

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СКЛАДАЛЬНОГО
ЦЕХУ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ДОДАТКОВИХ ДЖЕРЕЛ
ЖИВЛЕННЯ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕС-24 мг
Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Микола ГУНДАРЄВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/Андрій МЕЗЕРЯ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

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

Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

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

здобувачі вищої освіти Миколі ГУНДАРЄВУ

1. Тема «Підвищення надійності електропостачання складального цеху шляхом впровадження додаткових джерел живлення»

затверджена наказом по академії № 4801-5/3665 від «06» жовтня 2025 р.

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

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Теоретичні та практичні розробки вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, періодичні видання

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):

ВСТУП; РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ РОЗВИТКУ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ. ОГЛЯД НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ; РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗБОРОЧНОГО ЦЕХУ З ДОДАТКОВИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ; РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ПАРАЛЕЛЬНИМ ПІДКЛЮЧЕННЯМ ДО МЕРЕЖІ; ВИСНОВКИ; ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

1. Ситуаційний план об'єкту,
2. Однолінійна схема електропостачання,
3. Структурна схема системи комплексного енергопостачання об'єкту,

4. Принципова однолінійна схема системи комплексного електропостачання,
 5-7. Графічний матеріал до лабораторно-дослідницької та/або проєктної частини,
 6. Консультант:

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

7. Дата видачі завдання «10» жовтня 2025р.

Керівник

Артем ЧЕРНЮК

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

_____ Микола ГУНДАРЄВ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження Проведення аналізу наукової літератури	02.10.25 — 05.10.25	
2	Виконання першого розділу дипломної роботи	06.10.25 — 15.10.25	
3	Виконання другого розділу дипломної роботи	16.10.25 — 29.10.25	
4	Виконання третього розділу дипломної роботи	30.10.25 — 26.11.25	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.25 — 07.12.25	

Студент (ка)

(підпис)

Микола ГУНДАРЄВ

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – 78 ; рисунків – 10; таблиць – 14;
літературних джерел – 20.

В роботі проведений аналіз останніх тенденцій розвитку технологій комплексного енергозабезпечення. Визначено актуальні напрямки та технології, які мають перспективи впровадження в Україні.

Розроблено проєкт системи комплексного енергозабезпечення ліцею №10 м. Броварів Київської області.

Складена структурна схема системи комплексного енергозабезпечення, проведено аналіз технологічного процесу об'єкту, розраховані очікувані електричні навантаження, складена схема живлення споживачів, розраховані струмові навантаження, обрано апарати захисту та струмоведучі частини, визначені показники надійності роботи системи розподілення електричної енергії.

Проведено ескізе проєктування сонячної фотоелектричної електростанції

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ,
ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СТРУКТУРНА СХЕМА

ABSTRACT

Text pages – 78; drawings – 10; tables – 14; literary sources - 20.

The work analyzes the latest trends in the development of complex energy supply technologies. Current trends and technologies that have prospects for implementation in Ukraine have been identified.

The project of the complex energy supply system of Lyceum No. 10 in Brovary, Kyiv region was developed.

The structural diagram of the complex energy supply system was drawn up, the technological process of the facility was analyzed, the expected electrical loads were calculated, the power supply scheme of consumers was drawn up, the current loads were calculated, protection devices and current-carrying parts were selected, and the reliability indicators of the electrical energy distribution system were determined.

A design sketch of a solar photovoltaic power plant was carried out

COMPLEX POWER SUPPLY SYSTEM, PHOTOELECTRIC POWER PLANT,
POWER SUPPLY SYSTEM DESIGN, STRUCTURAL DIAGRAM

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ РОЗВИТКУ СИСТЕМ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ ВИСОКОТОЧНОГО СКЛАДАЛЬНО ВИРОБНИЦТВА

- 1.1 Загальна характеристика засобів резервування складального виробництва
- 1.2 Системи джерел живлення для захисту від перерв в електропостачанні

Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ;

- 2.1 Складання структурної схеми комплексного електропостачання об'єкту
- 2.2 Характеристика об'єкту проектування та формування основних параметрів його електрозабезпечення
- 2.3 Характеристика мікроклімату приміщень навчальних корпусів за умовами електрозабезпечення
- 2.4 Проектування електрозабезпечення об'єкту
- 2.5. Проектування сонячної фотоелектричної електростанції

Висновки до розділу 2

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

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Актуальність теми обумовлено тим, складальне виробництво яке розглядається в роботі має високоточний характер та надважливі вимоги до його безперебійності, тому, що воно носить критично важливий характер для забезпечення загальної стійкості регіону.

З огляду на це стає актуальною робота з підвищення рівня енергетичної безпеки цього об'єкту шляхом впровадження системи комплексного енергозабезпечення.

В першій аналітичній частині проєкту проведено аналіз стану розвитку систем резервного живлення високоточного складально виробництва, надано загальну характеристику засобів резервування складального виробництва та проведений огляд системи джерел живлення для захисту від можливих перерв в електропостачанні. Розглянуті можливі перспективні технології які можуть бути використані при вирішенні поставленої задачі.

В другій (проєктній) частині роботи було проведено проєктування системи комплексного електропостачання складального цеху.

Було розроблено структурну схему такої системи, яка має три джерела живлення та засоби акумулювання електричної енергії. Джерелами живлення є електрична мережа, сонячна фотоелектрична електростанція та вітрогенератор.

На підставі розробленої структурної схеми було проведено проєктування системи електропостачання об'єкту. Було розраховано очікувані електричні навантаження, струмові навантаження, обрано апарати захисту та струмоведучі частини, розроблена принципова однолінійна схема.

Було проведено ескізне проєктування фотоелектричної електростанції, розроблена принципова технологічна схема, визначено спосіб встановлення та кількість фотоелектричних модулів, розраховано очікувану річну кількість енергії, яку генерує електростанція.

Відповідно до принципової технологічної схеми електростанції було здійснено підбір елементної бази до якої входить гібридний інвертор,

фотоелектричні модулі та блоки акумуляторів. Визначені технічні характеристики вказаного обладнання та його монтажні та встановлювальні схеми.

Розроблена схема підключення силового інвертора до джерел живлення та споживачів.

Розраховані показники надійності системи розподілення електроенергії мережею системи комплексного електропостачання.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ РОЗВИТКУ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ. ОГЛЯД НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Загальна характеристика засобів резервування складального виробництва

У більшості виробництв електричне навантаження може зрости до 50 МВт, яка змінюється в залежності від часу та сезону. Це видно, що загальна потужність системи зберігання електроенергії вимоги до джерел безперебійного живлення (ДБЖ). висока, і нелегко забезпечити повномасштабні електричні навантаження. Необхідно розробити систему «очікування», яка оптимізує компроміс між потужністю, витратами та здійсненністю. однак, енергетична безпека не може бути поставлена під загрозу, а нові технології нові акумуляторні системи забезпечують безпеку без повного масштабу живлення в режимі очікування [1 - 6].

Безпека електропостачання визначається стандартами. Наприклад, живлення до виробництва подається через трифазну мережу 35 кВт (через системи передачі) або 22 кВ, а потім трансформується на 6 кВт. Ці розподіли високої напруги залежать від виробництва та немає однакових для всіх виробництв.

Приклад концепції системи передачі на цивільне виробництво можна побачити на рис.1.1, де забезпечується перетворення напруги з 6 кВт в трифазний 400 В змінного струму та 50 Гц.

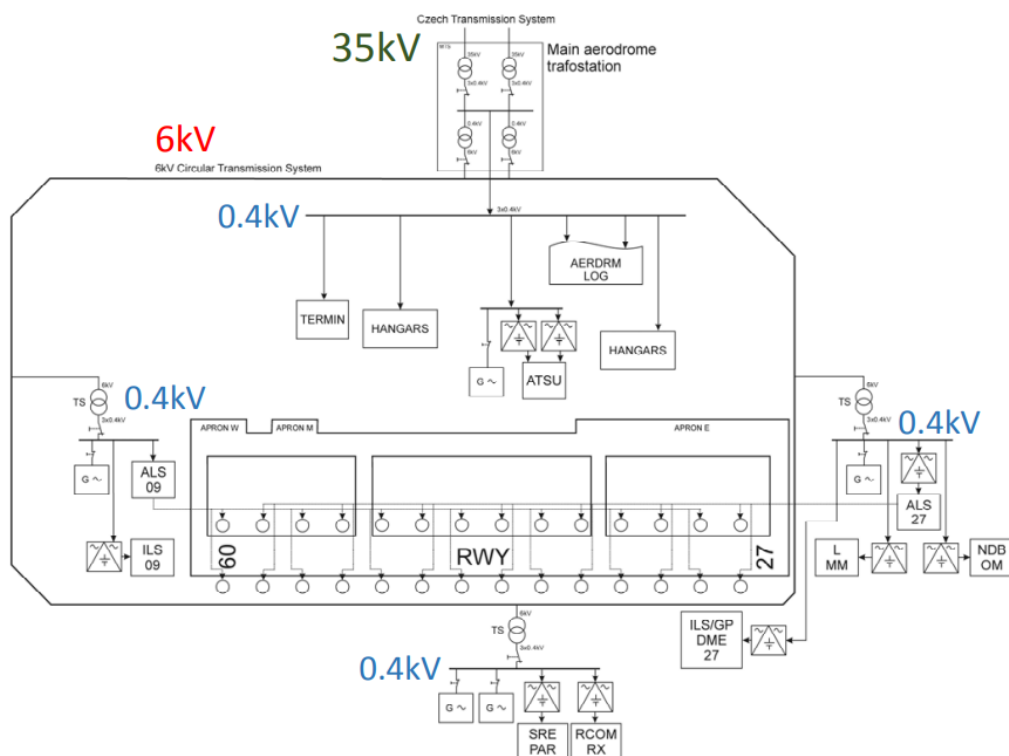


Рис. 1.1 Типова схема живлення виробництва

1.2 Система розподілу енергії в освітлювальних мережах виробництва

Надійне джерело живлення для виробничого розподілу система підтримує всі частини виробництва: від цехів, складських приміщень, логістики до критично чутливих місць, таких як TWR, засоби автоматизації та системи освітлення виробництва. Типова система розподілу енергії середнього регіонального виробництва показана на рис. 1.2.

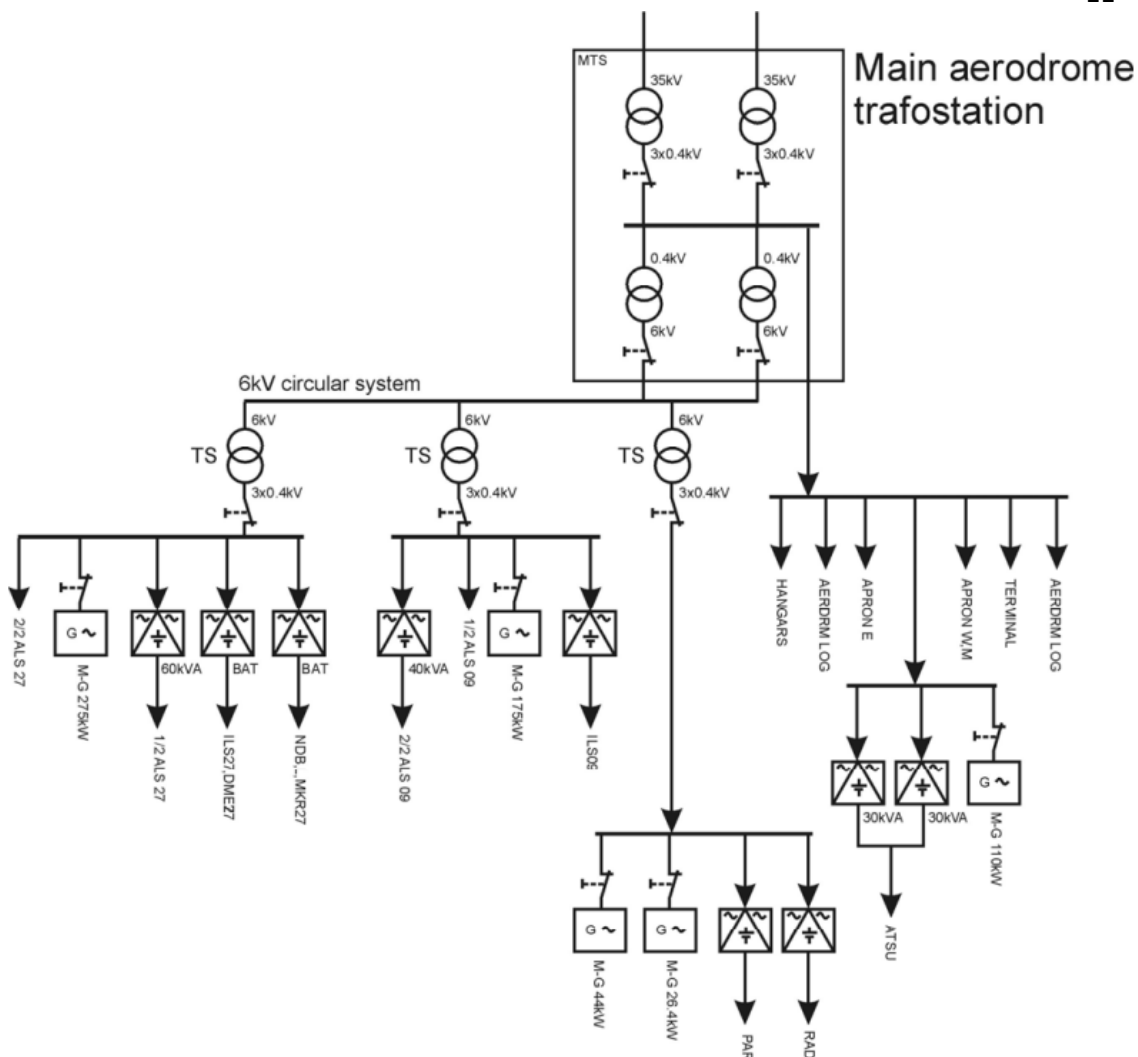


Рис. 1.2 Типова схема розподілу енергії

Головна знижувальна трансформаторна підстанція з'єднана з об'єднаною мережею, керована СЕПС і надається СЕЗ. Основною вимогою є підключення як мінімум до двох розділені напрямки; однак його можна замінити внутрішнім резервним джерелом живлення. Основна вхідна напруга трансформаторної станції 35 кіловольт.

Як правило, типова напруга становить 22 кіловольта на цьому рівні систем передачі. Основна трансформаторна підстанція складається з двох вхідних трансформаторів: (1) нормальний робочий трансформатор і (2) резервний трансформатор, перетворення 35 кіловольт на 0,4 кіловольта за допомогою перемикачів і безпечні компоненти. Рівень потужності становить сотні кіловат або одиниці мегават. На цьому рівні 0,4 кіловольта енергія становить надається через розподільну станцію до цехів та інших об'єктів виробництва, підтримує TWR, де здійснюється обслуговування повітряного

руху. Електричну енергію забезпечує обстановочна розподільна станція при АТСУ у нормальних умовах роботи. Електроживлення систем АТС повинно бути вирішеним як безперебійний, як стійкий до будь-якого знеструмлення. У разі наявності двох ДБЖ (джерела безперебійного живлення) усунути несправність перед тим, як двигун-генератор запуститься, і забезпечити живлення достатню кількість енергії. Рівень потужності ДБЖ 2×30 кВт, де другий додає енергії в разі нестачі.

ДБЖ підтримують лише необхідні системи АТС; і моторгенератор постачає всі системи на TWR, тому живлення рівень становить 110 кВт.

