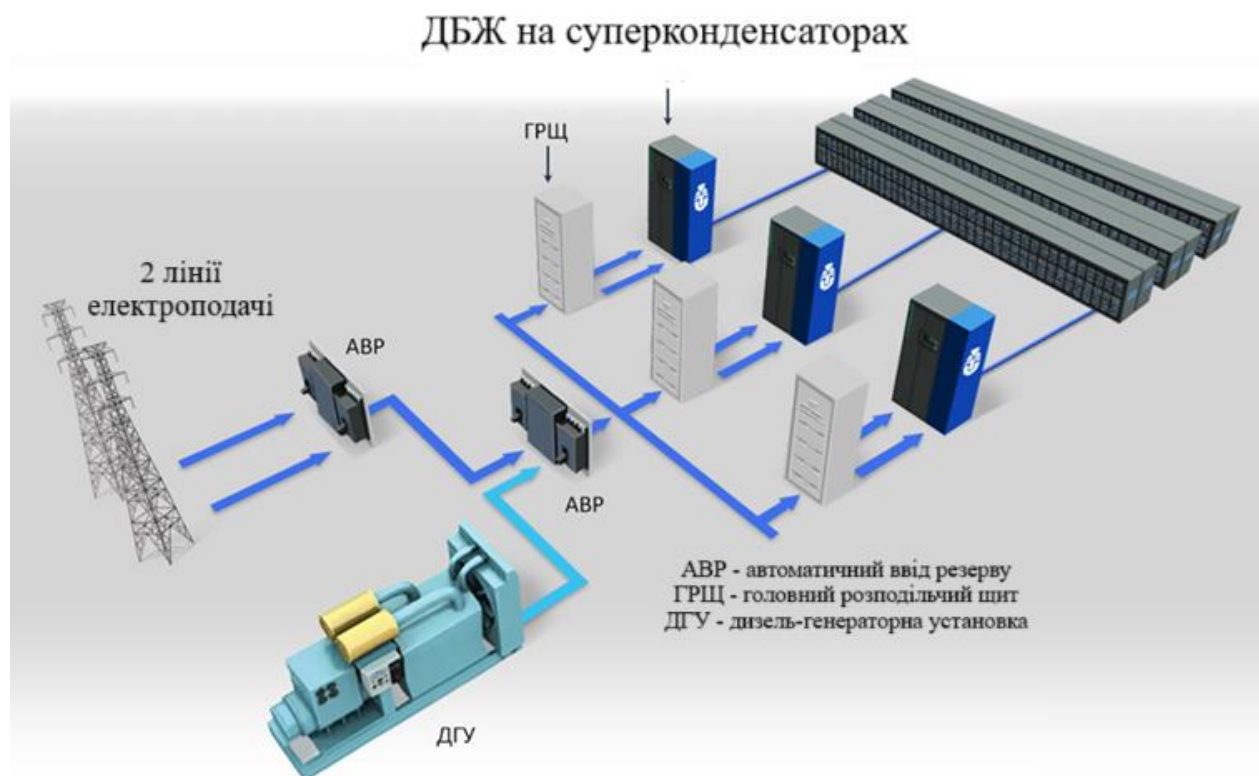


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд і структура суперконденсаторних ДБЖ

Суперконденсаторні накопичувачі енергії на базі модулів серії "НСКБ" (напругою 102В) конструктивно виконані у вигляді 19-дюймових стійок. Послідовне з'єднання модулів забезпечує можливість роботи з напругою накопичувачів до 1500В. Рішення масштабується під потреби замовника. Обладнання компактне, не вимагає обслуговування та створення для нього спеціальних приміщень.

Система безперебійного енергоживлення або ще їх називають АСБЕ — це багатофункціональний технічний комплекс, що забезпечує сталість і надійність енергопостачання промислових об'єктів. Її ефективне функціонування залежить від злагодженої роботи усіх складових: джерел живлення, ПЛК, сенсорів, виконавчих механізмів та засобів моніторингу. У

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

сучасних умовах особливого значення набуває автоматизація, віддалене управління та застосування інтелектуальних алгоритмів прогнозування, що дозволяє попереджати аварійні ситуації та знижувати витрати на обслуговування.

1.3 Загальне представлення контура регулювання та особливостей складних систем автоматизації об'єкта управління

Робота більшості сучасних підприємств базується на використанні техніки, чутливої до якості енергії. Вихід з ладу офісних комп'ютерів, серверів, бухгалтерії та лабораторної апаратури, системи автоматики та інших приладів спричиняє серйозні наслідки, які часом можуть бути непоправними. Існуюча система живлення недосконала, і процес постачання може раптово перерватися. Щоб запобігти таким випадкам, рекомендується застосування [6]:

- систем безперебійного електроживлення (СБЕ), робота яких базується на базі джерел безперебійного живлення (ДБЖ, UPS);
- систем гарантованого електроживлення (СГЕ), робота яких базується на дизельгенераторних електростанціях (ДГУ, ДЕ);
- систем безперебійного та гарантованого електроживлення, як поєднання двох перерахованих вище систем (рисунок 1.7).

Як правило, завдання забезпечити безперебійне живлення покладається на ДБЖ та дизельні генератори, які беруть на себе живлення відповідального споживача на період відсутності електрики в мережі. Тим не менш, у цьому випадку відіграють роль і допоміжні рішення, серед яких може бути резервування підведення силових ліній, системи гасіння пожежі та захисту від блискавки. Важливо розуміти, що гарантоване електроживлення має бути забезпечене за умов будь-яких екстремальних ситуацій.

Ключовими характеристиками систем безперебійного живлення є надійність, відмовостійкість, енергоефективність. Тим не менш, економія

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

ДГУ

АВР ДГУ

Стабілізатор

Ввід 1

Ввід 2

АВР

АКБ

ЕПУ

ЩСП

Фільтр

ЩБП

ЩПТ

ДБЖ

Стабілізоване Гарантоване ~

Безперебійне ~

Безперебійне =

Система кондиціонування 20°C

Світ дедалі більше уваги приділяє розробці та застосуванню альтернативних джерел електроенергії, які б відновлювалися власними силами. Це особливо важливо завдяки «зеленим тарифам», які дозволяють реалізовувати надлишок одержуваної електроенергії в мережу громадського використання, або витратити отриману енергію на особисті потреби, знижуючи залежність від зовнішніх джерел.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання почало працювати на більш «розумній» автоматизації, та й збирання інформації вийшло на принципово новий рівень.

В Україні не тільки гостро стоїть питання електропостачання, але й спостерігаються проблеми з якістю електрики, яку постачають споживачам розподільними мережами загального призначення. Тому виникла потреба у створенні системи гарантованого живлення (СГЖ). Такі системи застосовується у схемі релейного захисту, автоматики та технологічної сигналізації електроустановок різного класу напруги підприємств енергетики та інших важливих об'єктів.

СГЖ забезпечує безперервне живлення змінною напругою 220В:

- від централізованої мережі змінного струму 220В у штатному режимі;
- від резервної мережі постійного струму 220В при відключенні напруги мережі змінного струму, використовуючи резерв акумуляторів користувача;
- від ресурсу батарей джерела безперебійного живлення без напруг, як у мережі змінного струму, і у мережі постійного струму.

Основними і суттєвими перевагами СГЖ є те, що [7]:

- стабільність параметрів мережі змінної напруги 220В при підключенні постійної напруги 220В з нульовим часом перемикання в аварійний режим без перехідного процесу на виході пристрою;
- користувач може самостійно підключити СГЖ, оскільки її конструкція проста та зрозуміла;
- під час аварійних відключень зберігаються регламентні вимоги;
- напруга мережі постійного струму 220В СГЖ виробляється трьома однотипними каналами, забезпечуючи триразовий запас надійності, якщо при аварії відмовляє один канал, СГЖ зберігає свою працездатність;
- перетворювач напруги працює в ощадливому режимі;
- експлуатація практична та довговічна.

Конструкція СГЖ передбачає застосування уніфікованих елементів: джерела безперебійного живлення, блоку живлення постійної напруги

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(перетворювач постійної напруги), реле змінного струму. В разі якщо один з приладів виходить із ладу, запчастину легко можна замінити аналогічною. При необхідності можна звернутися до сервісної служби, проте пристрій чи система цілком призначені для самостійної експлуатації.

Головним і невід'ємним елементом будь-якої автоматизованої системи безперебійного та гарантованого енергозабезпечення є автомат вводу резерву (АВР). АВР — це система, що забезпечує автоматичне перемикання споживачів електроенергії з основного джерела живлення на резервне при виникненні збоїв або повного зникнення напруги. Така система є критичним елементом автоматизованої системи безперебійного та гарантованого енергопостачання (АСБГЕ), особливо в умовах, де електроживлення має бути безперервним.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд АВР

Основними задачами АВР у АСБГЕ є:

- автоматичне перемикання навантаження на резервне джерело при зникненні або погіршенні параметрів напруги основного джерела;
- мінімізація часу простою обладнання, запобігання аваріям і втратам;
- повернення до основного джерела після його відновлення без втручання оператора;
- забезпечення живлення критичних споживачів, таких як сервери, системи управління, медичне чи виробниче обладнання.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Особливостями роботи АВР в АСБГЕ є:

- автоматичність — уся логіка перемикання реалізується контролером або спеціалізованим модулем без участі оператора;
- інтелектуальність — сучасні системи АВР аналізують не лише факт зникнення напруги, а й її якість (просадки, гармоніки, частота);
- вбудовані захисти — захист від коротких замикань, неправильного фазування, перекосу фаз;
- інтеграція з SCADA — передача даних про стан мережі, події та аварії для віддаленого моніторингу та керування;
- програмована логіка — можливість налаштування пріоритетів, затримок вводу резерву, умов повернення до основного джерела.

Загалом розрізняють основні типи АВР за схемою підключення це:

- двопозиційний АВР (1 резервне джерело)(перемикає навантаження між основним і резервним джерелом, застосування - більшість об'єктів з ДБЖ або генератором, перевагами є проста реалізація, висока надійність);
- трипозиційний АВР (3 положення перемикання) (має проміжне положення "вимкнено", забезпечує безконтактне перемикання між двома джерелами, перевагами є підвищена безпека, зменшення струмових імпульсів);
- двоступеневий АВР (із затримкою запуску генератора)(спочатку перемикає навантаження на акумулятор (UPS), а потім запускає ДГУ, застосовується в центрах обробки даних, медичних установах де важливе миттєве резервування);
- АВР з пріоритетами навантаження (розділяє навантаження на критичне та другорядне, при обмеженні резерву живить лише критичні системи, перевагами є енергоефективність і оптимізація ресурсів.

Основними компонентами системи АВР є:

- контролер або ПЛК — реалізація логіки перемикання, інтерфейс зв'язку;

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- релейно-контакторні пристрої або автоматичні вимикачі — фізичне виконання перемикання;

- сенсори контролю мережі — напруга, частота, фазність, синхронізація;

- комунікаційний інтерфейс — SCADA, MODBUS, Ethernet тощо.

Сьогоденні реалії ставлять вимоги до сучасних АВР для АСБГЕ, а саме [7, 8]:

- швидкодія — час спрацювання від 10 мс до 1 с залежно від типу;
 - надійність — багаторівнева відмова ($N+1$, $2N$);
 - гнучкість налаштування — програмовані затримки, логіка перемикачів;
- безпечність — захист від перенапруги, помилок підключення, зворотної подачі напруги.

