

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем  
та програмного забезпечення  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**  
перший (бакалаврський)  
(рівень вищої освіти)

на тему Проектування сонячної  
енергосистеми потужністю 5 кВт

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1710  
спеціальності 171 «Електроніка»  
(код і назва спеціальності)  
освітньої програми Електроніка  
(код і назва освітньої програми)

Головко Владислав Валентинович  
(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н. проф. Критська Т.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент заст. дир. Шершов С.А.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**  
**ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 «Електроніка»  
(код і назва)

Освітня програма Електроніка  
(код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“ 1 ” 04 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Головко Владислав Валентинович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Проектування сонячної енергосистеми потужністю 5 кВт

керівник роботи д.т.н. проф. Критська Т.В.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом ЗНУ від “26” грудня 2023 року № 2215-С

2 Строк подання студентом роботи 1.06.24

3 Вихідні дані до роботи Напруга 220В, напруга АКБ - 48В, потужність 5 кВт.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз складових пристроїв сонячної системи, Аналіз контролерів для сонячної системи, розробка та моделювання конструктивно-технологічної розв'язки економічна частинка

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Схема електрична структурна, схема електрична принципова, математичне моделювання, плата друкована, Економічні показники, охорона праці

6 Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      | д.т.н. проф. Крицька Т.В.                 |                |                  |
| 2      | д.т.н. проф. Крицька Т.В.                 |                |                  |
| 3      | д.т.н. проф. Крицька Т.В.                 |                |                  |
| 4      | д.т.н. проф. Крицька Т.В.                 |                |                  |
| 5      | д.т.н. проф. Крицька Т.В.                 |                |                  |

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
|       |  |                               |          |
|       |  |                               |          |
|       |  |                               |          |
|       |  |                               |          |
|       |  |                               |          |
|       |  |                               |          |
|       |  |                               |          |
|       |  |                               |          |

Студент   
(підпис) Головко В.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)   
(підпис) Крицька Т.В.  
(прізвище та ініціали)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер   
(підпис) Турчанов К.В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить: 69 стор., 35 рис., 14 джерел літератури.

СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ, НАПРУГА, СТРУМ, БУДИНОК, БАТАРЕЯ,  
КОНТРОЛЕР, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ПЛАТА ДРУКОВАНА

В дипломному проекті проаналізовано структурні схеми сонячних систем, які використовуються для живлення домогосподарств або малих підприємств до 5кВт. Окрім технічного аналізу, було також проведено дослідження ринку продукції провідних виробників таких систем та їх технічних характеристик.

У розділі «Охорона праці» наведено вимоги з електробезпеки при монтажі та експлуатації сонячних систем електроживлення та вимоги з охорони праці для працівників, що виконують монтаж, випробування і вимірювання в електроустановках.

У розділі «Економіка», наведено економічні показники, такі як вартість, продуктивність та потужність, що дозволило здійснити порівняльний аналіз та визначити найбільш ефективні рішення для використання згідно завдання.



## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Вступ   | 6  |
| 1 Аналіз складових пристроїв сонячної енергетики                              | 8  |
| 1.1 Структура та склад типових систем сонячної енергетики                     | 8  |
| 1.2 Різновиди сонячних батарей за механічним виконанням                       | 11 |
| 1.2.1 Напівгнучка сонячна батарея   | 12 |
| 1.2.2 Двостороння сонячна батарея Vifacial                                    | 13 |
| 1.3 Параметри сонячної батареї  | 14 |
| 1.4 Паралельне та послідовне з'єднання сонячних батарей                       | 17 |
| 1.4.1 Послідовне з'єднання сонячних батарей                                   | 19 |
| 2 Аналіз контролерів для сонячної енергосистеми                               | 20 |
| 2.1 Сонячні контролери заряду   | 20 |
| 2.2 Типи сонячних контролерів. MPPT та PWM технологія                         | 22 |
| 2.3 Параметри сонячного контролера заряду                                     | 25 |
| 2.4 Інвертори для сонячних станцій  | 27 |
| 2.5 Аналіз аналогічних рішень   | 31 |
| 3 Розробка та моделювання інвертора   | 35 |
| 4 Конструкторсько-технологічна частина  | 39 |
| 4.1 Технологія виготовлення та збірки плати друкованої                        | 39 |
| 4.2 Заходи з охорони праці  | 43 |
| 4.2.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів                                 | 43 |
| 4.2.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів | 47 |
| 4.2.3 Виробнича санітарія   | 49 |
| 4.2.4 Електробезпека  | 50 |
| 4.2.5 Пожежна безпека   | 51 |
| 4.3 Розрахунок захисного заземлення   | 52 |