Основна трансформаторна підстанція має два додаткових трансформатора перетворення рівня 0,4 кВ на 6 кіловольт, що забезпечується через кільцеву систему навколо аеродрому. Головною перевагою такого рішення є те, що у разі розводки 6 кВ переривання, це все-таки другий напрямок проводки. однак, основна причина полягає в тому, щоб зменшити падіння напруги на дуже тривалий час. Кожна енергетично значуща частина виробництва має власну систему вторинного розподілу, починаючи з обставинний трансформатор (ТС). Енергія ведеться до розподільної станції через комутаційні компоненти та схему рубильники. Система розподілу постачає енергію до виробництва. Деякі з них мають бути під безперебійним живленням (важлива частина освітлення виробництва, NDB, ILS, RADAR, PAR тощо). У деяких випадках безперебійне живлення вирішується від батарейок, а в інших випадках — від звичайних ДБЖ. Ці засоби утримують енергію до початку M-G, як і у випадку АТСУ резервна система. Рівні потужності M-G відповідають специфіці розподільна станція, ел. г. системи освітлення аеропорту, навігації засоби допомоги та інші мають $275 + 175$ кіловат, тоді як радары підтримуються двома M-G $44 + 26,4$ кВт.

Рисунок 1.3. показує просторовий поділ обставинних трансформаторів, а також положення засобів автоматизації, TWR і т.д. Також показано метод резервування аеропорту система освітлення (АЛС).

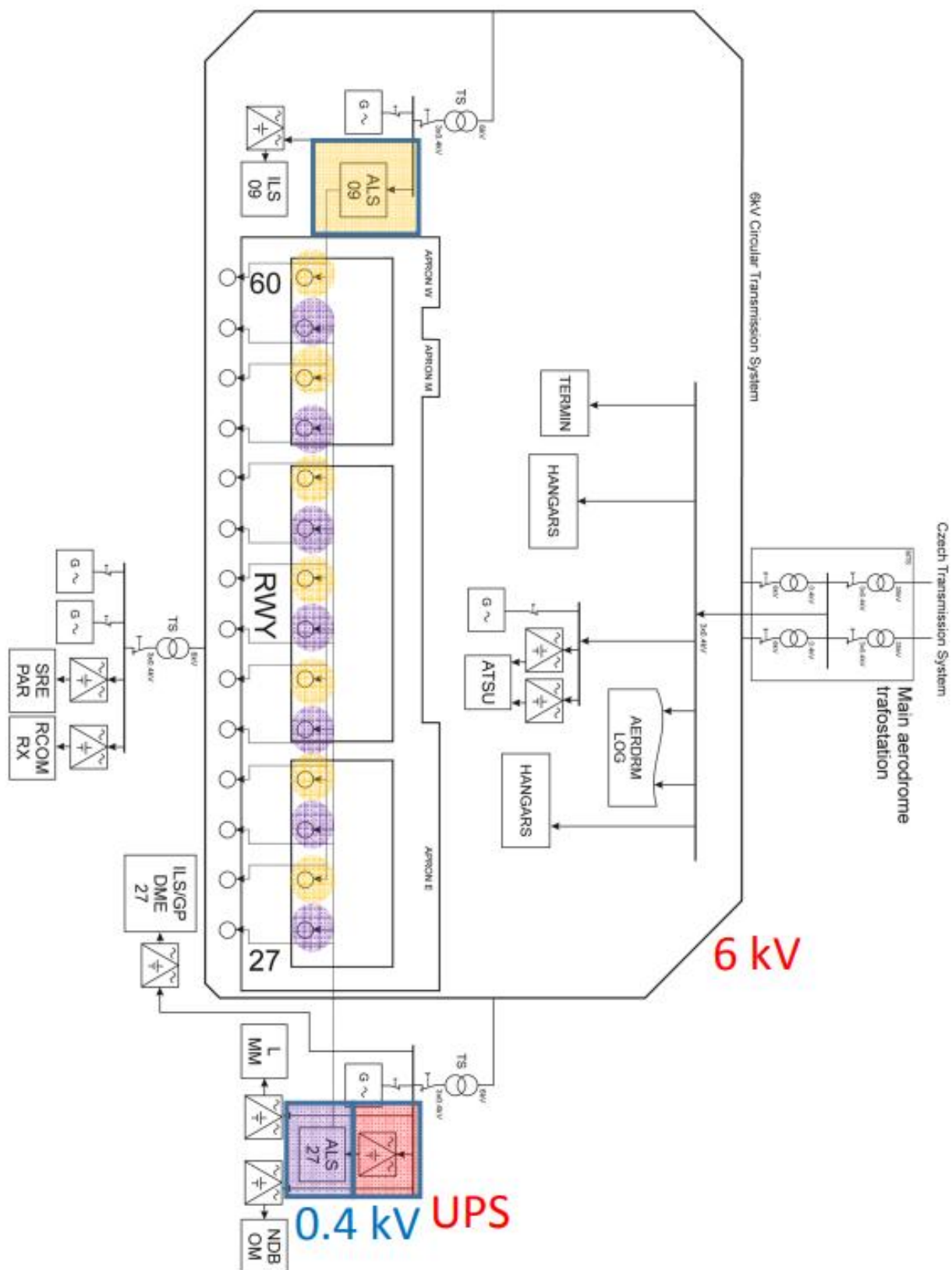


Рис. 1.3. Ситуаційний план виробництва та системи електропостачання

Як правило, основне резервне джерело живлення вирішено енергетично; однак, резервне освітлення також вирішується його розміщення. Для вогнів

ЗПП – REL (Runway edge lights), кожне інше світло пов'язане з одним напрямком. Решта з них пов'язані з другим напрямком. Що стосується ДБЖ, то ні намальовано для лінії звичайного ДБЖ або резервного живлення від батарей на рис. 1.3.

Одна з найбільш енергоємних систем на високоточному виробництві це система освітлення аеропорту. Хоча методи є для зменшення енергоспоживання (люмінесцентні лампи або світлодіоди використання), освітлення високоточного складального виробництва залишається великим споживачем енергії. Рис 1.4. наводить схему системи освітлення виробництва.

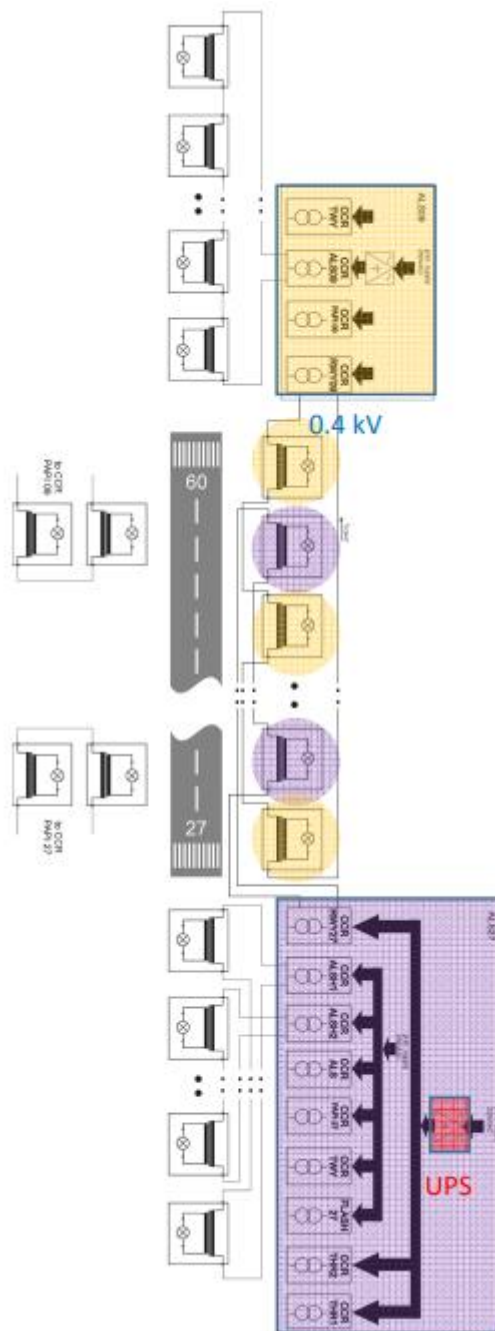


Рис. 1.4 Розташування електроприймачів площею виробництва

На рис. 1.4 показана двонаправлена система освітлення, де резервне копіювання REL вирішується просторово (кожне інше світло підключення). Основу представляють послідовні петлі з вогнямирішення. Є кілька послідовних петель, що несуть вогні однакового значення (надання однакової інформації – ППП, THR, ALS, TWY, RAPI тощо). Що стосується електричної точки зору, послідовний контур може житися лише постійним струмом. Ось чому

використовуються CCR (регулятори постійного струму). CCR складаються з тиристорних блоків, які регулюють безпосередній змінний струм у петлі. Нерозривність послідовного циклу під час несправності лампи розжарювання забезпечує підключення трансформаторів струму до кожного світла. Джерела CCR розміщені на розподільних станціях системи освітлення аеропорту. Тут показано ALS09 і ALS27 у випадку на малюнку деякі з CCR живляться від первинної мережі живлення, тоді як інші через UPS через їх надійність під час зльоту літака. Є виняток принцип постійного струму – пробіски вогню підходу система. Джерелами світла в цьому випадку є ксенонові лампи живляться імпульсами високої напруги.

1.2 Системи джерел живлення для захисту від перерв в електропостачанні

Необхідність захисту від обривів електроживлення і збурень задані стандартами та вимогами виробництва, наприклад, категорія I експлуатації повітряного освітлення послуги можуть бути перервані на термін не більше 15 с [1].

Ці вимоги до живлення в режимі очікування визначають електричні генераторні установки (ЕГС). ЕГС використовуються для різних приладів підвищення надійності електропостачання. ЕГС забезпечує незалежність на електромережі, що дуже важливо. Вони цілком незамінний у застосуванні до повітряного транспорту. Це добре відомо, що ЕГС дуже часто працює під низьким навантаженням не перевищувати в середньому більше ніж 20% номінального постійного навантаження. Концепції ЕГС можуть базуватися на дизельному двигуні та/або електричний генератор для генерування постійного або змінного струму.

Зараз ЕГС працює на постійних обертах двигуна. Якщо час пусків перевищує 10 с, то на час пуску впливає рівень потужності та навантаження, які підключаються до системи резервне копіювання. ККД цих установок ЕГС

дуже низький. EGS мати негативний вплив на навколишнє середовище; напр. забруднення повітря, шум забруднення [8] та можливий витік палива та/або мастила. Вища ефективності та зниження експлуатаційних витрат можна досягти

концепції EGS на основі VSCF (змінна швидкість – постійна частота). У цих EGS є дизельні двигуни контролюється відповідно до навантаження для досягнення максимуму ефективності. Концепцію EGS з VSCF і концепцію постійної швидкості можна побачити на рис. 1.5. [1, 5-10]

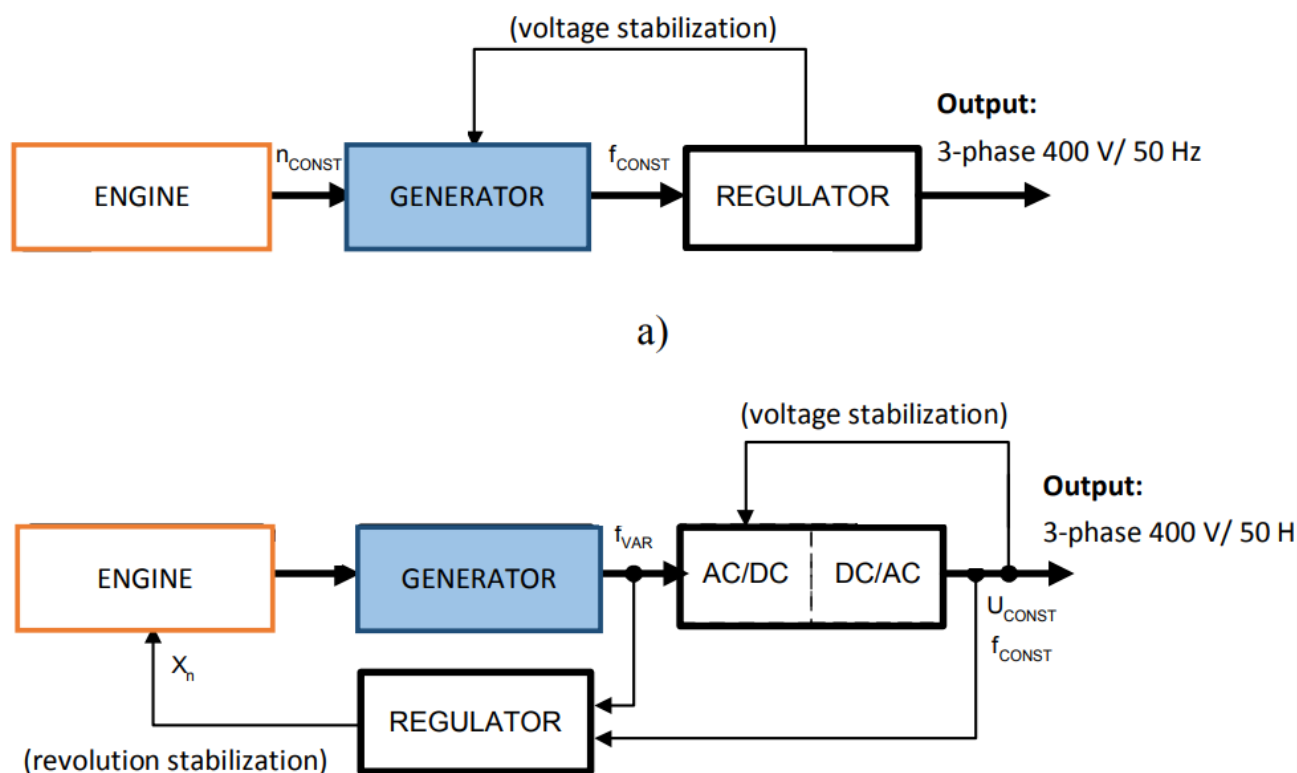


Рис. 1.5 Електрогенераторні установки

а) концепція постійної швидкості б) концепція VSCF

Як згадувалося вище, EGS засновані на принципі мотор-генератора, що приводиться в дію бензиновим або дизельним двигуном при постійна швидкість. Вони дуже важкі, шумні та малоефективні. Нові генератори на основі безщіткової технології, асинхронні, або синхронні генератори з постійним магніти можуть бути корисними для підвищення загальної ефективності. Наступний кроком до підвищення ефективності є контроль частоти обертання двигунів оптимальні режими для зниження витрати

палива. Наслідок використання, наприклад, синхронного генератора з постійним магніти та змінна швидкість дизельного двигуна призводить до досягнення а вища ефективність EGS, з іншого боку, змінна швидкість створює змінну частоту вихідного генератора, як показано на рис. 1.5В. Змінна частота повинна бути перетворена в постійну напругу, 3 фази 400В і 50Гц за допомогою живлення електроніки.