АВР — це серце системи гарантованого енергопостачання. Їх правильне проектування, вибір типу, резервування та інтеграція в АСУТП/SCADA визначають надійність електроживлення критичних об'єктів. У сучасних промислових умовах автоматизований АВР з використанням ПЛК або промислових контролерів дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації, мінімізувати ризики зупинки виробництва, захистити обладнання та забезпечити сталість технологічних процесів.

В умовах сучасних промислових підприємств і критичної інфраструктури (медичних установ, центрів обробки даних, енергетичних об'єктів тощо), якість електроживлення відіграє ключову роль для забезпечення надійної та безперебійної роботи обладнання. Однією з найважливіших складових АСБГЕ є стабілізатори напруги.

Стабілізатор напруги — це пристрій, який автоматично підтримує рівень напруги в заданих межах, незважаючи на коливання або просадки в зовнішній мережі живлення (рисунок 1.9). Основні задачі стабілізатора в АСБГЕ:

- усунення нестабільності напруги (перенапруги, просадки, стрибки);

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

- захист обладнання від перевантаження, згоряння, передчасного зносу;
- підтримка високої якості живлення для чутливих приладів, мікропроцесорної техніки;
- зниження частоти спрацювань системи АВР та UPS;
- стабілізація мережі перед введенням енергії в навантаження після резервування.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд промислового стабілізатора для АСБГЕ

Автоматизована система безперебійного та гарантованого енергопостачання — це інтелектуальна, адаптивна система, яка об'єднує джерела живлення, засоби керування та комунікаційні модулі в єдину інфраструктуру. Вона критично важлива для забезпечення безпеки та надійності сучасних промислових об'єктів. Її реалізація значно підвищує технологічну стійкість підприємства та забезпечує безперервність бізнес-процесів.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Реалізація структури автоматизованої системи безперебійного енергопостачання та функціональне представлення основних вузлів управління

Автоматизована система безперебійного енергозабезпечення (АСБЕ) промислового підприємства є складною сукупністю апаратно-програмних засобів, які забезпечують надійне, безперервне постачання електроенергії до критичних технологічних об'єктів. Головною метою такої системи є запобігання перебоям у живленні, своєчасне виявлення відхилень параметрів енергопостачання та автоматичне перемикавання на резервні джерела або стабілізуючі модулі. У складі АСБЕ функціонують ключові вузли, кожен з яких виконує певну роль у забезпеченні енергетичної безпеки підприємства, структура такої системи представлена на рисунку 2.1.

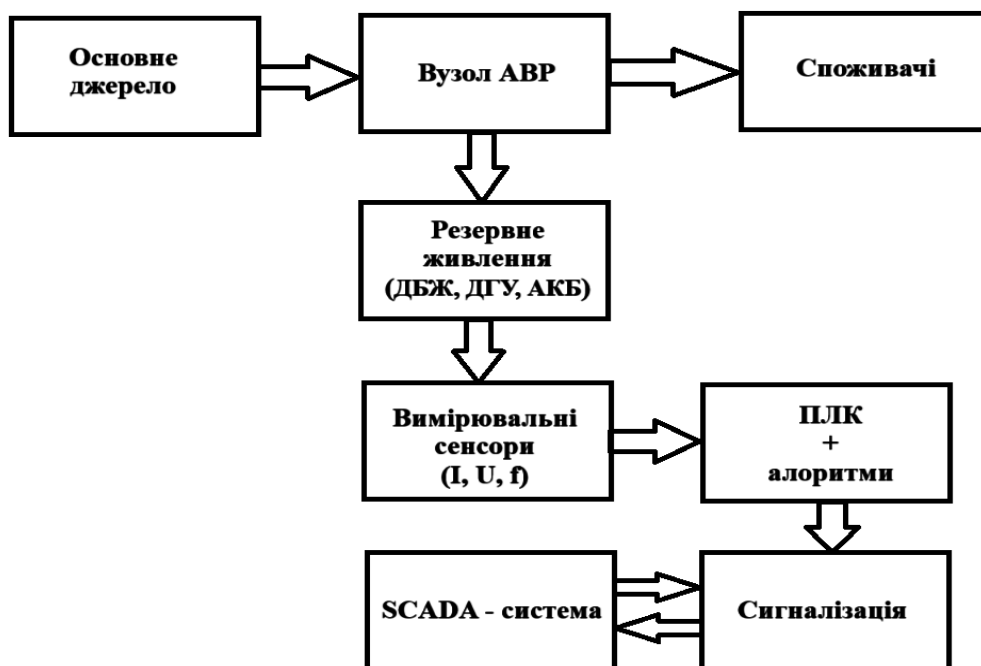


Рисунок 2.1 – Структурна схема АСБЕ

Вузол первинного енергоживлення. Цей вузол включає основне джерело електроенергії: зовнішню електромережу або трансформаторну

підстанцію. Він також містить вхідні автоматичні вимикачі, засоби обліку енергії та первинного контролю параметрів живлення. Основна функція цього вузла – прийом та контроль якості електроенергії, що надходить у систему.

Вузол резервного живлення (ДБЖ, генератори, АКБ). Резервне живлення забезпечується за рахунок дизель-генераторних установок, джерел безперебійного живлення, акумуляторних батарей. Цей вузол активується при втраті основного джерела живлення або при погіршенні його параметрів. Основна задача – підтримання живлення критичних навантажень протягом часу відсутності основного живлення.

Вузол автоматичного вводу резерву (АВР). АВР є ключовим елементом оперативного перемикання між основним та резервним джерелами живлення. Він забезпечує швидке (до 0,1 сек) переключення без втрати напруги. Вузол містить контролери напруги, контактори та логічні блоки прийняття рішення.

Система стабілізації напруги та частоти. Цей функціональний блок відповідає за підтримання стабільних параметрів електроенергії незалежно від якості вхідної напруги. У склад входять стабілізатори напруги, інвертори та частотні регулятори. Роль такого функціонального блока – забезпечення належної якості енергії для чутливих пристроїв.

Вимірювальний та сенсорний блок. До складу цього вузла входять цифрові трансформатори струму, напруги, частоти, а також сенсори температури, вологості, навантаження. Отримані дані передаються в ПЛК для аналізу та кореляційного опрацювання. Функції: контроль параметрів у реальному часі, передача телеметрії на вищі рівні управління [8].

Програмовано-логічний контролер (ПЛК). Це центральний обчислювальний вузол, який виконує аналіз параметрів, реалізує алгоритми діагностики (в тому числі кореляційний аналіз), керує перемиканням джерел живлення, стабілізаторами та сигналізацією. ПЛК взаємодіє з SCADA-системою та диспетчером.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

SCADA-система та інтерфейс оператора. Забезпечує візуалізацію, контроль, моніторинг, архівацію даних і віддалений доступ до керування. SCADA відображає стан усіх вузлів, попереджає про критичні події та дозволяє задавати конфігурації системи.

Мережеві комунікації та інтерфейси передачі даних. Об'єднують усі елементи системи в єдину інформаційну мережу. Використовуються протоколи Modbus, CAN, Profibus, Ethernet/IP тощо.

Система оповіщення та сигналізації. Складається з візуальних та звукових індикаторів, повідомлень для SCADA, SMS або e-mail сповіщення. Вона повідомляє персонал про стан енергосистеми, несправності, зміни конфігурації.

Дана система працює у реальному часі, забезпечує контроль якості живлення, адаптивне перемикання на резерви, фільтрацію аномалій у сигналі, що особливо важливо для безперервних промислових процесів. АСБЕ – це основа енергетичної стабільності підприємства, що дозволяє зменшити простої, убезпечити техніку від поломок та зменшити енергетичні втрати.

Застосування автоматизованої системи безперебійного енергозабезпечення має високу ефективність для підприємств різного масштабу — від малих виробничих ліній до великих промислових об'єктів. Ефективність визначається здатністю системи забезпечувати стабільне живлення, мінімізувати простої обладнання, уникати аварійних ситуацій та знижувати втрати, пов'язані з нестабільною подачею електроенергії.

Для малих підприємств: АСБЕ дозволяє уникнути втрати чутливого обладнання (наприклад, лабораторного чи сервісного), підтримує роботу мінімального критичного навантаження. Застосування ДБЖ та простих ПЛК із базовим функціоналом дозволяє досягти високої окупності при відносно низьких капіталовкладеннях. Це підвищує якість послуг і виробничу безперервність.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Для середніх підприємств: АСБЕ використовується для підтримки стабільної роботи технологічних ліній, забезпечення резервного живлення IT-інфраструктури, охоронних систем, кліматичних установок тощо. Тут уже виправдане впровадження більш потужних генераторів, централізованої SCADA-системи, багаторівневої логіки керування. Це дозволяє автоматично адаптуватися до умов споживання та виявляти критичні точки навантаження.

Для великих промислових об'єктів: АСБЕ виступає як частина критичної інфраструктури, інтегруючись з корпоративними енергетичними центрами, диспетчеризацією, цифровими підстанціями. Вона дозволяє зберігати функціонування всього підприємства навіть за умов довготривалого блекауту. Для таких об'єктів використовуються модульні системи резервування, паралельні ДГУ, акумуляторні ферми та складні алгоритми керування з елементами штучного інтелекту.

Загалом особливості роботи АСБЕ є наступними [9]:

- адаптивність: система налаштовується під характеристики об'єкта та може масштабуватись;
- високий ступінь автоматизації: мінімізується вплив людського фактора;
- прогнозування несправностей: аналіз тенденцій у роботі мережі дозволяє завчасно вживати заходів;
- безпека: дотримання норм ПЕЕ, електробезпеки, дистанційне оповіщення.

Таким чином, ефективність АСБЕ проявляється у збереженні безперервності виробництва, мінімізації втрат енергії та ресурсів, захисті обладнання, що робить її невід'ємною частиною сучасних промислових енергосистем.

У сучасному світі, з урахуванням розвитку ринкових відносин, енергоємність виробництва товарів набуває все більшої важливості, адже підвищення собівартості безпосередньо веде до збільшення ціни товарів виробників, що негативно позначається на попиті. Надійне

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електропостачання промислового виробничого підприємства має скоротити витрати через відсутність простоїв через відключення електроенергії. Тут на допомогу можуть прийти дизельні електростанції. Але доцільність використання резервних джерел електроенергії на підприємстві не завжди виправдовує себе.