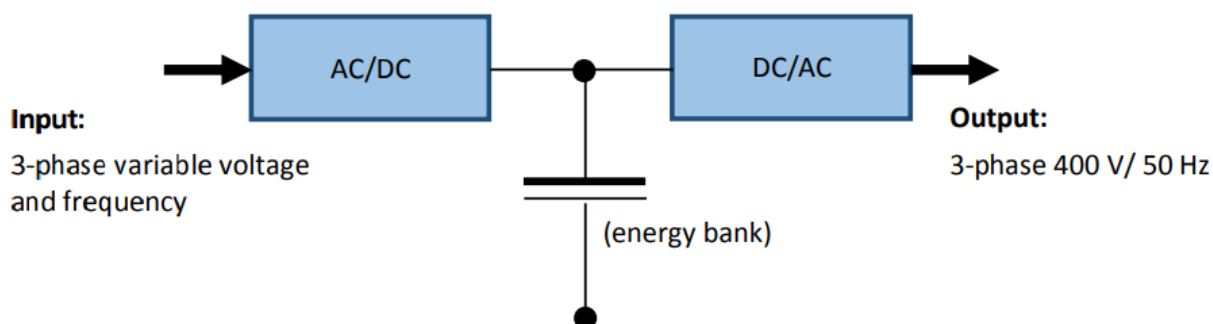


Рис. 1.6 Структурна схема силової електроніки з ланкою постійного струму

Обробка вхідної потужності вихідної змінної потужності синхронний генератор з постійним магнітом, див. рис. 1.5В.

Система силової електроніки пов'язана з живленням EGS інженерна мережа. Потік електроенергії від генератора до змінного струму показана корисність через більш ніж один етап перетворення потужності на рис. 1.6. Перетворення AC/DC і DC/AC використовує енергію банки в ланці постійного струму та елемент зберігання між ними перетворювачі. Запам'ятовуючі елементи в цих схемах є конденсатори. В електролітичних конденсаторах використовується алюмінієва пластина з оксидний шар має дуже високу ємність. Ця технологія має багато недоліків через витік електроліту та втрату потужності висока при низьких температурах. Полімерні конденсатори використовують твердотільний провідний полімер як електроліт для зменшення втрат конденсаторів на основі алюмінію. Нові конденсатори, суперконденсатори, може підвищити рівень енергії. [11-15] Потрібно не просто забезпечити резервне живлення в разі події збою електропостачання, але також необхідна якість електроенергії [3], а саме у

вентиляційному отворі систем живлення електроніки на основі комп'ютерні технології. Сила повинна бути чистою і продовжується. Обробка силової електроніки створює проблеми для електронні технологічні системи. На даний момент використовуючи владу електроніка в системах живлення очевидна як силова електроніка забезпечити інтерфейсні джерела живлення до комунальної мережі. Використання обробка електроенергії через схему силової електроніки дозволяє контролюйте потік потужності до навантажень і допомагайте вирішити проблему проблеми з критичними навантаженнями. З іншого боку, перемикавання перетворювачі потужності, швидке перемикавання може становити кілька десятків нс або нас, створює електромагнітні перешкоди та створює струм гармоніки в комунальну систему. Ці перешкоди виробляють електромагнітні перешкоди, які погіршують ефективність продуктивність електрообладнання. Це серйозна проблема для зниження безпеки в аеропортах. Великі стрибки напруги є результатом швидке перемикавання і забезпечує вплив на чутливу електроніку обладнання, комп'ютери тощо [10]

У випадках високих вимог до потужності, високошвидкісний газотурбінний двигун може замінити дизельну концепцію, а висока швидкість турбіна має значний розмір і вагу зниження за рахунок тисячі об/хв. У порівнянні за звичайний дизельний двигун EGS, типова висока швидкість.

Питома потужність ЕГС на газовій турбіні потужністю 40 кВт потужність близько 200 Вт/кг; а класичний 40 кВт, з приводом від дизельного двигуна, видає лише 20 Вт/кг. З іншого боку, ККД цих агрегатів дуже низький і час запуску хвилин, що є неприйнятною проблемою для системи живлення, що забезпечує безперебійне живлення [5-7].

Динамічна поведінка EGS

Динамічна поведінка електричних генераторних установок с дизельні двигуни дуже погані, як показано на рис. 1.7. Типовий час запуску електрогенераторних установок більше 10 секунд. Інші експериментальні

результати показують вищий час запуску ніж 20 секунд, згідно з червоною легендою на рис. 7. Ці часи залежать від рівня потужності та можуть перевищувати 30 секунд для високої потужності EGS. Практичні результати експериментальне тестування 10 кВт, щоб побачити динамічну поведінку EGS з VSCF можна побачити на рисунку 1.7.

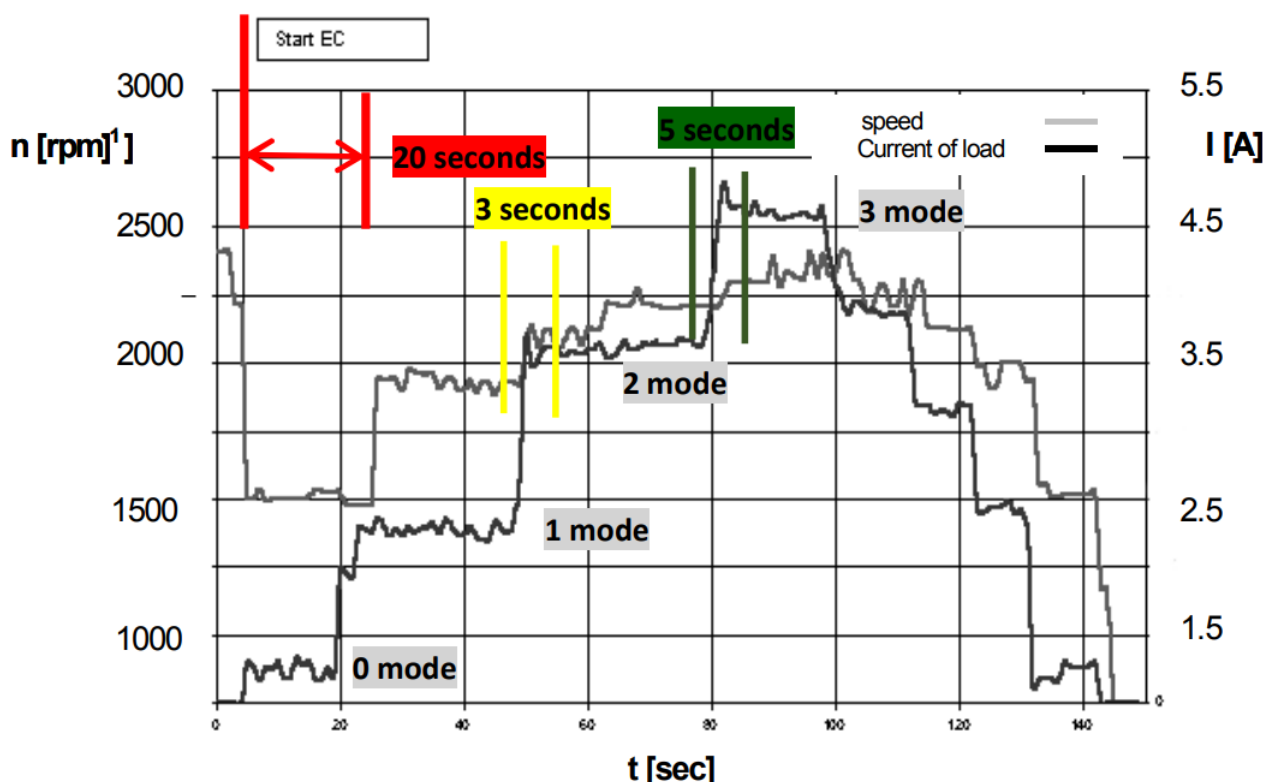


Рис. 1.7. Динамічна поведінка EGS з VSCF

На основі гібридної концепції системи електропостачання з накопичення енергії, змішування технологій EGS і UPS, і були представлені батареї та суперконденсатори джерел резервного електричного живлення засобів автоматизації виробництва.

Висновки до розділу 1

Основна увага нашого дослідження була на технології ДБЖ і EGS з оптимально контрольованою швидкістю для підвищення потужності ефективність резервних джерел. Основна перевага використання VSCF EGS - це низьке споживання палива до безпечного палива під час низького рівня

силове навантаження. Системи EGS більш ефективні з огляду на щільність енергії. З іншого боку, має бути щільність потужності покращуйте за допомогою батарей, щоб мати задоволену динаміку поведінки джерел резервного копіювання відповідно до стандартів живлення засобів автоматизації виробництва.

Комбінована концепція електрохімічних батарей і суперконденсаторів може бути корисною для покращення життєвого циклу батарей які дуже дорогі. Крім того, ємність акумуляторів зменшується через високу розрядку, падіння ємності

можна зменшити змішування електрохімічних батарей разом з суперконденсатори. Особливо динамічна поведінка цих агрегатів під час пульсуючих навантажень можна покращити запуск двигунів тощо щоб розрізнити текстурну ідентичність.

Нова гібридна концепція електричного резервного джерела живлення на основі EGS VSCF і системи ДБЖ із суперконденсаторами можуть бути дуже ефективними. Якщо порівняти результати наших досліджень, ми можемо отримати енергетичні системи, що працюють з вищими ефективність, більш висока надійність і менше забруднення.

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗБОРОЧНОГО ЦЕХУ З ДОДАТКОВИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ

2.1 Складання структурної схеми системи комплексного енергозабезпечення об'єкту

Складена в проєкті структурна схема наведена на рисунку 2.1

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

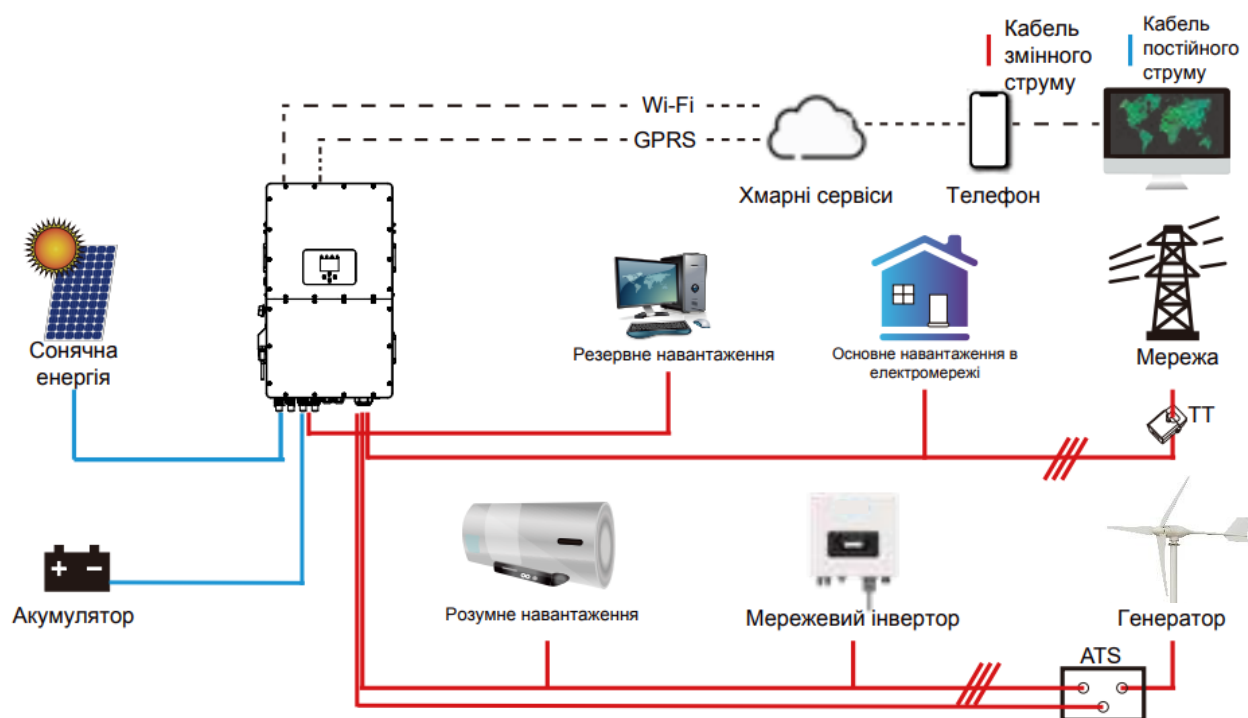


Рис.2.1 Структурна схема системи комплексного енергозабезпечення об'єкту

Перевагами схеми є висока надійність електропостачання споживачів за рахунок застосування трьох джерел живлення.

Окрім цього така системи забезпечує пріоритетне електропостачання об'єкту від вітрогенератору та фотоелектричної електростанції, що значно здешевлює витрати на енергоносії та зменшує обсяг викидів CO₂ в атмосферу.

В системі застосовується інтелектуальне керування як функція інтегрована в інвертор.

Дане керування можливо здійснювати віддалено через смартфон або комп'ютер.

2.2 Характеристика виробничого корпусу проєктування та формування основних параметрів його електрозабезпечення

Зборочний цех складовою частиною комплексного машинобудівного виробництва. Основним завданням вказаної ділянки є механічна обробка металевих деталей методом поточного виробництва та зварювальні роботи. Сучасні вимоги та стан енергетичної безпеки вітчизняного машинобудівного виробництва вимагають суттєвого зменшення питомої енергомисткості виробництва та ставлять питання комплексної оптимізації процесів енергопостачання. Одним з аспектів вирішення цього питання є оптимізація процесу розподілу та споживання електричної енергії. Досягнення цієї задачі неможливе без реконструкції застарілої системи електропостачання.

Площа виробничого корпусу складає 360м^2 , довжина 30 м, ширина 12 м, висота 8 м. Умови навколишнього середовища у цеху : вологість 54-55 %, температура $+13-15^\circ$, шум 30-40 дБ.

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

Категорія надійності цеху №2 - друга. Споживачі другої категорії - це споживачі, перерва електропостачання яких може спричинити масовий простой робітників та виробничих потужностей, збій в роботі технологічного транспорту та порушення нормальної життєдіяльності великої кількості міських та сільських мешканців. [1] [2]. Аналіз споживачів корпусу наведено в таблиці 1.

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

Назва електрообладнання	Кількість, од.	Коефіцієнт використання, K_v	Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$	Режим роботи
Консольно-фрезерний верстат, токарний верстат	34	0,2	0,6	Тривалий
Кран-балка	3	0,1	0,65	Короткочасний
Гідравлічні гільотинні ножиці	1	0,1	0,7	Короткочасний
Зварювальний напівавтоматичний апарат	9	0,4	0,7	Тривалий
Вентилятор	2	0,6	0,8	Тривалий

План розташування обладнання площею ділянки №2 ремонтно-механічного цеху наведений в графічній частині проєкту "Аркуш 1".

2.3 Характеристика приміщень збирального цеху за умовами електрозабезпечення

Таблиця 2.2 - Класифікація приміщення об'єкту

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

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

Для виробничих ділянок категорія пожежонебезпеки – В.

За електробезпекою - приміщення без підвищеної небезпеки

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

2.4 Вибір та обґрунтування системи електрозабезпечення об'єкта

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

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

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

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

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

Основним недоліком радіального живлення є висока вартість.

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

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

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

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

Схема наведена в графічній частині проекту.

2.5 Проєктування електрозабезпечення виробничого корпусу

Склад, характеристика та параметричний аналіз електроприймачів

Таблиця 2.3 – Перелік електрообладнання виробничого корпусу

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

Розрахунок електричних навантажень виробничого корпусу

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

1) Метод упорядкованих діаграм.

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

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

2) Метод середньоквадратичної навантаження.

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

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

3) Метод питомої витрати електроенергії

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

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

4) Статистичний метод

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

5) Метод коефіцієнта попиту

Є найбільш простим методом, але завищує результати розрахунку.

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

6) Метод питомої щільності навантажень

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

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

Всі електроприймачі, приєднані до одного довільно обраного вузла (ШР 1), розбиваються на однорідні за режимом роботи групи з однаковими значеннями коефіцієнта використання K_v і коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, які приймаються за таблицею 2.3, і заносимо до таблиць 2.4.

Таблиця 2.4 – Характерна група електрообладнання для ШР 1

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

Визначаємо номінальну потужність кожної характерної групи і по розрахунковому вузлу в цілому. Результати заносимо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Потужність характерної групи для ШР 1

Характерна група	Кількість одиниць обладнання, од	Сумарна потужність, P_n , кВт
А	10	127,5
Б	1	15
Разом по вузлу	15	181,7

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

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

$$\frac{127,5^2}{5 \times 7,5^2 + 5 \times 15^2} = 9$$

де P_n – номінальна потужність кожної одиниці обладнання, кВт.

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

$$P_{зМА} = P_{нА} \times K_{вА}$$

$$127,5 \times 0,2 = 22,5$$

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

K_v – коефіцієнт використання характерної групи електроприймачів.

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

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

$$22,5 \times 1,33 = 29,93$$

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

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

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

$$\sqrt{22,5^2 + 29,93^2} = 54,11$$

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

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

$$22,5/127,5=0,18$$

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

За значенням коефіцієнта використання K_B і по ефективному числу електроприймачів n_{ef} за функцією «Залежність $K_M = F(n, K_B)$ » знаходимо коефіцієнт максимуму K_M по розрахунковому вузлу. Він дорівнює 1,8.

Визначаємо максимальні навантаження по розрахунковому вузлу.

Знаходимо максимальну активну потужність P_M , кВт, за формулою:

$$P_M = \sum P_{зм} \times K_M ,$$

$$22,5 \times 1,8 = 40,5$$

Знаходимо максимальну реактивну потужність Q_M , квар, за формулою :

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

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

$$Q_M = 53,87$$

Знаходимо максимальну повну потужність S_M , кВА, за формулою:

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

$$\sqrt{40,5^2 + 53,87^2} = 67,39$$

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

Результати розрахунків зведено в таблицю 2.6.

-----Схема з'єднання-----



КТП\ШМА1\А

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

КТП\ШМА1\В

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

КТП\ШМА1\С

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

КТП\ШМА1\D

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

Всього по КТП\ШМА1

Кіл-ть=4.00	P _{min} =2.10	P _{max} =166.34	P _{ном} =305.84
m=mx/m=79.21	Ки =0.18	CosF =0.62	TangF =1.26
Рзміни=55.79	Qзміни=70.16	Nэфф =2.33	Км =2.64
Рмакс =147.28	Qмакс =70.16	Sмакс =163.13	Iмакс =247.85
E_Pn^2=40108.17	Км' =1.00	I _{ном} =380.61	I _{пуск} =1903.07
Iпик =2081.50			

КТП\ШМА2\А

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

$$E_{Pn}^2=11754.90 \quad K_m' = 1.10$$

КТП\ШМА2\В

Кіл-ть=1.00	Pminim=32.80	Pmaxim=32.80	Рном =32.80
m=mx/m=1.00	Ки =0.10	CosF =0.65	TangF =1.17
Рзміни=3.28	Qзміни=3.83	Нэфф =1.00	Км =3.43
Рмакс =11.25	Qмакс =3.83	Смакс =11.89	Імакс =18.06
$E_{Pn}^2=1075.84$	$K_m' = 1.00$		

КТП\ШМА2\С

Кіл-ть=1.00	Pminim=214.90	Pmaxim=214.90	Рном =214.90
m=mx/m=1.00	Ки =0.17	CosF =0.65	TangF =1.17
Рзміни=36.53	Qзміни=42.71	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =96.45	Qмакс =42.71	Смакс =105.48	Імакс =160.26
$E_{Pn}^2=46182.01$	$K_m' = 1.00$		

Всього по КТП\ШМА2

Кіл-ть=3.00	Pminim=32.80	Pmaxim=214.90	Рном =356.12
m=mx/m=6.55	Ки =0.17	CosF =0.63	TangF =1.23
Рзміни=61.50	Qзміни=75.46	Нэфф =2.15	Км =2.64
Рмакс =162.35	Qмакс =75.46	Смакс =179.03	Імакс =272.01
$E_{Pn}^2=59012.75$	$K_m' = 1.00$	Іном =491.73	Іпуск =2458.64
Іпик =2645.73			

КТП\ШМА3\А

Кіл-ть=1.00	Pminim=158.20	Pmaxim=158.20	Рном =158.20
m=mx/m=1.00	Ки =0.20	CosF =0.60	TangF =1.33
Рзміни=31.64	Qзміни=42.19	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =83.53	Qмакс =46.41	Смакс =95.55	Імакс =145.18
$E_{Pn}^2=25027.24$	$K_m' = 1.10$		

КТП\ШМА3\В

Кіл-ть=1.00	Pminim=16.40	Pmaxim=16.40	Рном =16.40
m=mx/m=1.00	Ки =0.10	CosF =0.65	TangF =1.17
Рзміни=1.64	Qзміни=1.92	Нэфф =1.00	Км =3.43
Рмакс =5.63	Qмакс =1.92	Смакс =5.94	Імакс =9.03
$E_{Pn}^2=268.96$	$K_m' = 1.00$		

КТП\ШМА3\С

Кіл-ть=1.00	Pminim=1.70	Pmaxim=1.70	Рном =1.70
m=mx/m=1.00	Ки =0.60	CosF =0.80	TangF =0.75
Рзміни=1.02	Qзміни=0.76	Нэфф =1.00	Км =1.46
Рмакс =1.49	Qмакс =0.84	Смакс =1.71	Імакс =2.60
$E_{Pn}^2=2.89$	$K_m' = 1.10$		

Всього по КТП\ШМА3

Кіл-ть=3.00	Pminim=1.70	Pmaxim=158.20	Рном =176.30
m=mx/m=93.06	Ки =0.19	CosF =0.61	TangF =1.31
Рзміни=34.30	Qзміни=44.87	Нэфф =1.23	Км =2.64
Рмакс =90.55	Qмакс =44.87	Смакс =101.06	Імакс =153.54
$E_{Pn}^2=25299.09$	$K_m' = 1.00$	Іном =361.99	Іпуск =1809.94
Іпик =1893.06			

КТП\ШР1\А

Кіл-ть=1.00	Pminim=42.40	Pmaxim=42.40	Рном =42.40
m=mx/m=1.00	Ки =0.20	CosF =0.60	TangF =1.33
Рзміни=8.48	Qзміни=11.31	Нэфф =1.00	Км =2.64
Рмакс =22.39	Qмакс =12.44	Смакс =25.61	Імакс =38.91
$E_{Pn}^2=1797.76$	$K_m' = 1.10$		

Всього по КТР\ШР1

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

Всього по КТП

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

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

Таблиця 2.6 Розрахунок електричних навантажень виробничого корпусу

Назва вузла	Назва електроприймачів	Кількість електроприймачів, п, шт.	Номинальна потужність, кВт			Коефіцієнт використання, $K_{\text{в}}$	Коефіцієнт активної потужності, $\cos \varphi$	Коефіцієнт реактивної потужності, $\tan \varphi$	Середньозмінна потужність		Ефективне число, $n_{\text{эф}}$, шт.	Коефіцієнт максимуму $K_{\text{м}}$	Максимальна потужність			Розрахунковий струм $I_{\text{м}}$, А
			мінімальна, $P_{\text{мін}}$, кВт	максимальна, $P_{\text{мак}}$, кВт	сумарна $P_{\text{н}}$, кВт				$P_{\text{зм}}$, кВт	$Q_{\text{зм}}$, квар			Максимальна активна потужність $P_{\text{м}}$, кВт	Максимальна реактивна потужність $Q_{\text{м}}$, квар	Максимальна повна потужність $S_{\text{м}}$, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ШРА-1	Група А															
	Верстат коснольно-фрезерний	5	7,5		37,5	0,2	0,6	1,33	7,5	9,98						
	Верстат токарний ДИП500	5	15		75	0,2	0,6	1,33	15	19,95						
		10	7,5	16,7	112,5	0,2	0,6	1,33	22,5	29,93	9,00	1,80	40,50	53,87	67,39	97,39
	Група Б															
	Кран-балка	1	15	15	15	0,1	0,65	1,17	1,5	1,76	1,00	1,00	1,50	1,76	2,31	3,34
Разом по вузлу		11			127,5				24	31,68			42,00	55,62	69,70	100,72
ШРА-2	Група А															
	Верстат коснольно-фрезерний	5	7,5		37,5	0,2	0,6	1,33	7,5	9,98						

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Верстат токарний 1М63	2	16,7		33,4	0,2	0,6	1,33	6,68	8,88						
	Верстат токарний 1К62	3	10		30	0,2	0,6	1,33	6	7,98						
	Верстат токарний ДИП500	2	15		30	0,2	0,6	1,33	6	7,98						
Разом по вузлу		12	7,5	16,7	100,9	0,2	0,6	1,33	26,18	34,82	8,94	1,75	45,82	60,93	76,24	110,17
ШРА-3	Група А															
	Верстат токарний 16К20	4	9,22		36,88	0,2	0,6	1,33	7,376	9,81						
	Верстат токарний 1М63	4	16,7		66,8	0,2	0,6	1,33	13,36	17,77						
		8	9,22	16,7	103,68	0,2	0,6	1,33	20,74	27,58	7,38	1,75	36,29	48,26	60,38	87,26
	Група Б															
	Кран-балка	2	15	15	15	0,1	0,65	1,17	3	3,51	2,00	2,38	7,14	8,35	10,99	15,88
	Група В															
	Гідравлічна гільотина	1	11	11	11	0,1	0,7	1,02	1,1	1,12	1,00	1,10	1,21	1,23	1,73	2,50
	Група Г															
	Вентилятор	1	14,9	14,9	14,9	0,6	0,8	0,75	8,94	6,71	1,00	1,50	13,41	10,06	16,76	24,22
Разом по вузлу		11			144,58				33,78	38,92		6,73	58,05	67,91	89,86	129,86
ШР1	Група А															
	Зварювальний напівавтоматичний пост	8	6		48	0,4	0,7	1,02	19,2	19,58	6,00	1,40	26,88	27,42	38,40	55,49
	Група Б															
	Вентилятор	1	14,9	14,9	14,9	0,6	0,8	0,75	8,94	6,71	1,00	1,40	12,52	9,39	15,65	22,61
Разом по вузлу		9			62,9				28,14	26,29			39,40	36,80	54,04	78,09
Разом по об'єкту		43			435,88				112,1	131,7			185,3	221,3	289,8	418,8

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

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

$$I_{м.л} = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

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

Для ШРА1: $I_{м.л} = 69,7 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 100,72$

Для ШРА2: $I_{м.л} = 76,24 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 110,17$

Для ШРА3: $I_{м.л} = 89,86 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 129,86$

Для ШР1: $I_{м.л} = 54,04 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 78,09$

1.4.3.1 Номінальний струм автоматичного вимикача не повинен перевищувати номінальний струм розчеплювача:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р},$$

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

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

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times I_{м.л}$$

Для ШРА1:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 100,72$$

$$I_{н.р} \geq 110,79$$

Для ШРА2:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 110,17$$

$$I_{н.р} \geq 121,2$$

Для ШРА 3:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 129,86$$

$$I_{н.р} \geq 142,8$$

Для ШР 1:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \times 78,09$$

$$I_{н.р} \geq 85,9$$

Результати розрахунків та вибору кабелю, захисної апаратури для живлення всіх інших ліній заносимо до таблиці 2.7

Таблиця 2.7 – Результати розрахунків та вибору кабелю та захисної апаратури для живлення всіх ліній

Назва траси	Тип розподільчої шини (шафи)	Максимальний струм для живлення лінії $I_{м.л.}$, А,	Номинальний струм розчеплювача $I_{н.р.}$, А	Марка та переріз кабелю, мм ²	Захисний апарат		
					Тип автомата	Номинальний струм $I_{нз}$, А	Струм розчеплювача $I_{р.}$, А
ШРА1	KSA400 ED4501 0	100,72	110,79	АВВГ 3×35+1×15	A3736ФУ3	160	125
ШРА2	KSA630 ED4206	110,17	121,2	АВВГ 3×50+1×25	A3763ФУ3 ·	160	125
ШРА 3	KSA400 ED4501 0	129,86	142,8	АВВГ 3×50+1×25	A3723ФУ3 ·	160	160
ШР 1	AT/U	78,09	85,9	АВВГ 3×25+1×10	A3716ФУ3	160	100

Таблиця 2.8 – Вибір електрощитового (розподільчого) обладнання

Пункт розподільчий	Пункт розподільчий	Пункт розподільчий	1	Назва обладнання
Електрощитова	Електрощитова	Електрощитова	2	Місце встановлення
KSA400ED45010	KSA630ED4206	KSA400ED45010	3	Тип
навісний	навісний	навісний	4	Конструктивне виконання
400	400	400	5	Номінальний струм, А
-/4	-/4	-/4	6	Кількість фідерних ліній трифазних/однофазних
Автоматичні вимикачі	Автоматичні вимикачі	Автоматичні вимикачі	7	Захисна апаратура
IP55	IP55	IP55	8	Ступінь захисту
У3	У3	У3	9	Кліматичне виконання і категорія розміщення
600x400x200	600x400x200	600x400x200	10	Розміри

Продовження таблиці 2.8

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

Вибір апаратів захисту та управління.

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

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

Визначаємо номінальний струм електроспоживача (на прикладі токарного верстату 1K62) I_n , А, за формулою

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

$$\frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 0,86} = 28$$

де P_n – номінальна потужність споживача, кВт;

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

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД).

Визначаємо пусковий струм електроспоживача I_{π} , А, за формулою

$$I_{\pi} = K_{\pi} \cdot I_{\text{н}}$$

$$7,5 \times 28 = 210$$

де K_{π} – кратність пускового струму.

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

$$I_{\text{н.р.}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{роб}}$$

$$1,1 \times 28 \geq 29,8$$

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

За таблицею 11 "Технічні дані атоматичних вимикачів серії АЕ" вибираємо автоматичний вимикач типу АЕ2046 зі струмом розчеплювача $I_{\text{н.р.ст}}$ 40 (струм номінальний розчеплювача стандартний).

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

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

$$210 \times 1,25 \geq 262,5$$

де I_{π} – пусковий струм двигуна електроспоживача, А.

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

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

$$12 \times 40 = 480$$

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

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

Розрахунковий струм спрацювання не повинен перевищувати значення струму за каталогом

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

$$262,5 \leq 480$$

За значенням розрахованого номінального струму споживача за каталогами продукції [5] обираємо марку проводу АПВ та переріз 6мм^2 для підключення електроспоживача до мережі живлення.

Розрахунок і вибір перерізу монтажного проводу типу і струму розчеплювача автоматичного вимикача для інших електроспоживачів ділянки №2 виконується аналогічно за допомогою комп'ютерної програми. Результати заносимо до таблиці 2.9

Таблиця 2.9 – Результати розрахунку і вибір перерізу монтажного проводу та типу і струму розчеплювача автоматичного вимикача для інших електроспоживачів виробничого корпусу

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

Визначення типу кабелів (шин) та способів прокладання електропроводки.