Не завжди все залежить від категорії електропостачання, до якої належить промислове підприємство або завод, наскільки критичні у виробничому процесі перерви через відсутність електрики. ПО вимозі до надійності, всі споживачі поділяються на три категорії електропостачання:

- 1-а категорія електропостачання (Електроприймачі, перерва в електропостачанні яких може спричинити небезпеку для людей, значні збитки народному господарству, пошкодження обладнання, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу. Такі споживачі повинні забезпечуватися живленням від двох незалежних джерел (мережа+мережа або мережа+ДГУ) і перерва їхнього електропостачання допускається лише на час автоматичного включення резерву. Також виділяють особливу групу електроприймачів 1-ї категорії, безперебійна робота яких необхідна для забезпечення можливості безаварійної зупинки виробництва. У деякому виробництві припинення вентиляції може спричинити небезпечну концентрацію горючих або токсичних газів, а зупинка насосів – пожежа чи вибух. Для особливої категорії електропостачання використовують третє незалежне джерело електроенергії (дизельний генератор, ДБЖ тощо));

- 2-а категорія електропостачання (Найбільш численна група, до неї відносяться електроприймачі, які також дуже важливі, але перерва їхньої роботи не пов'язана зі здоров'ям та життям людей та механізмів виробництва. Простій виробництва чи обладнання загрожує недовипуском виробництва, перервою в роботі людей та машин. Відповідно і вимоги до резервування менш суворіші, ніж до 1-ї категорії. Допускаються перерви електропостачання на час, необхідний для ручного включення резерву

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

черговим персоналом і навіть виїзною бригадою, якщо підстанція не має постійного чергування);

- 3-я категорія електропостачання (Усі інші електроприймачі - допоміжні цехи, господарський блок, невідповідний склад тощо. Вони допускають перерву живлення на час ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, але тривалістю не більше однієї доби.

На етапі проектування та віднесення різних електроприймачів до різних категорій електропостачання потрібно чітко визначити ступінь критичності простою того чи іншого елемента виробництва та прорахувати економічну ефективність віднесення до тієї чи іншої категорії (рисунок 2.2). Природно, всі електроприймачі, які впливають на безпеку та здоров'я людей при енергопостачанні промислових підприємств, повинні бути захищені від відключень електроенергії, незалежно від економічних показників.

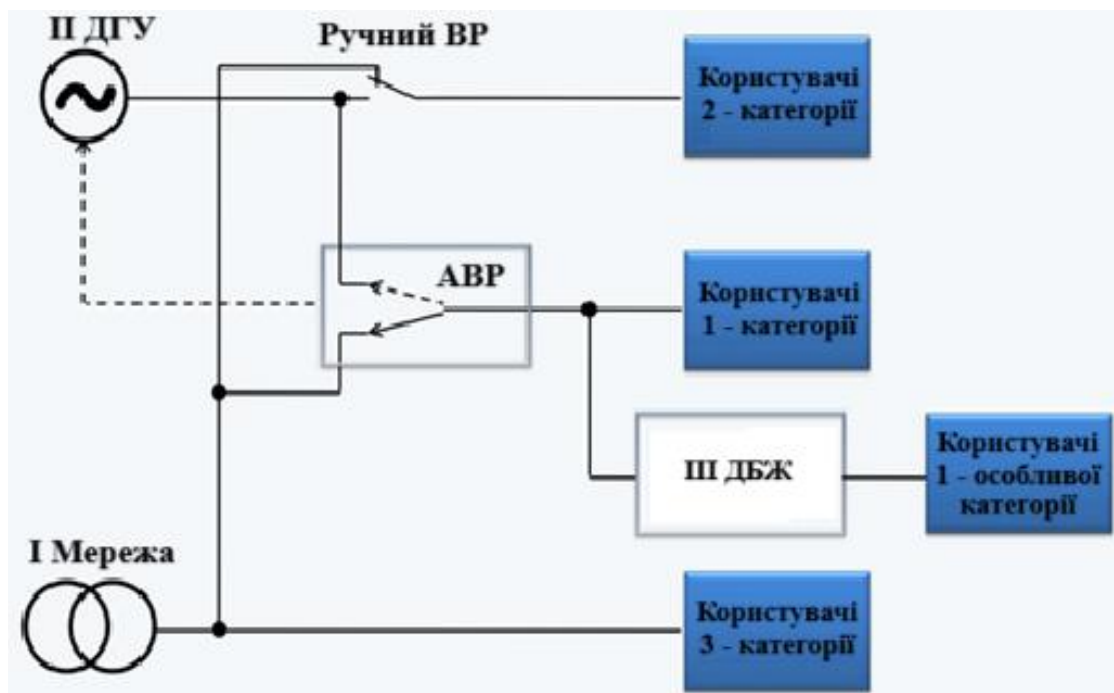


Рисунок 2.2 – Структурна схема підключення користувачів різних категорій до одного або декількох джерел живлення

Як правило в системах електропостачання промислових підприємств використовують дизельні електростанції для резервування споживачів першої та другої категорії електропостачання, у разі відсутності можливості

підключення другого мережевого введення. Але варто врахувати, що навіть якщо поряд є можливість підключення другого мережного фідера, то вартість такого підключення може бути в кілька разів більшою за покупку дизель-генератора. Завжди слід враховувати економічну доцільність того чи іншого варіанта.

При побудові систем електропостачання споживачів особливої категорії як правило застосовують джерела безперебійного живлення спільно з дизельними електростанціями. Найчастіше, у складних системах (ЦОД, медичні центри) використовують резервування ДБЖ за схемою N+1, N+2 та більше. Коли ДБЖ резервується іншим джерелом безперебійного живлення для максимального збільшення показника стійкості до відмови. Електропостачання промислових підприємств-комплексне питання, яке потребує відповідного підходу, знань та досвіду.

2.2 Обґрунтування вибору промислового програмовано-логічного контролера для автоматизованої системи енергопостачання

Вибір програмовано-логічного контролера для автоматизованої системи безперебійного енергопостачання є критичним рішенням, яке впливає на стабільність, надійність та функціональність усієї системи. ПЛК виконує роль центрального елемента керування, забезпечуючи обробку сигналів від сенсорів, реалізацію логіки перемикавання між джерелами живлення, моніторинг стану елементів енергосистеми, а також взаємодію з вищим рівнем керування (SCADA) [8-10].

Основними вимогами до ПЛК у складі АСБЕ є: висока надійність, здатність до безперервної роботи в режимі 24/7, розширюваність, стійкість до електромагнітних завад, можливість обробки аналогових і цифрових сигналів, а також підтримка сучасних протоколів зв'язку (Modbus, Ethernet/IP, Profibus, CANopen). Крім того, важливою є підтримка

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

функціональних бібліотек для реалізації алгоритмів аналізу, у тому числі кореляційного, які дозволяють виявляти аномалії у роботі енергомережі.

Перевага надається ПЛК таких виробників, як Siemens (S7-1200/S7-1500), Schneider Electric (Modicon M340/M580), Omron (NX/NJ серії) або WAGO (750/751 серії). Наприклад, контролери Siemens серії S7-1500 мають високу швидкодію, підтримку широкого спектра модулів вводу/виводу, вбудовані функції для цифрової обробки сигналів, можливість реалізації складної логіки та інтеграції з TIA Portal. Вони добре підходять для середніх та великих підприємств із високими вимогами до надійності.

Контролери Schneider Electric Modicon M340/M580 дозволяють створювати розподілені системи, мають широкі комунікаційні можливості та вбудовану підтримку віддаленого моніторингу. Їхня гнучкість у конфігуруванні та простота у використанні робить їх ефективними як для нових систем, так і для модернізації існуючих.

Контролери WAGO відомі своєю компактністю, енергоефективністю та легкістю інтеграції у системи з великою кількістю аналогових сенсорів, що особливо актуально для АСБЕ на об'єктах середнього масштабу. Їх перевага також у наявності бібліотек для обробки сигналів у реальному часі, що дозволяє реалізувати функції аналізу гармонік, нестабільності частоти, виявлення відхилень напруги тощо.

Ключовими критеріями вибору ПЛК є також [9]:

- масштабованість платформи (можливість нарощування модулів без повної заміни системи);
- підтримка гарячої заміни модулів;
- енергонезалежна пам'ять;
- швидкодія контролера (часто потрібні мілісекундні реакції на події);
- наявність локального або дистанційного діагностування помилок;
- вбудована система самодіагностики.

Крім технічних характеристик, важливо враховувати вартість, доступність сервісної підтримки в регіоні, досвід персоналу з обслуговування

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конкретної лінійки ПЛК, а також відповідність нормативним вимогам (ІЕС 61131-3).

У підсумку, вибір ПЛК для АСБЕ повинен базуватись на поєднанні факторів надійності, функціональності, гнучкості, простоти інтеграції та економічної доцільності. Для великих промислових підприємств оптимальним вибором може бути Siemens S7-1500 або Schneider M580; для середніх і малих — WAGO 750 або Omron NJ/NX. Такий підхід забезпечить стабільне функціонування енергосистеми, підвищить ефективність управління та мінімізує ризики енергетичних втрат.

Програмований логічний контролер Simatic S7-1500 – це новітнє сімейство контролерів Siemens, які мають чудові характеристики, відмінний набір функцій і високу швидкодію. У нових контролерах S7-1500 значно знижено час реакції на зовнішні події. Завдяки такому високому рівню продуктивності контролери S7-1500 можуть бути використані для вирішення завдань середнього та високого рівня складності.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд програмований логічний контролер Simatic S7-1500

Зручна конструкція програмованого контролера S7-1500 та його модульність дозволяють його максимально адаптувати до вимог

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розв'язуваних завдань. Контролер має природне охолодження. У разі модернізації системи контролер забезпечує вільне нарощування функціональних можливостей. Підвищений рівень захисту програми та даних забезпечують розробників додатковим рівнем безпеки.

Установка всіх модулів ПЛК складає профільну шину S7-1500. Допустиме встановлення до 32 модулів контролера в одну монтажну стійку. Послідовність розміщення модулів є довільною. Через інтерфейсні модулі ET 200MP та мережу PROFINET є можливість підключати додаткові стійки з додатковими модулями розширення до контролера S7-1500.

За допомогою дисплеїв, що знімаються, якими комплектуються всі модулі ЦПУ S7-1500, експлуатаційні характеристики контролер помітно підвищуються. Завдяки застосуванню знімного дисплея можна, без застосування програматора, змінити різні параметри, у тому числі змінити IP-адресу, ім'я станції і тому подібне. На дисплеї можна виводити діагностичну інформацію та аварійні повідомлення, а в системі розподіленого або локального вводу-виводу можна відображати стан модулів, а також відображати серійні та замовні номери і версії програмного забезпечення модулів системи. Видалення та встановлення дисплея можна виконувати в процесі роботи контролера.

Карти пам'яті Simatic Memory Card розміром від 2 Мб до 2 Гб використовуються як завантажувана пам'ять. Для збереження даних, що не обслуговується, при перебоях в живленні ПЛК без застосування буферних батарей, а також для збереження всього проекту STEP 7, включаючи символні імена, так само може бути використана карта пам'яті. У контролері застосовується швидкісна внутрішня шина обміну даними зі швидкістю 400 Мб в секунду. Це дозволяє отримати у результаті мінімальний час циклу. У програмованому логічному контролері S7-1500 час реакції термінал-термінал не перевищує 100 мкс.

Широкі можливості захисту від несанкціонованого доступу реалізовані в контролерах Siemens S7-1500. Можливість встановлення захисту від

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

копіювання або зміни програмних блоків за допомогою Step 7, карток пам'яті, бібліотек, від несанкціонованого перегляду. Копіювання може бути заборонено прив'язкою окремих або пов'язаних програмних блоків до серійного номера модуля ЦПУ або картки пам'яті. Реалізовано 4 рівні доступу до центрального процесора (підключення НМІ відбуваються після введення пароля), організація рівнів доступу 1-3 за допомогою персональних паролів. Захист від маніпуляції даними, включаючи захист цілісності даних проекту та системи зв'язку, цілісності та справжності оновлень вбудованого програмного забезпечення, забезпечує захист від зовнішніх атак.