За розрахунковими даними обираємо тип шинопроводу KSA400ED45010 (ШРА 1) на номінальний струм 400 А, він пролягає у лотках які кріпляться на кронштейнах до стіни і живить 11 електроприймачів, які підключені проводом марки АПВ перерізом від $2,5\text{мм}^2$ до 10мм^2 прокладеним у металевій трубі діаметром від 20мм до 50мм. В якості захисної апаратури обираємо автоматичний вимикач типу АЗ726ФУЗ. До ввідного розподільчого пристрою підключений кабелем АВВГ з перерізом $3\times 35+1\times 15\text{мм}^2$.

За розрахунковими даними обираємо тип шинопроводу KSA400ED4206 (ШРА 2) на номінальний струм 400 А, він пролягає у лотках які кріпляться на кронштейнах до стіни і живить 12 електроприймачів, які підключені проводом марки АПВ перерізом від $2,5\text{мм}^2$ до 10мм^2 прокладеним у металевій трубі діаметром від 20мм до 50мм. В якості захисної апаратури обираємо автоматичний вимикач типу АЗ763ФУЗ. До ввідного розподільчого пристрою підключений кабелем АВВГ з перерізом $3\times 50+1\times 25\text{мм}^2$.

За розрахунковими даними обираємо тип шинопроводу KSA400ED45010 (ШРА 3) на номінальний струм 400 А, він пролягає у лотках які кріпляться на кронштейнах до стіни і живить 16 електроприймачів, які підключені проводом марки АПВ перерізом від $2,5\text{мм}^2$ до 10мм^2 прокладеним у металевій трубі діаметром від 20мм до 32мм. В якості захисної апаратури обираємо автоматичний вимикач типу АЗ716ФУЗ. До ввідного розподільчого пристрою підключений кабелем АВВГ з перерізом $3\times 50+1\times 25\text{мм}^2$.

За розрахунковими даними обираємо тип розподільчої шафи АТ/У (ШР 1) на номінальний струм 125 А, вона кріпиться до підлоги біля стіни. Живить 10 електроприймачів, які підключені проводом марки АПВ перерізом від $2,5\text{мм}^2$ до 10мм^2 прокладеним у металевій трубі діаметром 20мм. В якості захисної апаратури обираємо автоматичний вимикач типу АЗ716ФУЗ. До розподільчого пристрою підключений кабелем АВВГ з перерізом $3\times 25+1\times 10\text{мм}^2$.

Розрахунок показників надійності і безвідмовності системи електрозабезпечення

Таблиця 2.10 – Розрахункова елементна таблиця

Позначення елемента на електросхемі чи на електромеханічній схемі	Назва елемента	Назва супутніх елементів	Кількість супутніх елементів	Примітка
ШРА 1	Розподільчий шинопровід	Автоматичний вимикач	11	-
		Гвинтове з'єднання	22	
		Кабелі	20	
		Рубильник	1	
ШРА 2	Розподільчий шинопровід	Автоматичний вимикач	12	-
		Гвинтове з'єднання	24	
		Кабелі	30	
		Рубильник	1	
ШРА 3	Розподільчий шинопровід	Автоматичний вимикач	16	-
		Гвинтове з'єднання	32	
		Кабелі	40	
		Рубильник	1	
ШР 1	Розподільчий шафа	Автоматичний вимикач	10	-
		Гвинтове з'єднання	20	
		Кабелі	7	
		Рубильник	1	

Таблиця 2.11 – Таблиця результатів розрахунків параметрів надійності

Назва елемента	Кількість елементів в системі, n_i	Інтенсивність (потік) відмов елементів, λ_2 1/год	Середній наробіток до відмови елемента, T_n , год	Імовірність безвідмовної роботи елемента в інтервалі часу, $P_n(t, \tau)$
1	2	3	4	5
Автоматичний вимикач	49	$1,05 \times 10^{-5}$	95238	0,984
Кабелі	97	$0,1 \times 10^{-5}$	1000000	0,985
Гвинтове з'єднання	89	$0,12 \times 10^{-5}$	833333	0,998
Рубильник	4	1×10^{-5}	1000000	0,985

Розраховуємо показники надійності (безвідмовності) розподільчого щита та шинопроводу.

1. Наробіток до відмови.

ШРА 1: $T = (11/95238 + 22/833333 + 20/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1629$ год

ШРА 2: $T = (12/95238 + 24/833333 + 30/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1858$ год

ШРА 3: $T = (16/95238 + 32/833333 + 40/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 2474$ год

ШР 1: $T = (10/95238 + 20/833333 + 7/1000000 + 1/1000000)^{(0-1)} = 1370$ год

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

ШРА 3: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(16)} \times 0,985^{(32)} \times 0,998^{(40)} \times 0,985^{(1)} = 0,43$ або 43%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1833 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 43%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 43% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

ШПРА 2: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(12)} \times 0,985^{(24)} \times 0,998^{(7)} \times 0,985^{(1)} = 0,53$ або 56%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1629 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 56%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 56% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

ШПРА 1: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(11)} \times 0,985^{(22)} \times 0,998^{(20)} \times 0,985^{(1)} = 0,57$ або 57%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1330 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 57%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 57% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов.

ШР 1: $P(t, \tau) - P(1500) = 0,984^{(10)} \times 0,985^{(20)} \times 0,998^{(7)} \times 0,985^{(1)} = 0,78$ або 61%

За результатами розрахунку показників надійності системи електроприводу отримано наступні дані:

Наробіток до відмови становить 1833 год.

Імовірність безвідмовної роботи системи в інтервалі часу від 0 до 1500 годин експлуатації становить 61%

Висновки: Дані розрахунку дають можливість стверджувати, що, як мінімум, 78% систем електроприводу з 100 в інтервалі часу від 0 до 1500 годин будуть працювати без відмов. [7]

2.4. Проектування фотоелектричної електростанції

Аналіз вихідних даних на проектування фотоелектричної електростанції

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

Таблиця 2.12 Вихідні дані на проектування фотоелектричної електростанції

Показник	Вимога	Од.вим	Кількісний показник
Розташування об'єкту	м. Харків, проспект Льва Ландау 181		49.964158, 36.303772
Тип електростанції за видом підключення до зовнішніх та внутрішніх мереж	Гібридна, під власне споживання	---	---
Бажана встановлена потужність фотоелектричних модулів		кВт	10
Бажана ємність засобів акумулювання енергії		кВт * год	20
Бажаний діапазон максимальної генерації електричної енергії		год.	10:00 – 15:00
Кліматичні умови району	м. Харків.		
Бажаний річний обсяг згенерованої електричної енергії	Під власне споживання	кВт*год	10000

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

орієнтовані на південь. Визначення кількості фотоелектричних модулів відбувається на підставі проєктування їх розміщення по покрівлі об'єкту (рис. 2. 3)



Рис. 2.2 План-карта об'єкту

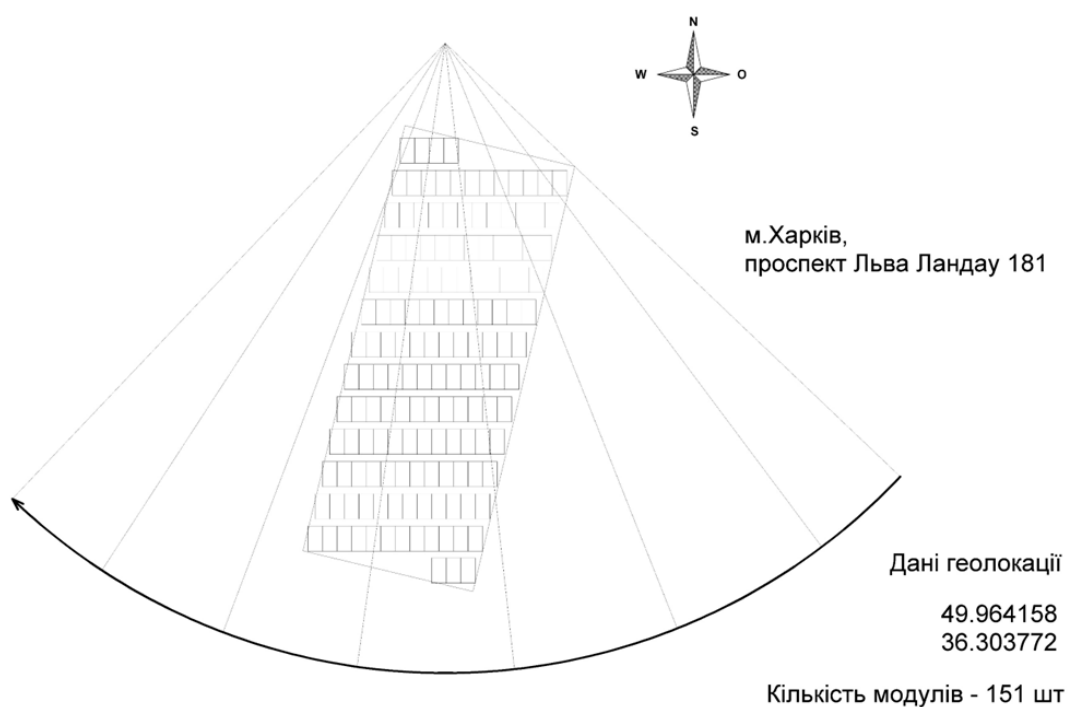


Рис. 2.3 План розміщення фотоелектричних модулів на покрівлі об'єкту

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

Таблиця 2.13 Базові показники сонячної електростанції

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

Визначимо очікувану річну генерацію електростанції за формулою:

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

де P – сумарна встановлена потужність фотоелектричних модулів, кВт

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

PH – коефіцієнт продуктивності роботи електростанції, в.о.

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.4.3.

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

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

Визначення елементної бази сонячної електростанції

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

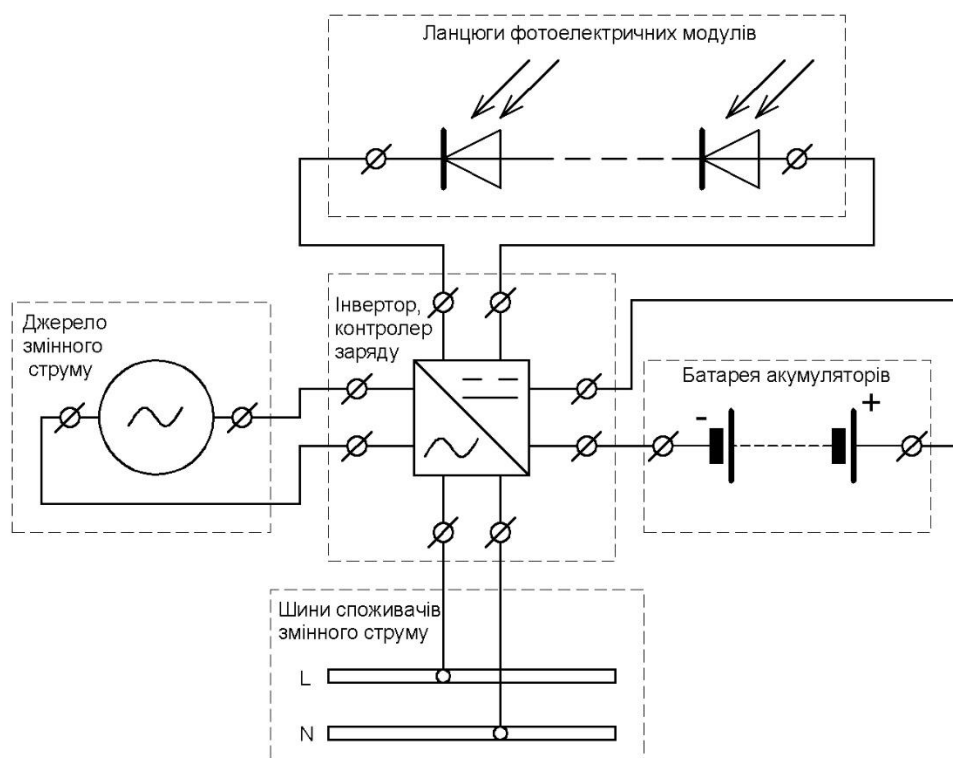


Рис. 2.4 Принципова технологічна схема сонячної фотоелектричної електростанції яка проектується

Таблиця 2.15 Перелік елементної бази сонячної електростанції яка проектується

Елемент	Тип	Посилання	Виробник
Інвертор	Deye SUN-50K-SG01HP3-EU-BM4	https://solar-markets.com.ua/hibrydnyi-soniachnyi-invertor-deye-sun-50k-sg01hp3-eu-bm3/?gad_source=1&gad_campaignid=20821923076&gbraid=0AAAAAqhHZHIX85LuUrYMbs2xjNNWiCdEf&gclid=Cj0KCQiAgP_JBhD-ARIsANpEMxwISWolAPIZ6DbOvZL6rOOLp68vfJlzzpAhhrhyrhCevWMq8sgBLAaAv6VEALw_wcB	Китай

Фотоелектричні модулі	Longi Solar LR5-54HTH-440M	https://vinur.com.ua/ua/products/solnechnie-batarei/komplektuyushie/solnechnye-paneli/lr5-54hth-440m	Китай
Акумуляторні блоки	Dyness B4850	https://magazzilla.com.ua/ua/p2343188942-akkumulyatornyj-blok-kvt.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=21673251561&gbraid=0AAAAAqDLhGZNJkZjTaUR2VsfuoQqdrGTG&gclid=Cj0KCQiAo4TKBhDRARIsAGW29beKch3mjbOhf-joXrsAHnUaD0GgIw89Qp0Usmu4Bs5V7uvB_6af2EaAtK-EALw_wcB	Китай

Таблиця 2.16 Технічні характеристики інвертора

Бренд	DEYE
Країна реєстрації бренду	Китай
Вид інвертора	Гібридний
Кількість фаз	Трифазний
Кількість трекерів MPPT	3 шт.
Кількість підключень вхідних стрінгів	6 шт.
Номінальна потужність інвертора, кВт	50
Вихідна частота	50/60 Гц
Сумісні акумулятори	Літій-іонний, свинцево-кислотний
Клас захисту	IP65
Особливості інвертора	Вимикач DC, Захист від режиму "острова", Захист від надлишкового струму AC, Захист від КЗ AC, Захист від надлишкової напруги AC, Захист від зворотної полярності DC, Захист від перенапруг DC, Захист від перенапруг AC, Блок моніторингу струмів витоку, Захист від виникнення дуги, Дистанційне керування потужністю, Вбудований Anti-PID, Робота з генератором
Зовнішнє підключення	Wi-Fi, порт загального призначення
Гарантійний термін, міс	60