2.3 Вибір первинних перетворювачів фізичних величин та сенсорів для шафи управління автоматизованої системи

Для ефективної роботи АСБЕ необхідне постійне вимірювання ключових параметрів енергомережі та навколишнього середовища. З цією метою обираються сенсори та перетворювачі фізичних величин, які здатні забезпечити точність, надійність і швидкодію в умовах промислової експлуатації. Основними параметрами, які контролюються в АСБЕ, є струм, напруга, частота, температура, вологість, а також стан резервних джерел живлення [10].

Для вимірювання струму використовуються трансформатори струму або струмові шунти з аналоговим чи цифровим виходом (наприклад, сенсори Hall'a). Найчастіше застосовуються перетворювачі струму з ізоляцією, що дозволяє захистити вимірювальну систему від високих потенціалів та забезпечити безпечну роботу. Типовими прикладами є сенсори типу LEM або Seneca T201 (рисунки 2.4).

Серія перетворювачів Seneca T201DCH – це універсальні безконтактні сенсори струму, принцип вимірювання яких заснований на ефекті Холла. Сенсор не потрібно включати в розрив ланцюга, кабель з вимірюваним струмом протягується через спеціальний отвір у корпусі, це забезпечує

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гальванічну розв'язку ланцюга з вимірюваним струмом та ланцюга вторинних вимірювальних приладів. Ключовою особливістю перетворювачів з маркуванням "LP" є уніфікований вихідний сигнал 4...20 мА, пропорційний вимірюваному значенню в налаштованому діапазоні.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд трансформаторів струму Seneca T201

Живлення та зняття вихідного сигналу проводиться по двох дротах, за принципом «струмової петлі». Уніфікований струмовий сигнал підтримується практично будь-якими контролерами і регуляторами, а також краще працює в умовах великої протяжності ліній або при високому рівні перешкод на виробництві.

Таким чином, популярна модель вимірювального сенсора струму Seneca T201 з виходом 4...20 мА тепер доповнена моделями з верхніми межами вимірювань до 100 і 300 А. Раніше в асортименті компанії Seneca для вимірювання струмів до 100 і 300 А були тільки струмові трансформатори T201DCH100 та T201DCH300, що мають вихідний аналоговий сигнал за напругою 0...10 В. Це створювало певні труднощі при доборі та експлуатації тому, що [11]:

- далеко не всі вторинні прилади підтримують уніфікований сигнал напруги;
- підключення відбувається по 3-х провідною схемою;
- проблематично прокладати сигнальні дроти на великі відстані;

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- сигнал по напрузі досить сильно піддається електромагнітним перешкодам (контактори, пускачі, перетворювачі частоти).

Особливості сенсорів струму Seneca T201DCH-LP:

- вимірювання постійного (біполярні діапазони) та змінного (TrueRMS) струму;

- безконтактний метод вимірювання, гальванічна розв'язка первинних та вторинних вимірювальних кіл;

- принцип роботи заснований на ефекті Холла;

- TRMS вимірювання змінного струму, можливість вимірювання сигналів складної форми;

- похибка вимірювання змінного струму до 0,5%, постійного до 1%;

- живлення від струмової петлі 4...20 мА, напруга живлення від 9 В постійного струму;

- налаштування за допомогою перемикачів DIP;

- можна застосовувати спільно з акумуляторними батареями, зарядними пристроями, сонячними панелями, імпульсними блоками живлення, генераторами.

Напругу вимірюють за допомогою високоточного дільника напруги або трансформаторів напруги. Використовуються також цифрові перетворювачі напруги, які забезпечують ізоляцію та перетворення сигналу у форму, сумісну з АЦП або ПЛК. Надійні зразки — Phoenix Contact PACT або аналоги RFCT-4 (рисунок 2.5).

Сенсор RFCT-4 призначений для вимірювання напруги у системах постійного та періодичного моніторингу стану ізоляції високовольтного обладнання – у високовольтних вимикачах, осередках КРУ, відповідних до них та окремо розташованих кабельних лініях, у ланцюгах нейтралі силових трансформаторів та в іншому обладнанні.

Відмінною конструктивною особливістю сенсорів марки RFCT-4 є те, що він виконаний роз'ємним, тобто складається з двох половин. Це дозволяє оперативно монтувати сенсори на устаткуванні, не розриваючи

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контрольований електричний ланцюг. Крім того, сенсор має порівняно великий внутрішній діаметр, що дозволяє монтувати його на струмопровідних елементах великого перерізу, які часто використовуються у складі потужного високовольтного обладнання.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд сенсора напруги RFCT-4

Половинки сенсора, за умови використання у складі системи постійного контролю, стаціонарно з'єднуються між собою «прихованими болтами». При використанні сенсора у складі переносних вимірювальних систем застосовуються інші болти, зручніші для швидкої фіксації половинок сенсора між собою без використання інструменту.

Як і всі інші сенсори цієї серії RFCT-4 призначений для встановлення тільки в ланцюгах заземлення високовольтного обладнання, тому його ізоляція розрахована на напругу до 1000 Вольт.

Крім того, сенсори марки RFCT-4 мають збільшений переріз феритового сердечника, тому потужні високочастотні імпульси в контрольованому провіднику призводять до імпульсів великої енергії у вторинному ланцюзі, що становлять небезпеку для персоналу та діагностичного вимірювального обладнання. Цей факт необхідно враховувати під час розробки та створення вимірювальної схеми, завжди передбачаючи додаткові захисні та заземлювальні пристрої у входних

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ланцюгах вимірювальних приладів реєстрації часткових розрядів. Для зниження впливу цього фактора в сенсор вбудовано захист від імпульсних струмів (комутаційних) з обмеженням вихідної напруги на рівні 15 В [12].

Частота електромережі контролюється шляхом аналізу форми сигналу змінної напруги або за допомогою спеціалізованих частотомірів, інтегрованих у перетворювачі напруги або багатофункціональні енергометри (наприклад, Schneider PowerLogic P5) (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд багатофункціонального енергоміра Schneider PowerLogic P5

Встановлення релейного захисту для електричних мереж середньої напруги (6-35кВ) з акцентом на фізичну та інформаційну безпеку на основі Schneider PowerLogic P5. Простота у використанні для виробників щитового обладнання, для системних інтеграторів та кінцевих користувачів. Велике охоплення захисних функцій від перевантаження струмом до диференціального захисту та захисту від дугових замикань, можливість роботи з малопотужними сенсорами струму (LPCT) та напруги (LPVT), резервоване Ethernet з'єднання та відповідність MEK61850.

Для контролю температури застосовуються термопари або терморезистори (PT100, PT1000), які підключаються через спеціальні аналого-цифрові перетворювачі температури. Це необхідно для контролю

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

нагріву ДБЖ, ДГУ, АВР або батарей, а також середовища розподільчих щитів.

Вологість та інші параметри мікроклімату контролюються комбінованими цифровими сенсорами (наприклад, SHT21), важливими для підтримки надійної роботи електроніки та акумуляторів (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд комбінованого цифрового сенсора SHT21

Цифровий сенсор SHT21 дозволяє отримувати відомості про температуру та відносну вологість навколишнього повітря. Сенсор підтримує різні варіанти розрядності даних, яких залежить час і відповідно, точність перетворення.

Сенсор SHT21 працює за запатентованою технологією CMOSens®, сенсором вологості – ємністю, температурою – на основі бандгапа. Для отримання максимально точних показників рекомендується проводити вимірювання якомога рідше, щоб уникнути саморозігріву сенсора. Рекомендоване значення – 1 раз на секунду. Час виходу сенсора на стабільні показники – 1 раз на добу у робочому режимі.

Основними перевагами сенсора SHT21 є [13, 14]:

- висока точність;
- малий часовий дрейф показників;
- контрольні суми в пакетах даних для відсікання невірних значень.

Важливо, щоб усі сенсори були сумісні з промисловими протоколами передачі даних (Modbus RTU/TCP, 4–20 мА, 0–10 В, RS-485), мали високу точність (0,1–0,5%) та стійкість до шумів. Розглядаються також варіанти з вбудованою самодіагностикою та захистом від перенапруг.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У підсумку, правильний вибір сенсорів та перетворювачів фізичних величин забезпечує точний моніторинг стану енергосистеми, формує достовірну телеметрію для ПЛК, сприяє своєчасному прийняттю рішень щодо перемикання джерел живлення, та знижує ризики збоїв і втрат. Це критично важливо для стабільного функціонування АСБЕ на підприємствах різного масштабу.

2.4 Вибір виконавчих механізмів та засобів автоматизації системи енергопостачання

У процесі проектування автоматизованої системи безперебійного енергопостачання важливо правильно обрати виконавчі механізми та засоби автоматизації, оскільки саме вони забезпечують реалізацію рішень, прийнятих системою керування. Ефективність, надійність та швидкодія всієї системи значною мірою залежать від коректної роботи виконавчих пристроїв.

Одним з ключових виконавчих елементів є електромагнітні контактори, які забезпечують автоматичне перемикання між основним та резервним джерелом живлення (рисунок 2.8). Вони повинні витримувати високі струмові навантаження, мати швидкий час спрацювання (до 50 мс) і забезпечувати високу зносостійкість. Перевага надається сучасним модульним пристроям із вбудованими інтерфейсами керування та зворотним зв'язком.

Контактори серії TeSys D є одним із найефективніших досягнень компанії Schneider Electric за останні роки. Основними перевагами контакторів TeSys на світовому ринку промислової електроніки є наявність котушок управління з широким діапазоном напруги ланцюга управління (від 0,7 до 1,25Ус), всі комплектуючі відповідають стандартним системам автоматизації, існує можливість підключення до резервних джерел живлення (батареї і т.д.), наявність вбудованого діода Transil, що забезпечує захист від

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перенапруги. А також безпечний поділ силових ланцюгів і ланцюгів управління, також низький рівень шуму при комутації, підвищена стійкість до ударів і вібрацій, відсутність інтерфейсів і як наслідок спрощення монтажу (завдяки зменшенню падіння напруги живильної лінії можливе використання довгого кабелю). Запатентована технологія вбудованих рефренних додаткових контактів 1НО+1НЗ, маркування силових ланцюгів управління, нова технологія силових затискачів EverLink дозволяє підтримувати постійний тиск на кабель, забезпечуючи міцне, надійне та довговічне з'єднання протягом усього терміну експлуатації, а також можливість експлуатація в діапазоні від -50 до 60 С⁰.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд електромагнітного контактора Schneider Electric 3P 12A

До основних переваг електромагнітного контактора Schneider Electric 3P 12A відносять:

- номінальний струм від 9 до 150A (AC3),
- номінальна напруга - 690В;
- температура навколишнього середовища під час роботи від -50 С° до +60 С°;
- вбудовані додаткові контакти миттєвого типу 1НЗ + 1НЗ;
- кількість полюсів - 3 чи 4;
- широкий діапазон керуючої напруги;

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- безгвинтове кріплення на 35-мм рейку або кріплення на гвинтах;
- запатентована концепція клемних затискачів EverLink (від 40 до 65А);
- система S-подібних шин (дозволяє швидко з'єднувати апарати, встановлені в ряд на одній монтажній рейці (від 40 до 65 А);
- категорії застосування AC3, AC1, AC4, DC;
- типи приєднання: гвинтові, пружинні, втичні, з кабельними наконечниками.

Також використовуються автоматичні вимикачі з моторними приводами, які дозволяють дистанційне роз'єднання і підключення ліній, а також захист від коротких замикань і перевантажень (рисунок 2.9). Важливим фактором є наявність модулів комунікації (наприклад, Modbus, Profibus), що дозволяє інтегрувати їх до SCADA-системи [15, 16].



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд автоматичного вимикача з моторним приводом MD-M2 A1 S CHINT

Моторний привід автоматичного вимикача Chint серії NXM габариту 160 і рівнем здатності S: 35кА. Призначений для дистанційного увімкнення та вимкнення автоматичного вимикача. Встановлюється замість лицьової панелі та впливає безпосередньо на важіль управління автоматом. Представляє собою мотор-редуктор з вбудованими кінцевими вимикачами. Оснащений знімною рукояткою ручного керування та кнопкою тестування. Дистанційне керування приводом здійснюється шляхом короткочасного

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

замикання контактів клем, що відповідають положенню "включено" або "відключено".

У вузлах стабілізації застосовуються тиристорні ключі та силові IGBT-модулі, які забезпечують плавне регулювання напруги та частоти, особливо в поєднанні з інверторами і регуляторами напруги. Ці елементи повинні мати високий ККД, малий тепловий опір і здатність до роботи в режимі реального часу під навантаженням.

Для запуску резервних джерел енергії, таких як дизель-генераторні установки, використовуються автоматичні стартери, електроприводи дроселів, клапанів, системи підігріву палива. Ці виконавчі пристрої повинні мати захист від впливу агресивних середовищ, вібрації та мати широкий температурний діапазон роботи.

В системі управління основну роль відіграє програмовано-логічний контролер, який координує роботу всіх виконавчих механізмів, приймаючи рішення на основі сигналів з сенсорів і алгоритмів діагностики. Вибір ПЛК здійснюється з урахуванням кількості входів/виходів, швидкості обробки, підтримки промислових протоколів зв'язку та наявності резервування.

Засоби сигналізації та оповіщення, такі як релейні модулі, строб-лампи, звукові сирени, також є частиною виконавчої ланки. Вони дозволяють оперативно інформувати персонал про стан системи. Особливу увагу приділено інтерфейсним модулям зв'язку та промисловим шлюзам, які забезпечують інтеграцію усіх виконавчих компонентів в єдину систему. Вони мають підтримку стандартних протоколів і високу стійкість до електромагнітних завад.

Отже, при виборі виконавчих механізмів враховується їх надійність, відповідність вимогам швидкодії, сумісність з керуючими пристроями, можливість масштабування та резервування. Завдяки оптимально підібраним виконавчим засобам АСБЕ здатна забезпечити безперервне живлення критичних навантажень навіть у складних експлуатаційних умовах, що є вкрай важливим для стабільної роботи промислового підприємства.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Розробка алгоритму автоматизованого проектування системи безперебійного енергопостачання

Під час проектування систем безперебійного електропостачання виникає проблема вибору потужності резервної ДГУ, що працює спільно з ДБЖ. Відповідно до вимог стандарту, до характеристик електричної мережі гранично допустиме відхилення напруги має перевищувати 10 %, коефіцієнт гармонік сигналу – 8 %. На якість електричної енергії несприятливо впливають такі фактори як комутації в навантаженні, пусковий режим ДГУ та потужних ДБЖ, що мають нелінійний характер навантаження (вбудовані імпульсні джерела живлення, механічне навантаження з регуляторами швидкості обертання приводів та інше). Комутації навантаження призводять до значних змін вихідної напруги та частоти ДГУ. При виході параметрів напруги та частоти ДГУ за допустимі межі ДБЖ відбувається перемикавання навантажень на живлення від акумуляторної батареї. Ситуація розглядається як зникнення напруги та ДГУ виявляється у режимі “холостого ходу”. При цьому СБЕ переходить в режим «автоколивань». Для боротьби з цим явищем необхідно забезпечувати узгодження спільної роботи ДГУ та ДБЖ вже на етапах проектування.

Імітаційне моделювання електромагнітних процесів у СБЕ на етапах проектування дозволить підібрати потужність ДГУ, оцінити ступінь створюваних спотворень вхідного струму, що знизить ймовірність виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації, забезпечить стійку спільну роботу ДБЖ та ДГУ, а створення САПР – зменшити тимчасові витрати на проектування.

Схема алгоритму проектування СБЕ представлено на рисунку 3.1. Вхідними даними є параметри навантаження (потужності і типи навантажень), вимоги до електричних параметрів мережі. Попередній

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

розрахунок та вибір типового обладнання проводиться стандартними методами і включає розрахунок кількості паралельних ДГУ (та ДБЖ) із зазначенням потужностей та значень коефіцієнта потужності ($\cos\phi$) [17].

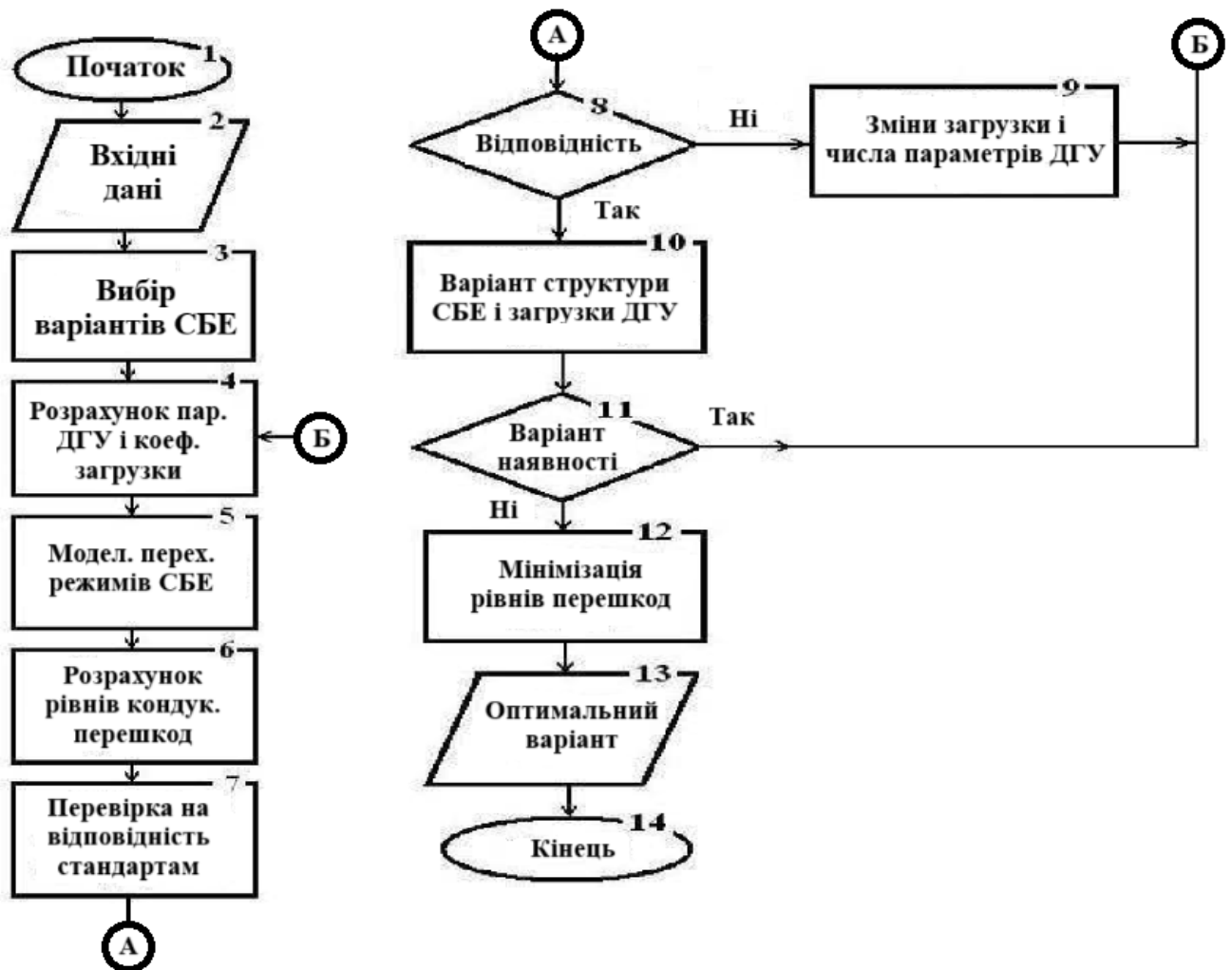


Рисунок 3.1 – Алгоритм автоматизованого проектування СБЕ

З метою проведення аналізу роботи системи безперебійного електропостачання перехідних та нестационарних режимів, створена інтерактивна модель у середовищі Simulink (рисунок 3.2). Параметри ДГУ задаються у блоці завдання параметрів синхронної машини (Simplified Synchronous Machine SI Units), які включають: номінальну потужність P_n , ВА, діючу лінійну напругу U_n , В і номінальну частоту f_n , Гц. Модель ДБЖ включає послідовне з'єднання трифазного комутатора змінного струму (3-Phase Breaker) та комплексного навантаження (3-Phase Parallel RLC Branch). Конфігурація ДБЖ (12 - імпульсний керований випрямляч з імпульсним

регулюванням) визначає характер навантаження і задаючи параметри названих блоків. Результати розрахунку перехідних характеристик в аварійному режимі роботи СБЕ під час запуску та зупинки ДГУ можна простежити для кожного із відібраних варіантів. Після завершення процесу розрахунку досліджуваної моделі сигнал споживаного струму (Out 1) та напруги (Out 3) вводиться в робочу область MATLAB, де з допомогою швидкого перетворення Фур'є проводиться спектральний аналіз споживаного струму та оцінка рівнів кондуктивних перешкод. Якщо вимоги до граничних значень рівнів перешкод не задоволені, виконується коригування кількості та ступеня завантаження паралельних ДГУ і повторюється процес моделювання (рисунк 3.1). Зі всіх відібраних задовільних варіантів вибирається оптимальне рішення з мінімальним рівнем перешкод [18].