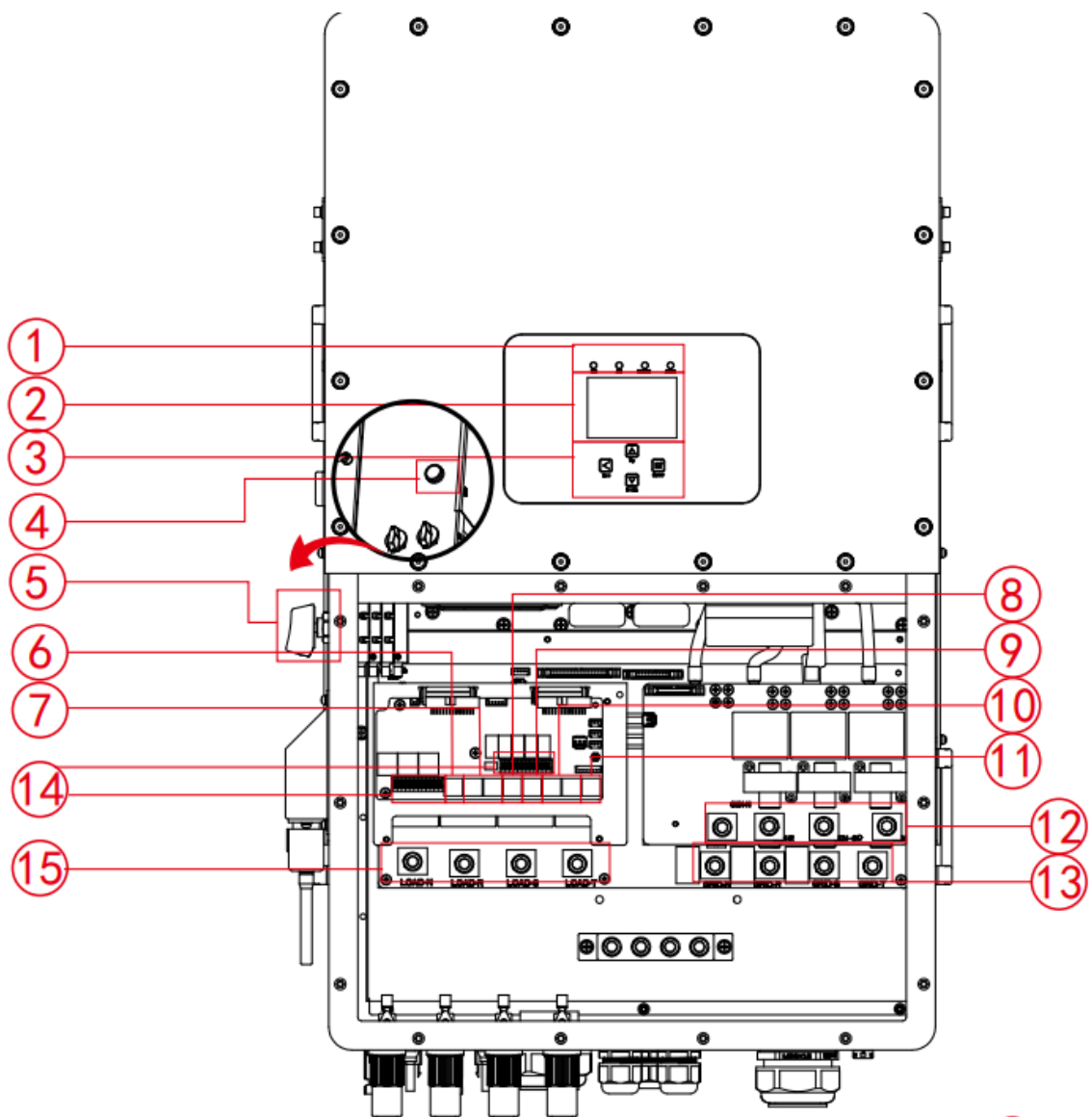


Рис. 2.5 Конструкція інвертора

1. Індикатори інвертора; 2. РК-дисплей; 3. Функціональні кнопки; 4. Кнопка увімкнення/вимкнення живлення; 5. Перемикач постійного струму; 6. Порт для підключення лічильника; 7. Паралельний порт; 8. CAN порт; 9. Порт DRM; 10. Порт BMS; 11. Порт RS485; 12. Вхід генератора; 13. Мережа; 14. Функціональний порт; 15. Навантаження;

Таблиця 2.15 Технічні характеристики фотоелектричних модулів

Mechanical Parameters

Cell Orientation	108 (6×18)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , ±1200mm length can be customized
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	20.8kg
Dimension	1722×1134×30mm
Packaging	36pcs per pallet / 216pcs per 20' GP / 936pcs per 40' HC

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
Voc and Isc Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2 IEC Class C

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.230%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.290%/°C

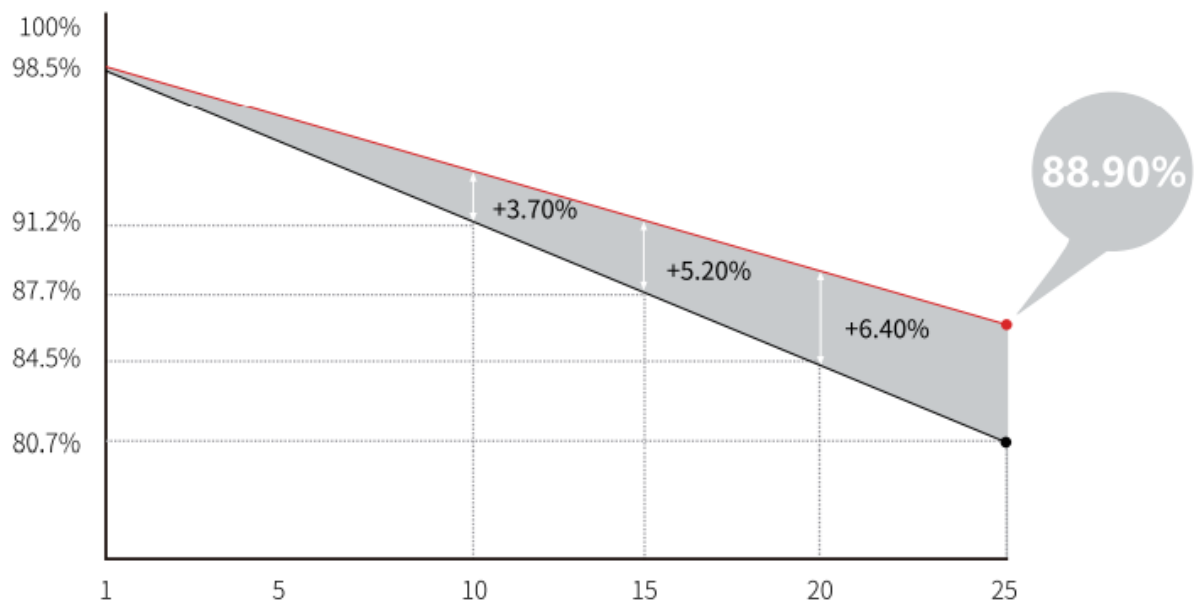


Рис. 2.7 Динаміка деградації фотоелектричних панелей

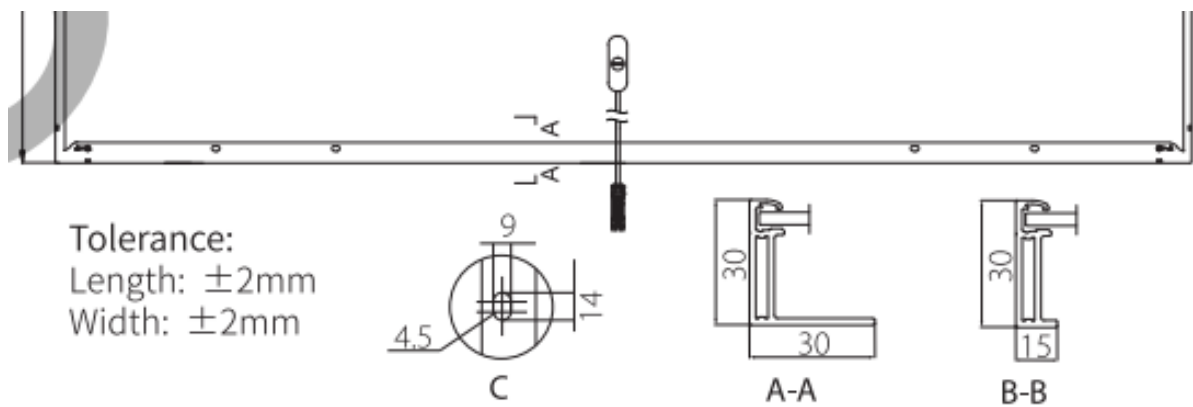


Рис. 2.8 Монтажні кріплення фотоелектричної панелі

Таблиця 2.16 Технічні характеристики акумуляторних блоків

Item	B4850 Parameter value
Nominal Voltage(V)	48
Work Voltage Range(V)	42~54
Nominal Capacity(Ah)	50
Nominal Energy(kWh)	2.4
Nominal Power(kW)	0.7
Max Power(kW)	2.4
1S Peak Power(kW)	2.64
1S Peak Current(A)	55
Charging Current(A)	25
Discharge Current(A)	25

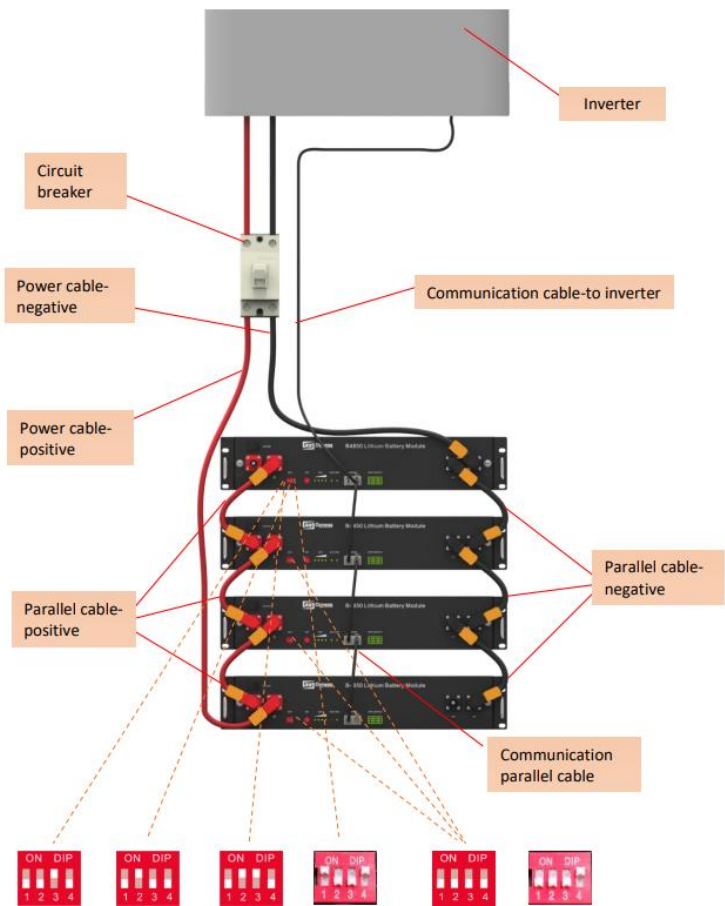
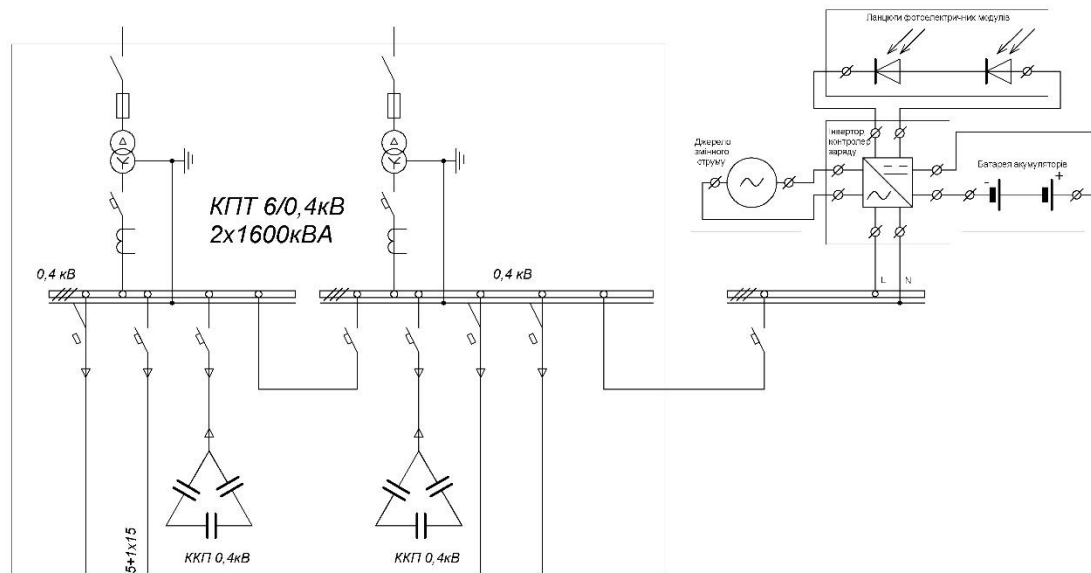


Рис. 2.9 Схема підключення акумуляторних блоків

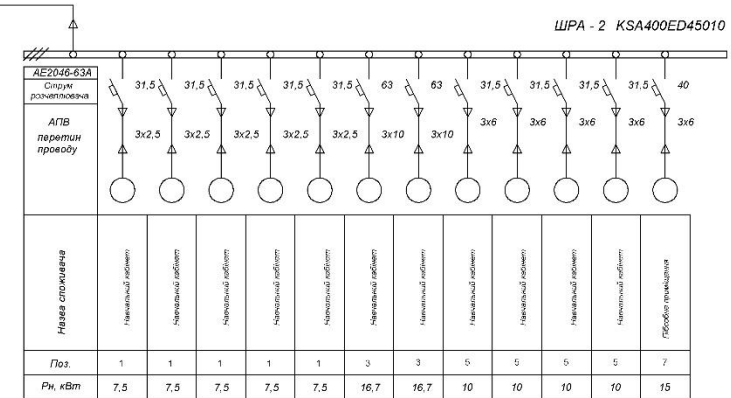
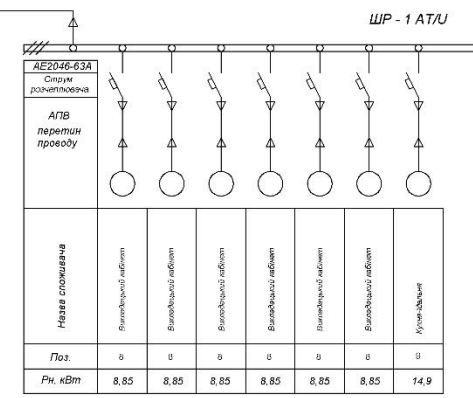
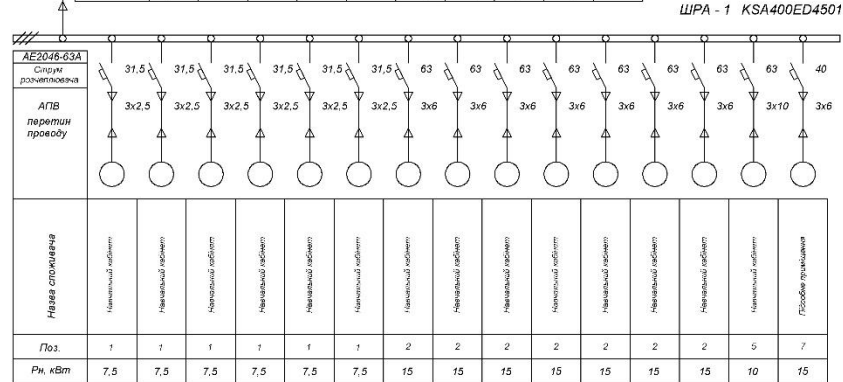
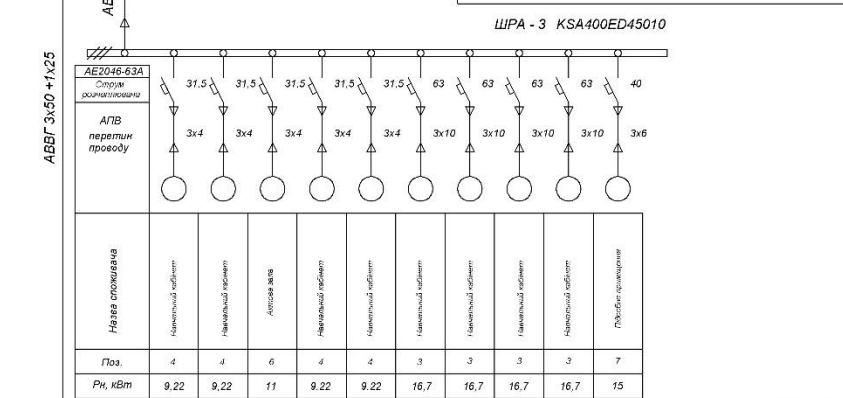
2.5 Складання принципової однолінійної схеми системи комплексного електропостачання об'єкту

Спроектована однолінійна схема системи комплексного енергозабезпечення представлена на рис.2.10

Схема живлення споживачів – магістральна, резервне живлення забезпечується по фазі L1 від інвертора, який керує режимами роботи фотоелектричних модулів, дизель-генератора та акумуляторних батарей.