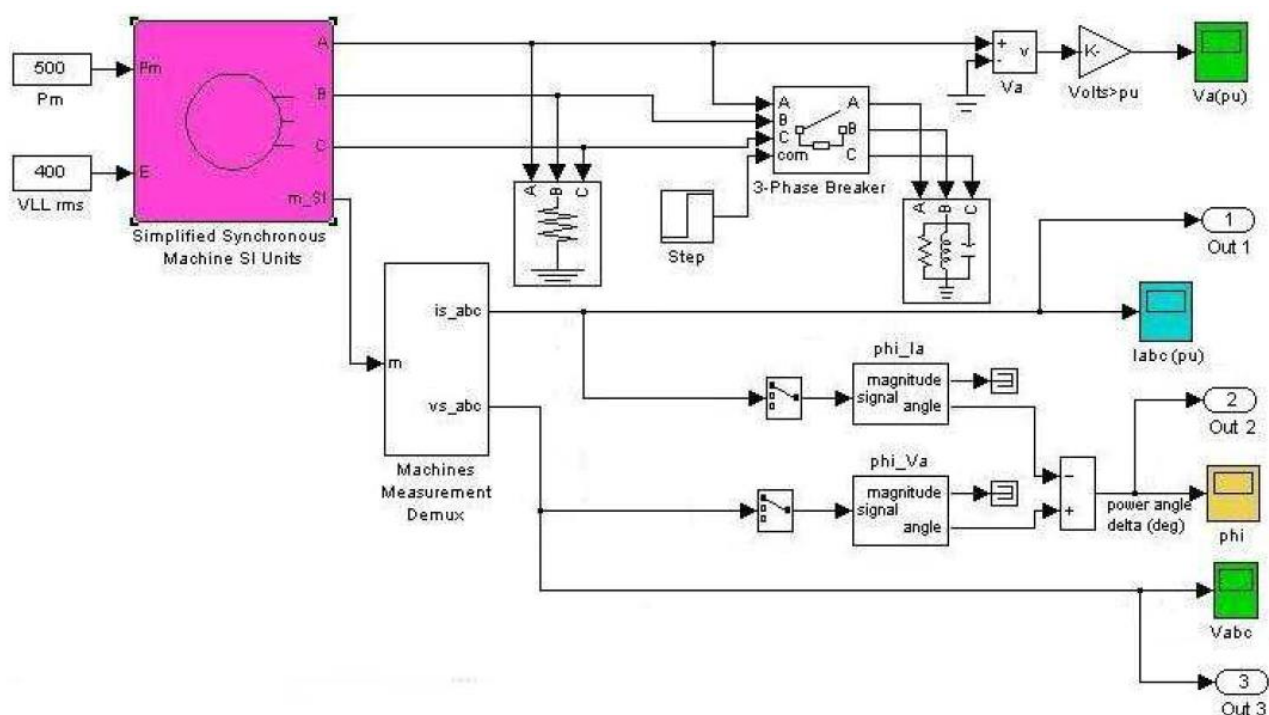


Рисунок 3.2 - Модель системи безперебійного електропостачання в аварійному режимі роботи

З метою перевірки розробленої САПР проведено розрахунок СБЕ (потужністю 8кВА) для живлення радіорелейних ліній зв'язку. Розрахунок перехідних характеристик аварійного режиму роботи варіантів СБЕ проведено при варіюванні співвідношення потужностей ДГУ (СДГУ) та ДБЖ

(СДБП), а також характеру навантаження на моделі рисунка 3.1. На рисунку 3.3 наведено результати досліджень перехідного процесу - тимчасові залежності струмів (у Амперах) у фазах А, В, С при співвідношенні $S_{ДГУ} = 1,8S_{ДБП}$, де видно “огиначаючу” струмів і час встановлення перехідного процесу (сек), а також не симетрія струмів фаз при комутації навантаження.

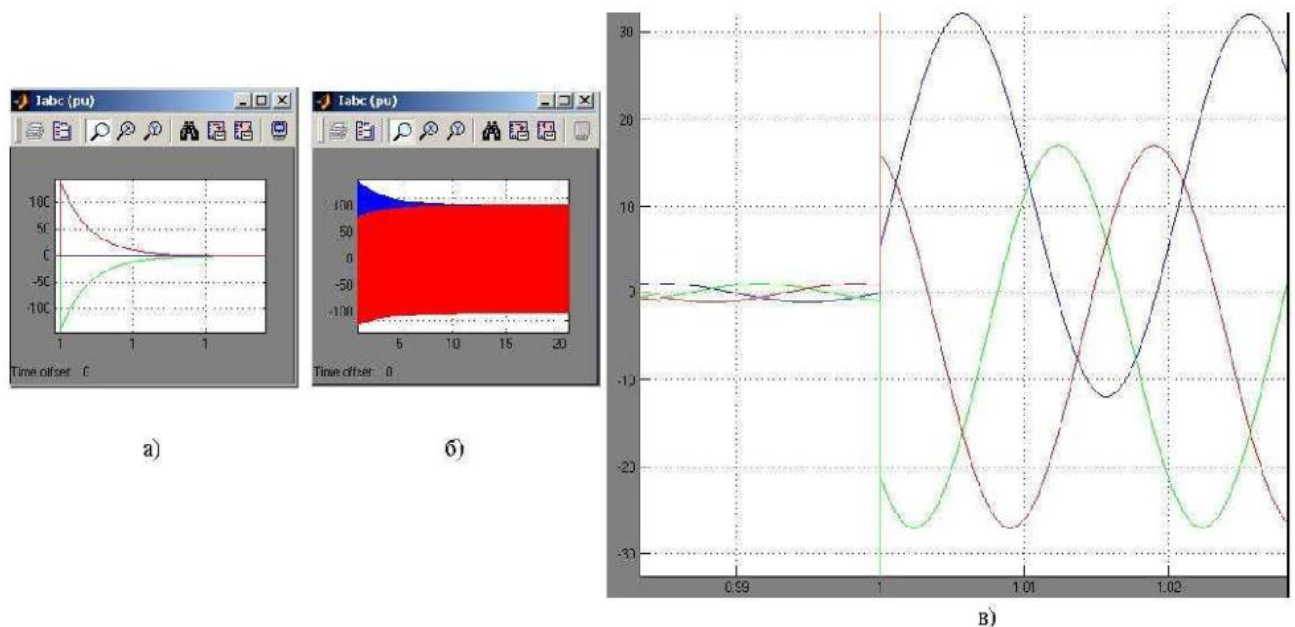


Рисунок 3.3 - Тимчасові залежності струмів у фазах А, В, С: "огинача" (а); час встановлення (б); миттєві значення (в)

Дослідження перехідних режимів СБЕ при пуску ДГУ показали, що на рівень кондуктивних перешкод та час встановлення перехідних процесів впливає характер навантаження (конфігурація ДБЖ), співвідношення потужностей та число паралельних ДГУ. Найкращі результати були отримані при коефіцієнті потужності навантаження $\cos\varphi=0,88$. На підставі оцінки стійкості СБЕ у перехідних режимах проведено оптимізацію та обрано структуру СБЕ. У таблицях 3.1, 3.2 представлені показники якості електричної енергії найкращих варіантів, де δU_1 – відхилення встановленої вхідної напруги, K_{U1} - коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги, K_{0U1} – коефіцієнт не симетричної напруги, $K_{перU1}$ – коефіцієнт тимчасового перенапруги, ν – коефіцієнт не лінійності вхідного струму та $I_{имп}$ – величина імпульсу струму при тривалості імпульсу 1с.

Таблиця 3.1 - Результати оцінки якості електричної енергії при зміні співвідношення потужностей $S_{ДГУ}/S_{ДБЖ}$

Відношення потужностей $S_{ДГУ}/S_{ДБЖ}$	Параметри					
	$\delta U_1, \%$	$K_{U1}, \%$	$K_{OU1}, \%$	$K_{ПЕРU1},$ від один.	$v, \%$	$I_{ИМП}, \%$ при інтерв. 1с
Нормовані відхилення	± 10	12	4	1,47	8,0	20
1,8	$\pm 9,2$	11	3,1	1,4	6,5	18,0
1,7	$\pm 9,6$	11,6	3,8	1,46	6,9	18,3
1,5	$\pm 9,8$	11,9	4,0	1,45	7,2	19,9

Таблиця 3.2 - Результати оцінки якості електричної енергії за зміни потужності ДБЖ

Вхідні параметри					
Активна потужність $P_{ДБЖ}, \text{кВт}$	Реактивна потужність		Коеф. потужності $\cos\phi$	“Накид” навантаження, ΔI , при відн. одиниці	Час встановлення $t_{вст}, \text{с}$
	індуктивного характеру $Q_{ДБЖ}, \text{кВАр}$	ємнісного характеру $Q_{ДБЖ}, \text{кВАр}$			
2	7,75	0	0,54	1,875	2,9
5,67	5,67	0	0,67	1,73	1,8
3,58	7,16	0	0,88	1,51	0,9
7,75	0	2	0,97	1,1	0,02
3,5	4,2	3	0,9	1,17	0,7

За результатами комп'ютерних розрахунків, відповідність з алгоритмом рисунка 3.1, отримана оптимальна структура СБЕ (рисунок 3.4), до складу якої входять: дві паралельні ДГУ типу SH-X потужністю по 4,8 кВт кожна, акумуляторні батареї технології AGM ємністю 3000А/г; випрямні пристрої серії NTX (три стійки по 10 модулів у кожній), інвертор напруги – одна основна стійка та одна резервна типу DSI-48-3000. На рисунку 3.4 позначено: АВР – автоматичне введення резерву, ШВР – шафа ввідно-розподільна.

Розроблений алгоритм автоматизованого проектування та його програмна реалізація в середовищі MATLAB відповідає сучасним вимогам до якості виконання проектів систем безперебійного електропостачання та скорочує терміни проектування. Варіювання кількістю паралельних дизель-генераторних електростанцій та ступенем їх завантаження на інтервалі запуску, а також конфігураціями джерел безперебійного живлення, що

визначають характер навантаження дозволяє мінімізувати рівні кондуктивних перешкод із боку системи безперебійного електропостачання, а облік тривалості цих перешкод та інтервалів перебігу перехідного процесу виключить можливість виникнення аварійних ситуацій [19].

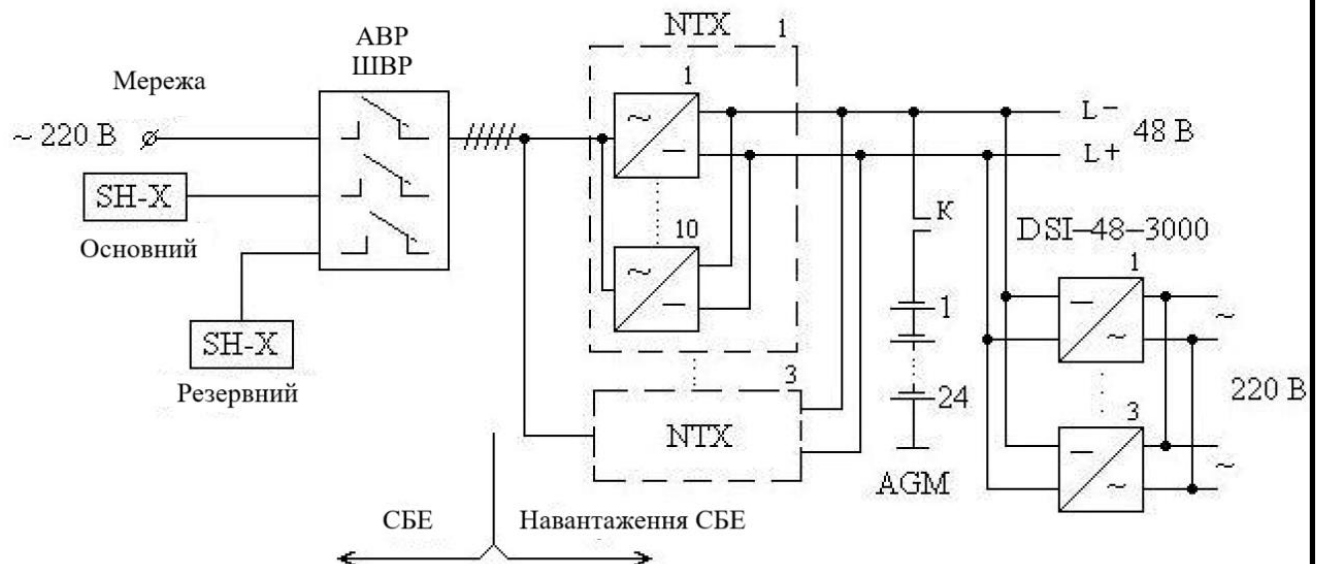


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд оптимальної структури СБЕ

Запропонована у третьому розділі САПР відповідає сучасній тенденції розвитку програмних засобів з автоматизації проектування складних систем та спрямована на підвищення завадостійкості систем безперебійного електропостачання.