ABBГ 3х16+1х10
ABBГ 3х35+1х15



Висновки за розділом 2

У другому розділі роботи проведено ескізне проєктування системи комплексного енергозабезпечення складального цеху машинобудівного виробництва у м.Харків.

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

Проведено проєктування фотоелектричної електростанції.

Визначено показники надійності роботи системи розподілу електроенергії .

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

3.1 Актуальність розробки систем резервного живлення паралельного підключення

Щоб досягти екологічних цілей, узгоджених у Паризької конвенції щодо зменшення CO₂ виробництво енергії, місцеве виробництво відновлюваної енергії є одним із нових технологій. У цій галузі було проведено багато досліджень, зокрема щодо зберігання енергії систем[1], у тому числі в Україні[2].

В Україні переваги мікрогенерації зараз також ретельно вивчаються шляхом передачі енергії системні оператори (TSO). Через низьку щільність населення ГТС повинні довго будуватися та підтримуватися дистанційні енергетичні лінії для кількох користувачів. Більшість із цих випадків – це сільські ферми з нерівномірним використанням електроенергії. Це призводить до високих витрат і плати за мережу передачі, оскільки оператори ГТС повинні резервувати певну потужність потужності для цих споживачів, на той випадок, якщо їм може знадобитися енергія.

Тому TransfoElectric розпочала новий проект із розробки недорогої мікромережевої технології для оптимізації ліній електропередач для віддалених малих споживачів енергії, які епізодично потребують високих рівнів потужності протягом коротких періодів часу за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, таких як PV енергія та енергія вітру.

Споживання фотоелектричної енергії було детально проаналізовано в [3], і цей розділ буде зосереджений більше на технічному аспекті інтеграції вітроенергетики створення системи резервного енергорезерву.

На даний момент добре розроблені системи, що працюють автономно, економлячи енергію в акумуляторі і використовувати його за потреби. Однак у разі централізованої системи енергопостачання ряд виникають питання

щодо спільного використання цих систем. Зокрема, синхронізація частот для спільної роботи систем необхідний змінний струм і контроль потоків енергії.

У розділі буде розглянуто питання синхронізації локальної системи генерації електроенергії з електроенергією мережа з використанням відновлюваних ресурсів.

3.2 Методи та засоби побудови системи резервного живлення з паралельним підключенням до мережі

Щоб порівняти системи з точки зору ефективності, достатньо підрахувати втрати енергії в усіх етапи перетворення. Оскільки енергосистема містить мережевий інвертор (GTI), який працює від мережі змінного струму мережі, важливим параметром є поточний коефіцієнт нелінійних спотворень (CNDC), величина що виражає ступінь нелінійних спотворень вихідного струму, що дорівнює відношенню середньоквадратичного значення всіх вищих гармонік струму до струму першої гармоніки. CNDC визначає якість енергії, що подається в мережу.

Системи живлення можуть бути або постійного струму, як фотоелектричні елементи, або змінного струму, як місцева мікрогенерація турбіна. Реалізувати будь-який алгоритм відстеження точки максимальної потужності (MPR) енергосистеми має бути можливість змінити перетворення потужності. Чим менший крок дискретності потужності перетворення, тим точніше поточна потужність може наблизитися до ідеального MPR.

Економічна ефективність енергосистеми визначатиметься як вартістю електроенергії самої системи та додаткових витрат або заощаджень, викликаних впровадженням цієї системи живлення в проектування вітрових турбін в цілому.

Для роботи схеми GTI необхідно буде контролювати напругу і струм електромережі, а також напруга на вводі GTI. І для операції о BOOST перетворювача, необхідні дані про напругу на його вході і виході. Для

реалізації пошук і утримання алгоритму для МРР, необхідно буде отримати дані про швидкість генератора, напругу і значення струму на його виході. Для збору цих даних були введені датчики струму та напруги схема електростанції.

Структурна схема запропонованої енергетичної системи ВДЕ (в даному випадку – вітрогенератора) показано на рис.3.1.

Напруга від генератора G подається на трифазний випрямляч, зібраний згідно з Схематикою Ларіонова. Далі напруга надходить на DC-DC перетворювач, а після нього на ІТТ.

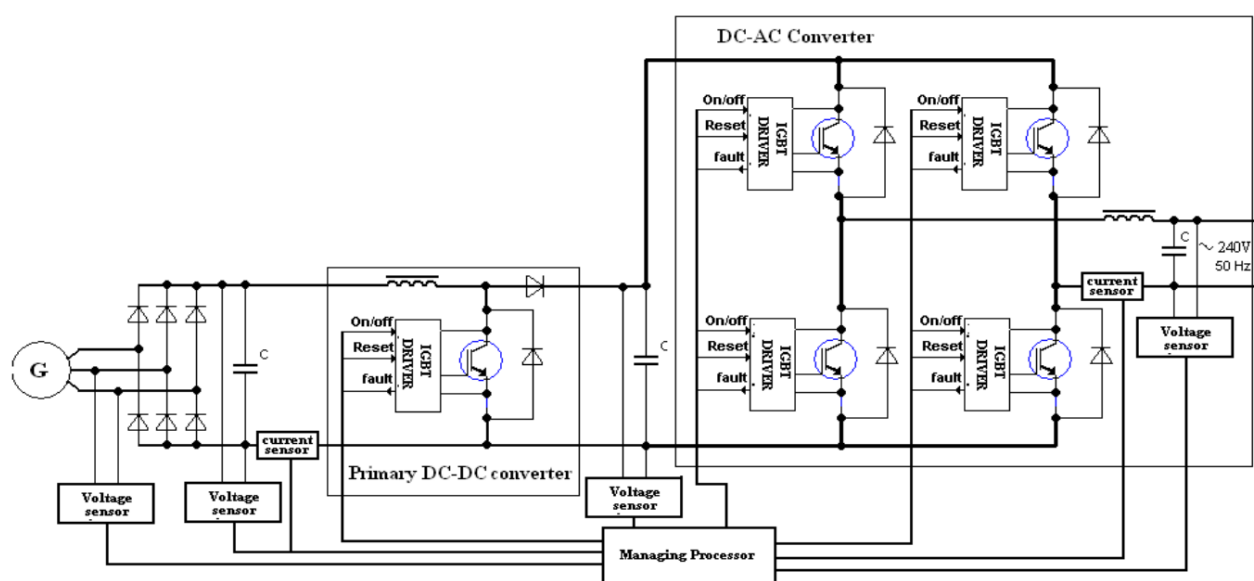


Рис. 3.1. Структурна схема системи живлення енергогенератора

Схема веденого інвертора показана на рис.3.2. Він заснований на мосту H на транзистори IGBT. Через напругу на постійному струмі, якщо сторона вище пікового значення синусоїди електромережі, то при відкритті двох транзисторів по діагоналі через міст струм тече від конденсатора до електромережі. У цьому випадку завдяки індуктору, з'єднаному послідовно, струм в колі буде зростати лінійно. Дросель L 1 підібраний таким чином, щоб струм в ньому зростає зі швидкістю не більше одного ампера на мікросекунду з максимальною напругою

різниця між мережею і конденсаторами дорівнює 320 вольт. Це забезпечує роботу індуктора в режимі постійного струму значну частину напівперіоду електричного мережі. Цей режим характеризується тим, що через нього протікає постійна складова струму дросель, тоді як пікове значення струму через дросель і ключовий елемент значно зменшується порівняно з режимом переривчастого струму дроселя при тій же перетвореній потужності. Робота мережевого інвертора в режимі дроселя постійного струму показана на рис. 3.2.

Розробка програмного забезпечення для експлуатації енергосистеми. Як показано вище, пропонується вітроенергетична система складається з проміжного перетворювального блоку і мережевий блок, що працює безпосередньо з електромережею. Обидва ці блоки повинні працювати синхронно, забезпечення передачі електроенергії від генератора вітрових турбін до мережі. З нинішнього і напруга, отримані від вітрогенератора, змінюються в широких межах, для синхронної роботи обох блоків доцільно використовувати їх продукт, тобто. потужність. Таким чином, кожна функція в систему можна виділити в окремий програмний блок, що підвищує гнучкість роботи системи та зручності написання програмного забезпечення. Блок-схема програмного забезпечення представлена на рис. 3.3

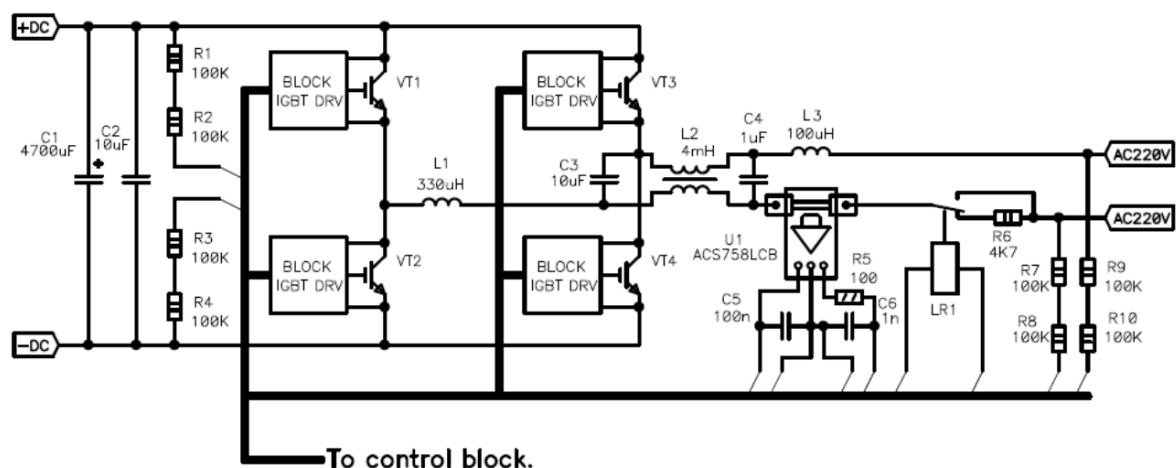


Рис. 3.2. Структурна схема мережевого інвертора

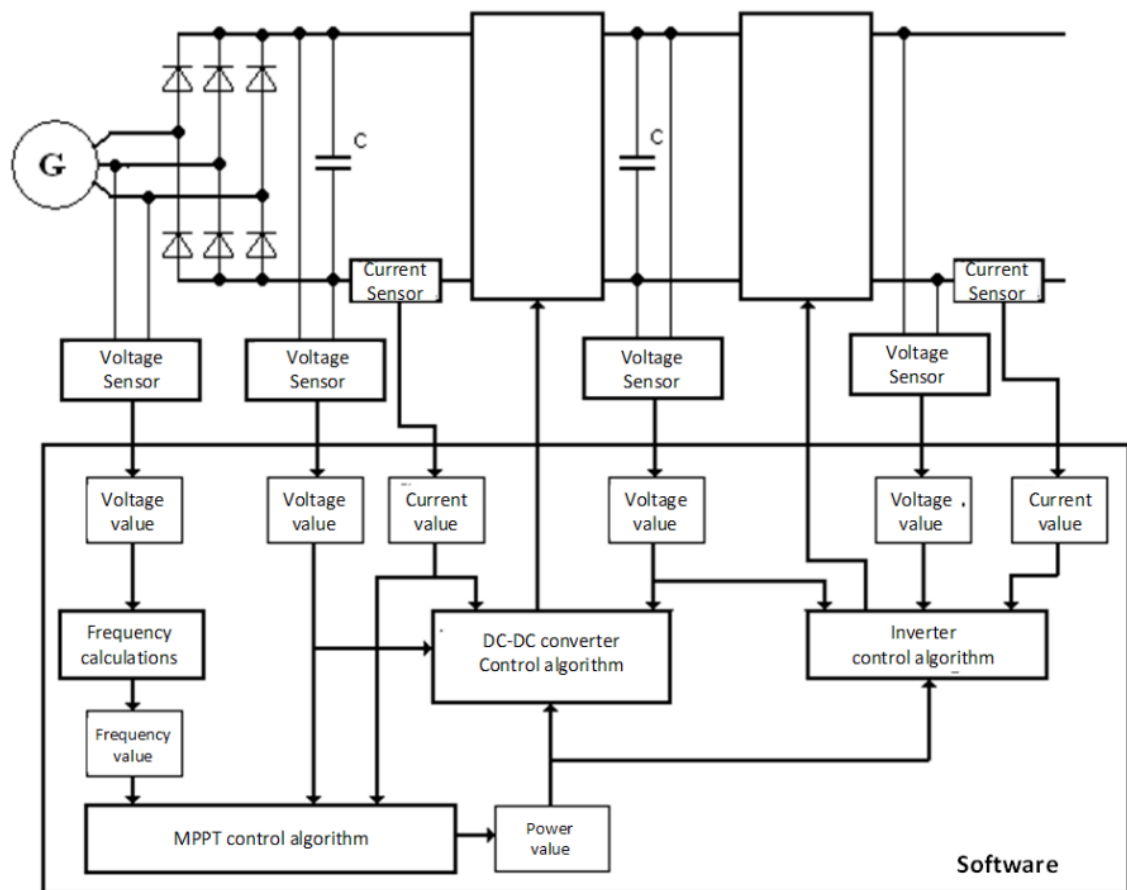


Рис. 3.3. Блок-схема ПЗ

У загальній програмі можна виділити наступні структурні блоки:

- блокувати алгоритм обробки даних з датчиків;
- блок керування мережевим блоком містить програму керування Н мостом і PLL;
- блок Algorithm Control Algorithm Converter;
- блочний алгоритм керування всієї ВЕУ з реалізацією стеження за МПП.

Зручна передача даних від датчиків до програмних блоків, а також даних між блоками реалізується за допомогою проміжних регістрів в пам'яті керуючого контролера. Виконання кожен програмний блок прив'язаний до певної події, яка може бути згенерована як внутрішньою, так і зовнішньою джерела. На рисунку 3.4 показано виконання алгоритму для основних блоків програми.