3.2 Розробка методу параметричного синтезу цифрових регуляторів на основі амплітудно-фазової характеристики для систем енергопостачання

Зростання вимог до якості роботи автоматичних систем регулювання (АСР), збільшення обсягу інформації, що переробляється, ускладнення об'єктів управління призвели до того, що засобами аналогової техніки та безперервної автоматики не можна вирішити багато практичних завдань. В результаті в сучасних автоматичних системах управління (АСУ) стали широко використовувати цифрові системи, до складу яких входять цифрові обчислювальні пристрої (ЦОП) або спеціалізовані цифрові пристрої. Швидке

впровадження у техніку цифрових систем пояснюється лише тим, що в порівнянні з аналоговими вони мають значно більші обчислювальні можливості. У цифрових системах, виконаних з урахуванням мікроелектроніки, при невеликих масах і габаритах можна використовувати складніші алгоритми обробки сигналів. При цьому точність реалізації алгоритмів може бути дуже високою. Важливою перевагою цифрових систем є висока стабільність їхньої роботи. Крім того, в цифрових системах просто здійснюється перебудова її структури та регулювання параметрів [20, 21].

Одне з основних завдань параметричного синтезу цифрових АСУ – визначення оптимальних параметрів цифрового регулятора. Існує багато способів розрахунку параметрів настроювання цифрового регулятора. У даному розділі кваліфікаційної роботи розглядається метод розрахунку параметрів цифрового регулятора із заданим ступенем коливання на основі Д-розбиття.

В подальшому вирішуються наступні завдання:

- виведення формул для побудови лінії Д-розбиття на основі розширеної амплітудно-фазової характеристики (АФХ) розімкнутої цифрової системи;
- побудова лінії Д-розбиття на основі розширеної АФХ розімкнутої цифрової системи для об'єктів управління 1-го та 2-го порядку;
- пошук оптимальних налаштованих параметрів цифрового регулятора на лінії Д-розбиття для об'єктів управління 1-го та 2-го порядку;
- порівняння перехідних процесів, отриманих в одноконтурній аналоговій та цифровій АСУ при використанні розширених АФХ.

Обґрунтування формул для побудови лінії Д-розбиття на основі розширеної АФХ розімкнутої цифрової системи представлена далі у підрозділі. Для прикладу, представлену одноконтурну цифрову АСУ, що складається з об'єкту управління з передавальною функцією $W_o(z)$ та ПІ-регулятора з передавальною функцією $R(z, q_0, q_1)$.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконавши z-перетворення передавальної функції об'єкта управління та отримано передавальну функцію розімкнутої системи, що має наступний вигляд:

$$W_{p.c.}(z) = W_o(z)R(z, q_0, q_1) \quad (1)$$

Наступним кроком буде виконання білінійного перетворення, результатом якого буду:

$$z = \frac{1+w}{1-w}, \quad (2)$$

$$w = j\nu, \quad (3)$$

де ν - псевдочастота,

$$\nu = \operatorname{tg} \frac{\omega T}{2}, \quad (4)$$

де ω – кругова частота, T – крок квантування за часом.

АФХ розімкнутої цифрової системи має наступний вигляд:

$$W_{\text{дн}}(z) = \operatorname{Re}(\nu) + j \operatorname{Im}(\nu) \quad (5)$$

Для забезпечення заданого ступеня коливання має виконуватися умова:

$$\begin{cases} \operatorname{Re}(q_0, q_1, m, \nu) = -1 \\ \operatorname{Im}(q_0, q_1, m, \nu) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

при

$$w = -m\nu + j\nu, \quad (7)$$

де m – необхідний ступінь коливання.

У площині коренів q_0, q_1 системи рівнянь (6) за зміни псевдочастоти ν будується лінія Д-розбиття [22].

Параметричний синтез цифрової одноконтурної АСУ з об'єктом керування першого порядку виконується наступним чином. Взявши одноконтурну АСУ з передавальною функцією об'єкта управління

$$W_o(s) = 10 \frac{1}{1+100s} e^{-5s}.$$

Розрахунок оптимальних параметрів налаштування аналогового ПІ-регулятора для заданої величини степеня коливання $m=0,221$:

$$R(s) = \frac{0,13419 + 1,62167s}{s}$$

На рисунку 3.5 зображено перехідний процес АСР, що розглядається.

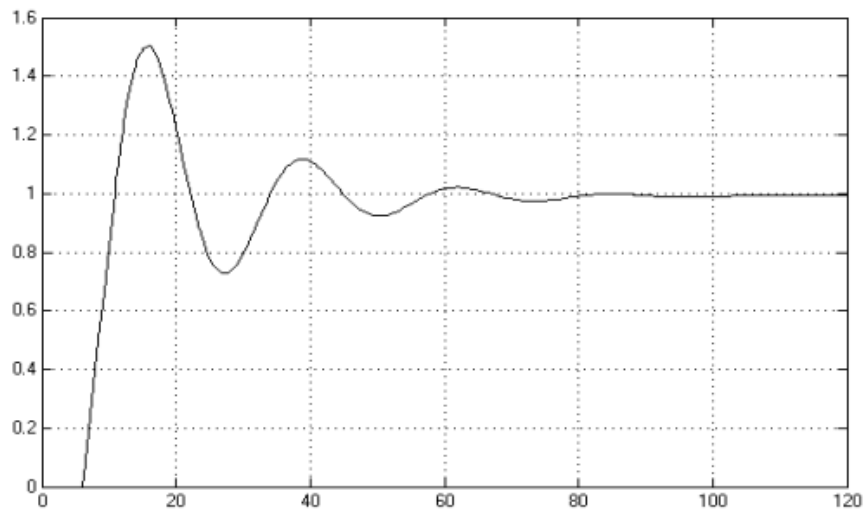


Рисунок 3.5 - Перехідний процес аналогової одноконтурної АСР

Наступним кроком буде побудова лінії Д-розбиття (рисунок 3.6) в площині параметрів налаштування цифрового ПІ-регулятора в діапазоні частот $0 < \omega < 0,4$ [23].

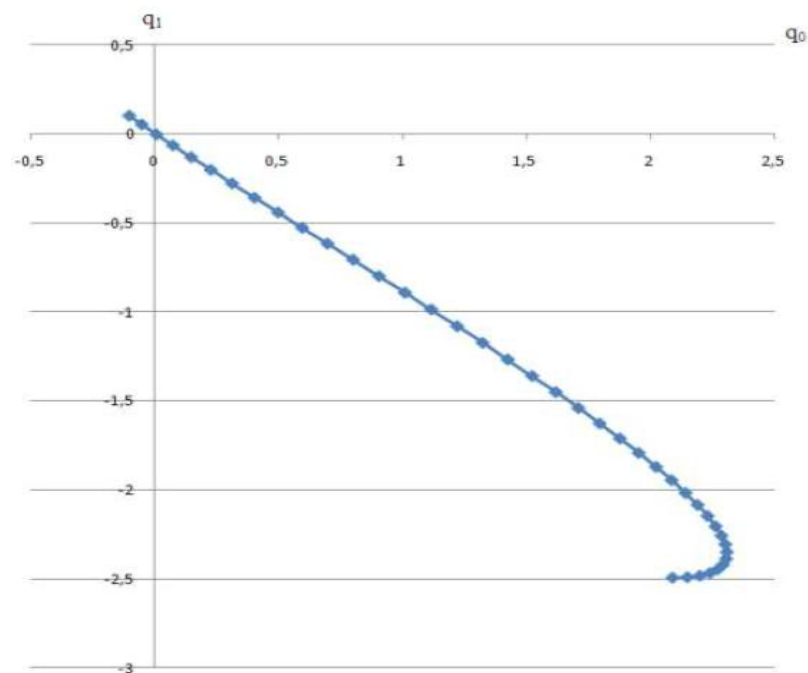


Рисунок 3.6 - Лінія Д-розбиття для цифрового ПІ-регулятора

На лінії Д-розбиття знайдено оптимальні параметри налаштування цифрового ПІ-регулятора за допомогою одновимірного пошуку мінімуму квадратичної інтегральної оцінки. В результаті отримані наступні параметри налаштування $q_0 = 2,28772$, $q_1 = -2,2601$.

Графік перехідного процесу для цифрової одноконтурної АСР наведено на рисунку 3.7.

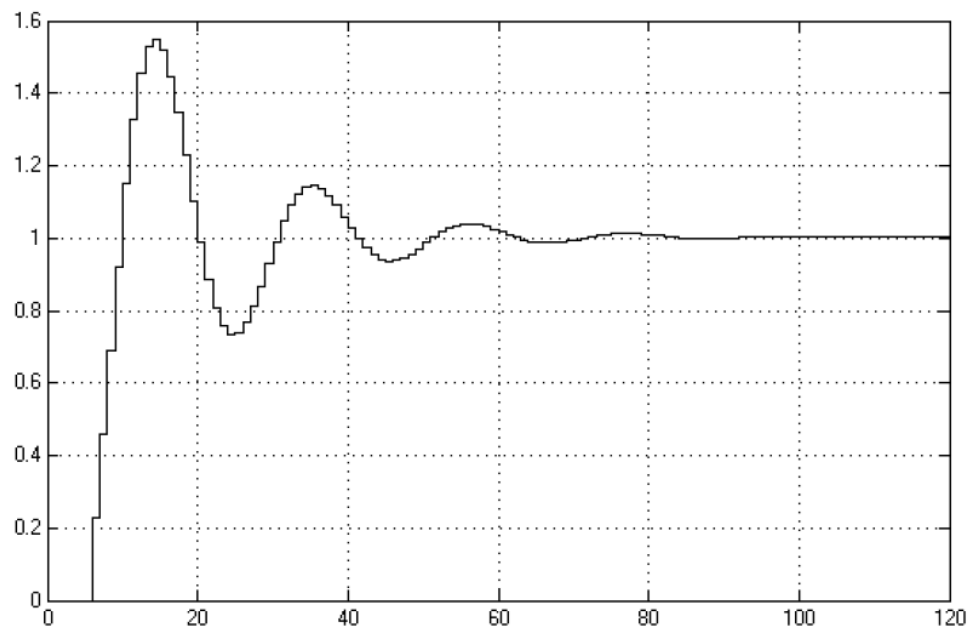


Рисунок 3.7 – Перехідний процес цифрової одноконтурної АСР

З рисунків 3.5 – 3.7 видно, що цифровий ПІ-регулятор, отриманий за допомогою лінії Д-розбиття, забезпечує задану міру коливання перехідного процесу. Перехідні процеси для аналогової та цифрової АСУ близькі за максимальною амплітудою та часом згасання.