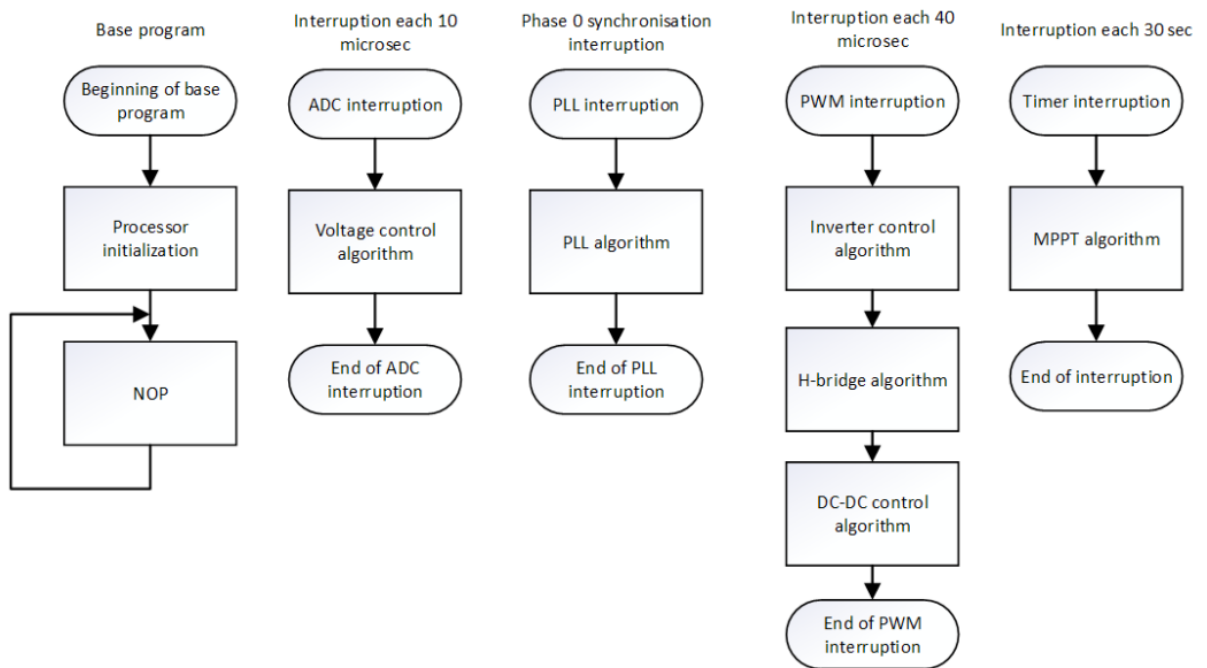


Рис. 3.4. Алгоритм виконання основних блоків програми

Найвищий пріоритет надається обробці даних АЦП, оскільки робота всіх інших програмних блоків вимагає миттєвих значень струму і напруги. Алгоритм обробки дані з АЦП є цифровою фільтрацією, приведенням значень до загальної форми та їх збереженням окремі комірки пам'яті. Другим пріоритетом виконання є переривання ШІМ модулятора, який викликається після кожної синхронізованої роботи перетворювача для обчислення та завантаження значень заповнення ШІМ для наступного циклу. Алгоритм PLL і пошук MPP мають найнижчий пріоритет і виконуються на задньому плані.

У ході тестування концепції реалізації інтегрованої системи електропостачання, а прототип інвертора, що керується мережею, підключеною паралельно навантаженню до електромережі, з потужністю 10 кВт, зібрано. Основний блок живлення інвертора показаний на рис. 3.5.

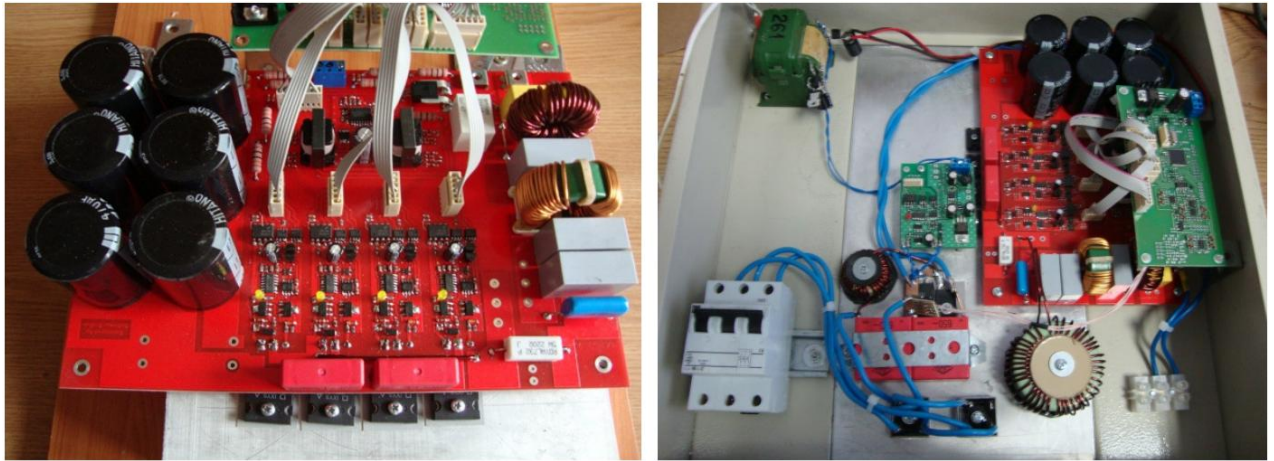


Рис. 3.5. Алгоритм виконання основних блоків програми

Основним завданням системи було забезпечення місцевих споживачів допоміжним джерелом енергії, без повернення енергії в мережу. Для виконання цього завдання датчики струму контролюють споживання струму з електромережі введено в систему. Завдяки суперпозиції струмів, керуючий контролер вибрав такий режим роботи системи, щоб навантаження живилася від місцевого джерела, а нестачу енергії споживала з електромережі.

Осцилограма струму інвертора, що відображає один напівперіод, показана на рис. 3.6.

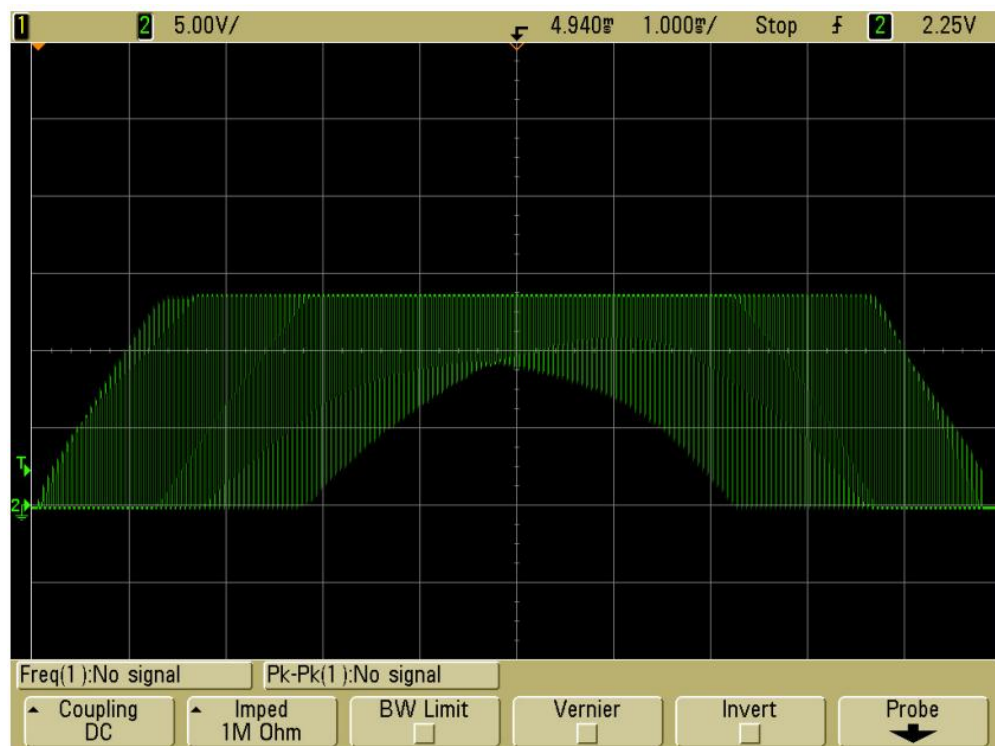


Рис. 3.5. Осцилограма струму інвертора, що відображає один напівперіод

Основним завданням системи було забезпечення місцевих споживачів допоміжним джерелом енергії, без повернення енергії в мережу. Для виконання цього завдання датчики струму контролюють споживання струму з електромережі введено в систему. Завдяки суперпозиції струмів, керуючий контролер вибрав такий режим роботи системи, щоб навантаження живилася від місцевого джерела, а нестачу енергії споживала з електромережі.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз останніх тенденцій розвитку технологій комплексного енергозабезпечення та визначені актуальні технології, які можуть бути впроваджені в Україні.

В проєктній частині було проведено ескізне проєктування системи комплексного енергозабезпечення ліцею №10 м. Бровари Київської області, який має функцію пункту незламності та потребує посилення надійності електропостачання споживачів.

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

Розраховано показники надійності роботи системи розподілення електроенергії до електроприймачів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ICAO ANNEX 14, 2018
2. J. Leuchter, V. Stekly, and E. Blasch, "Investigation of avionics power switch loading versus aircraft electromagnetic compatibility," IEEE Aerospace and Electronic Systems Mag. 30 (9): 24-34, Sept. 2015.
3. I. Moir, A. G. Seabridge. "Aircraft systems: mechanical, electrical, and avionics subsystems integration". 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2008. Aerospace series (Chichester (England)). ISBN 978-0-470-05996-8.
4. M. H. Tooley, D. Wyatt, "Aircraft electrical and electronic systems: principles, operation and maintenance". Amsterdam, ButterworthHeinemann, 2009. ISBN 978-0-7506-8695-2.
5. A. Emadi, A. Nasiri, and S. B. Bekiarov. "Uninterruptible power supplies and active filters". Boca Raton: CRC Press, c2005. ISBN 9780849330353.
6. J. Platts, J. St. Aubyn. "Uninterruptible power supplies". London: Institution of Engineering and Technology, 2007. ISBN 978-0-86341- 263-9.
7. J. Leuchter, P. Bauer, V. Rerucha and V. Hajek, "Dynamic Behavior Modeling and Verification of Advanced Electrical-Generator Set Concept," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 1, pp. 266-279, Jan. 2009.
8. D. Homola, J. Boril, V. Smrz, J. Leuchter, E. Blasch, "Aviation Noise Pollution Mitigation through Redesign of Aircraft Departures," Journal of Aircraft, 1-13, May 2019.
9. L. M. Tolbert, W. A. Peterson, T. J. Theiss, M. B. Scudiere, "Gen-sets," IEEE Ind. Appl. Mag., vol. 9, no. 2, pp. 48-54, Mar./Apr. 2003.
10. M. E. Elbuluk, M. D. Kankam, "Potential starter/generator technology for future aerospace application," IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag., vol. 11, no. 10, pp. 17-24, Oct. 1996.
11. N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power electronics: converters, applications, and design. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2003. ISBN 0-471-22693-9.

12. M. Gagliardi, G. Pagano, G. Maestri, M. Martone, A. Tarantino, "Experimental Results of on-board Battery-Ultracapacitor System for Electric Vehicle Applications," IEEE Xplore, pp. 93-98.
13. Z. Chlodnicki, W. Koczara, N. Al-Khayat, "Hybrid UPS based on supercapacitor energy storage and adjustable speed generator," Proc. CPE, pp. 1-10, 2007.
14. J. U. Jeong, H.-D. Lee, C.-S. Kim, H.-S. Choi, B.-H. Cho, "A development of an energy storage system for hybrid electric vehicles using supercapacitor," Proc. 19th Elect. Vehicle Symp., pp. 1379-1389, 2002.
15. D. Valis, O. Novacek, K. Hasilova, J. Leuchter, "Modelling of degradation and a soft failure moment during the operation of a supercapacitor applying selected diffusion processes," Engineering Failure Analysis J., vol. 82, pp. 566–582, Dec. 2017.
16. J. Leuchter, P. Bauer, P. Bojda and V. Rerucha, "Bi-directional DC-DC converters for supercapacitor based energy buffer for electrical gensets," 2007 European Conference on Power Electronics and Applications, Aalborg, 2007, pp. 1-10.
17. T. Williams, EMC for Product Designers, Oxford: Elsevier, 2007, ISBN 978-0-75-068170-4.
18. J. Leuchter and P. Bauer, "High-speed generator — Converter set for auxiliary power units," 2011 IEEE/AIAA 30th Digital Avionics Systems Conference, Seattle, WA, 2011, pp. 8D3-1-8D3-12. doi: 10.1109/DASC.2011.6096152
19. J. Xu and C. Liu, "Research on high-speed permanent magnet generator for a miniature turbojet," 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Beijing, 2011, pp. 2783-2786.
20. J. Leuchter, V. Rerucha, Z. Krupka and P. Bauer, "Dynamic Behavior of Mobile Generator Set with Variable Speed and Diesel Engine," 2007 IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 2287-2293. 2007,

21. V. Bolborici, F. P. Dawson, K. K. Lian, "Hybrid Energy Storage Systems", IEEE Industry Applications Magazine, pp. 31-39.
22. J. Leuchter, and P. Bauer, "Capacity of power-batteries versus temperature," 2015 17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe), Geneva, 2015, pp. 1-8.
23. J. Jiang, C. Zhang, Fundamentals and Application of Lithium-ion Batteries in Electric Drive Vehicles, John Willey & Sons, 2015.
24. T. B. Reddy, D. Linden. "Linden's handbook of batteries". 4th ed. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-0-07-162421-3.
25. T. Levora, O. Bruna and P. Paces, "Small aircraft flight safety increasing using integrated modular avionics," 2012 IEEE/AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2012, pp. 6B5-1-6B5-9.
26. D. Valis, K. Hasilova and J. Leuchter, "Modelling of influence of various operational conditions on Li-ion battery capability," 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bali, 2016, pp. 536-540.
27. J. Leuchter, J. Boril, E. Blasch, "Overview of Silicon Carbide Power Devices for Aircraft Electrical Systems," IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conf., 2018.
28. D. Q. Huy, J. Leuchter, E. Blasch, "Design of Test-system for EMC Investigations of Aviation Electronic Devices," IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference, 2016.
29. E. Blasch, P. Kostek, P. Pačes and K. Kramer, "Summary of avionics technologies," in IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 30, no. 9, pp. 6-11, Sept. 2015.
30. J. Leuchter, P. Bauer, and V. Stekly, "System Variation of Electrical GEN-SET with Energy Buffer," 2007 Power Conversion Conference - Nagoya, Nagoya, 2007, pp. 1401-1406.
31. Технічна документація АТ "Українські енергетичні машини "
32. <https://ukrenergymachines.com/>

33. <https://studopedia.com.ua>
34. <https://res.ua>
35. <https://www.avtomats.com.ua>
36. Правила улаштування електроустановок: Київ, 2018 р.
37. Мороз В.Д. Розрахунок показників надійності електроприводу: Метод, рекомендації для студентів. - Харків: ХМК, 2011.
38. <https://pidruchniki.com>
39. Методичний посібник з дипломного проєктування для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Укладачі: Задорожна Т.В., Кононова Т.Г., Красоткіна І.І., Мороз В.Д., 2022
40. Методичний посібник з курсового проєктування для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Укладачі: Дон А.В, Мороз В.Д., 2021
41. Журахівський А.В., Кінаш Б.М, Пастух О.Р. Надійність електричних систем і мереж. Друге видання. Львів, 2016. 280с.
42. Yang Y., Bremner S., Menictas C., Kay M. "Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 91, no. January, 2018, pp. 109-125.
43. Zoss T., Rosa M., Romagnoli F., Gusca J., Blumberga D. "Modelling of electricity accumulation from irregular renewable energy resources," 27th Int. Conf. Effic. Cost, Optim. Simul. Environ. Impact Energy Syst. ECOS 2014, 2014.
44. Rubenis A., Adrian L. R. "Determining energy storage amount for development of novel microgrid energy flow optimization system with photovoltaic energy generation," in Energy Procedia, 2018.