Параметричний синтез цифрової одноконтурної АСУ з об'єктом управління другого порядку виконується в наступні послідовності. Перш за все потрібно взяти одноконтурну АСУ з функцією об'єкта управління

$$W_o(s) = 1000 \frac{1}{1 + 50s + 500s^2} e^{-s}$$

Розрахунок оптимальних параметрів налаштування аналогового ПІ-регулятора для заданої величини степеня коливання $m=0,221$:

$$R(s) = \frac{0,13419 + 1,62167s}{s}$$

На рисунку 3.8 зображено перехідний процес АСР, що розглядається.

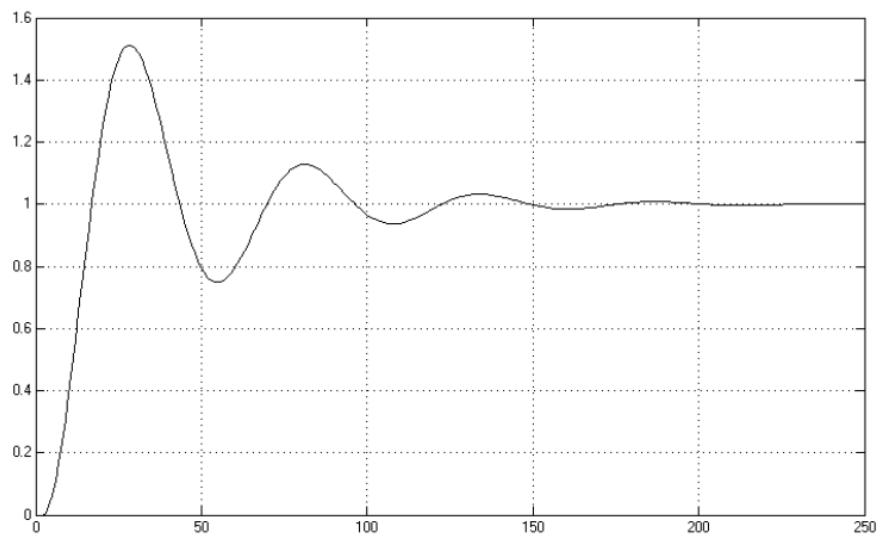
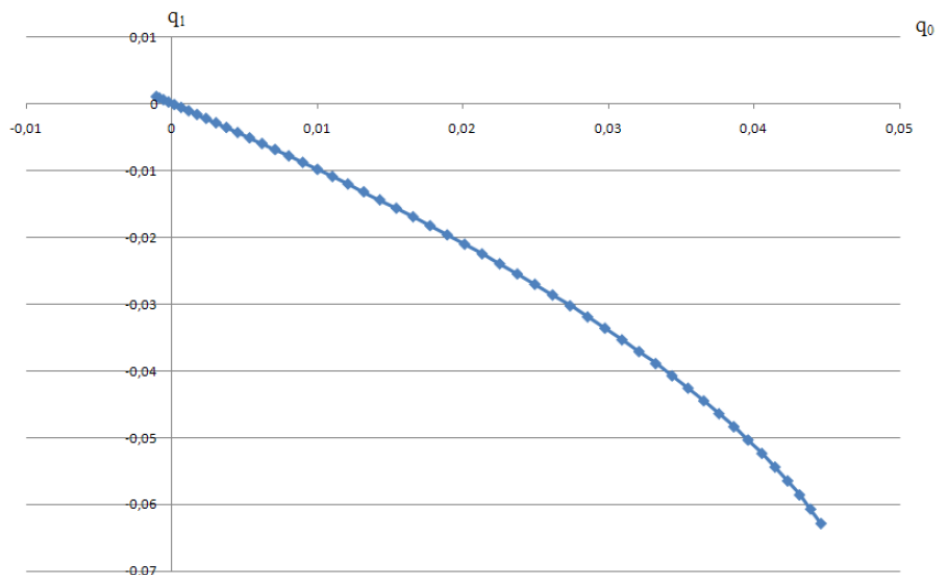


Рисунок 3.8 - Перехідний процес аналогової одноконтурної АСР

Побудувавши лінію Д-розбиття (рисунок 3.9) в площині параметрів налаштування цифрового ПІ-регулятора в діапазоні частот $0 < \omega < 0,4$.



Лінія Д-розбиття для цифрового ПІ-регулятора

На лінії Д-розбиття знайдено оптимальні параметри цифрового ПІ-регулятора за допомогою одномірного пошуку мінімуму квадратичної

помилки. В результаті отримані наступні параметри налаштування $q_0=0,00902$, $q_1= -0,0088$ [24].

Графік перехідного процесу для цифрової одноконтурної АСР представлено на рисунку 3.10.

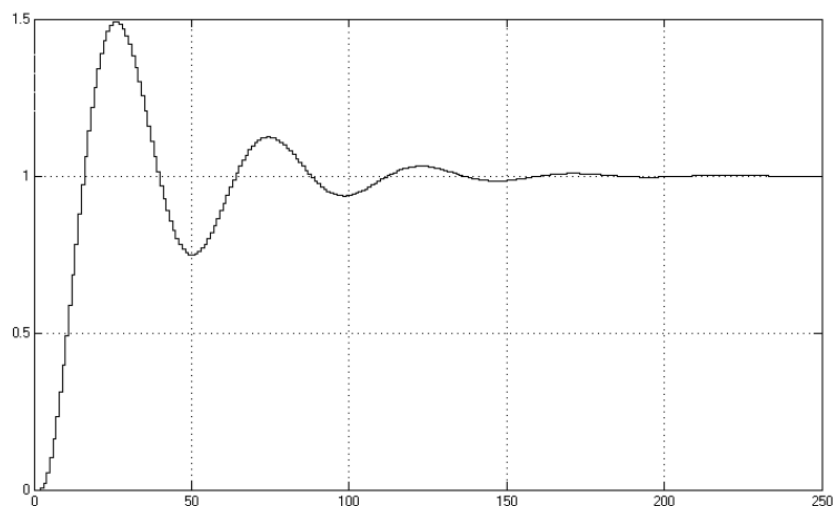


Рисунок 3.10 - Перехідний процес цифрової одноконтурної АСР

У порівнянні рисунків 3.8 і 3.10 видно, що цифровий ПІ-регулятор забезпечує перехідний процес, близький за якістю до аналогового перехідного процесу АСУ.

По ходу роботи отримані формули для розрахунку оптимальних параметрів налаштування цифрових регуляторів за допомогою лінії Д-розбиття на основі розширеної АФХ розімкнутої системи.

Наведено приклади параметричного синтезу цифрових ПІ-регуляторів для цифрових АСУ, що містять об'єкти управління першого та другого порядків.

При порівнянні перехідних процесів цифрових АСУ з перехідними процесами відповідних аналогових АСУ виявлено, що цифрові регулятори, розраховані за допомогою ліній Д-розбиття, що забезпечують якість перехідних процесів, близьке до якості перехідних процесів відповідних аналогових АСУ.

ВИСНОВКИ

У представлений кваліфікаційній роботі розроблена автоматизована система безперебійного енергопостачання. До основних етапів автоматизації відносять процеси виконання поставлених задач, функціонування автоматизованих програмно-технічних алгоритмів і засобів з допомогою програмовано-логічних контролерів промислового взірця. Застосування технічних засобів автоматизації дозволяють контролювати та діагностувати якість електричної енергії та прогнозувати аварійні ситуації по основних параметрах (струм, напруга, частота), це дає можливість безперебійного та гарантованого енергозабезпечення промислового об'єкта.

Представлений у першому розділі аналіз автоматизованих систем енергопостачання, огляд складових енергетичних систем промислових об'єктів, дозволяє показати функціональні можливості системи автоматичного керування та забезпечення безперебійного енергозабезпечення. Представлення характеристик огляду контура регулювання та особливостей складових систем автоматизації об'єкта управління показують, що АСУ є об'єктом управління, це дає можливість встановити переваги і недоліки актуальних інформаційних алгоритмів та технічних засобів, які використовуються при розробці складних автоматизованих систем. Актуалізовано контрольовані параметри системи, процесу та налаштування цифрових регуляторів.

Для забезпечення надійного та безперебійного функціонування автоматизованої системи відповідно до поставлених задач, обґрунтовано вибір програмно-технічних засобів автоматизації, що відповідають основним високим стандартам і вимогам, до ефективної і якісної роботи запропонованої АСУ. В процесі вибору обґрунтовано використання технічних засобів, спеціально для запропонованого об'єкта керування, з урахуванням контрольованих параметрів (струм, напруга, частота), та засобів контролю (сенсорів та виконавчих механізмів). Аргументований

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмований логічний контролер відомих світових брендів, мережеві контролери і контрольно-вимірювальне обладнання, виконавчі механізми.

Реалізовано структуру автоматизованої системи безперебійного енергопостачання та функціональне представлення основних вузлів управління, а саме АСУ регулювання, діагностування технологічних параметрів системи. Робота запропонованої АСУ ґрунтується на тому, щоб контролювати основні параметри системи і вразі виникнення аварійної ситуації, або збоїв (критичні відхилення по основних контрольованих параметрах) виконати перемикання споживачів на інші джерела енергопостачання, тим саме гарантувати безперебійне енергозабезпечення виконання технологічного процесу на промисловому об'єкті.

Розроблено алгоритм автоматизованого проектування системи безперебійного енергопостачання змінного струму для промислового об'єкта, що враховує узгодження спільної роботи резервної електростанції та джерела безперебійного живлення. Розроблено імітаційні моделі системи для перехідних режимів при комутаціях на вході та з боку навантаження, що дозволяють проводити оцінку рівнів кондуктивних перешкод. Наведено результати практичної реалізації САПР системи електропостачання для радіорелейних ліній.

А також у третьому розділі кваліфікаційної роботи представлено аналітику методу параметричного синтезу цифрових регуляторів із заданим ступенем коливання за допомогою лінії Д-розбиття на основі розширеної АФХ розімкнутої цифрової системи. Наводиться приклад розрахунку оптимальних параметрів ПІ-регуляторів одноконтурних цифрових автоматичних систем управління з об'єктами управління першого та другого порядків. Порівнюються перехідні процеси отриманих систем з перехідними процесами відповідних аналогових автоматичних систем управління.

У процесі розрахунку параметрів ПІ-регулятора запропонованим методом досліджено стійкість запропонованої системи та якості регулювання на різних етапах побудови кривої перехідних процесів. Проведено вибір та

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

обґрунтування параметрів перехідного процесу, розрахована передавальна функція досліджуваної системи при різних контрольних параметрах.

У роботі також наведено приклади параметричного синтезу цифрових ПІ-регуляторів для цифрових АСУ, що містять об'єкти управління першого та другого порядків. При порівнянні перехідних процесів цифрових АСУ з перехідними процесами відповідних аналогових АСУ виявлено, що цифрові регулятори, розраховані за допомогою ліній Д-розбиття, що забезпечують якість перехідних процесів, близьке до якості перехідних процесів відповідних аналогових АСУ.

Запропонована у кваліфікаційні роботі АСУ забезпечує надійну, безперебійну і якісну роботу в періоди нестабільного централізованого енергозабезпечення, а також дає можливість мінімізувати людський фактор при прийнятті рішень, це значною мірою підвищує ефективність та надійність роботи системи.

					ДП.АКІТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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. Одиновол; 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.

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

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.

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

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 гідроаккумуляційними 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>

					ДП.АКТ.9702570.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66