|   |    |
|---|----|
| 5 Економічна частина                      | 58 |
| 5.1 Суми витрат по статтям кошторису      | 58 |
| 5.2 Розрахунок терміну окупності розробки | 63 |
| Висновки                                  | 66 |
| Перелік використаних джерел               | 67 |
| Додаток А                                 | 68 |
| Додаток Б                                 | 69 |

## ВСТУП

Сучасний світ стоїть перед значними викликами у сфері енергетики, де основними проблемами є забезпечення стабільного енергопостачання, зниження залежності від викопних джерел енергії та мінімізація впливу на довкілля. Відповідь на ці виклики може дати розвиток та впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики. Проектування сонячної енергосистеми потужністю 5 кВт є актуальним напрямком у цій області, який відкриває широкі можливості для побутового та комерційного використання.

Сонячна енергія є однією з найбільш перспективних та екологічно чистих джерел енергії. Використання фотовольтаїчних систем дозволяє значно знизити викиди CO<sub>2</sub> у атмосферу, зменшуючи таким чином глобальне потепління та забруднення навколишнього середовища. Крім того, сонячні панелі можуть бути встановлені у різних локаціях, від віддалених руральних районів до міських будинків та промислових об'єктів, що робить їх універсальним рішенням для різноманітних потреб.

Сонячні системи потужністю 5 кВт є ідеальним рішенням для домогосподарств або малих підприємств, які прагнуть знизити енергетичні витрати та забезпечити екологічну стійкість. Такі системи можуть бути використані для самостійного забезпечення потреб у електриці, або ж для роботи в парі з традиційними джерелами енергії. Особлива актуальність цього виникає в контексті зростаючих цін на енергоносії та збільшення тарифів на електроенергію.

Проектування сонячної енергосистеми включає вибір компонентів, таких як сонячні панелі, інвертори, системи зберігання енергії та інші аксесуари. Важливим етапом є також визначення оптимального розташування панелей, що залежить від географічних і кліматичних умов місцевості. З огляду на технологічні нововведення, сучасні фотовольтаїчні панелі мають вищий коефіцієнт перетворення сонячної енергії в електрику, що забезпечує більш ефективне використання сонячного світла.

Економічна вигода від впровадження сонячних систем також є значною.

Інвестиції в сонячні технології окупаються через зменшення витрат на електроенергію та можливість отримання "зелених" тарифів або податкових пільг. Враховуючи зростання цін на енергоносії, сонячна енергія є вигідною інвестицією, що сприяє забезпеченню енергетичної незалежності.

Враховуючи екологічні, економічні та технологічні аспекти, проектування сонячної енергосистеми потужністю 5 кВт виступає як важливий крок на шляху до сталого розвитку та підвищення енергетичної безпеки. Розвиток таких систем сприятиме не лише зниженню екологічного навантаження, але й підвищенню економічної стабільності та самодостатності споживачів.



## 1 АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ПРИСТРОЇВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

### 1.1 Структура та склад типових систем сонячної енергетики

Сонячна електростанція складається із сонячних батарей, контролера заряду, акумуляторів, інвертора, компонентів захисту від перенапруги та блискавки, резервного генератора (за необхідністю).

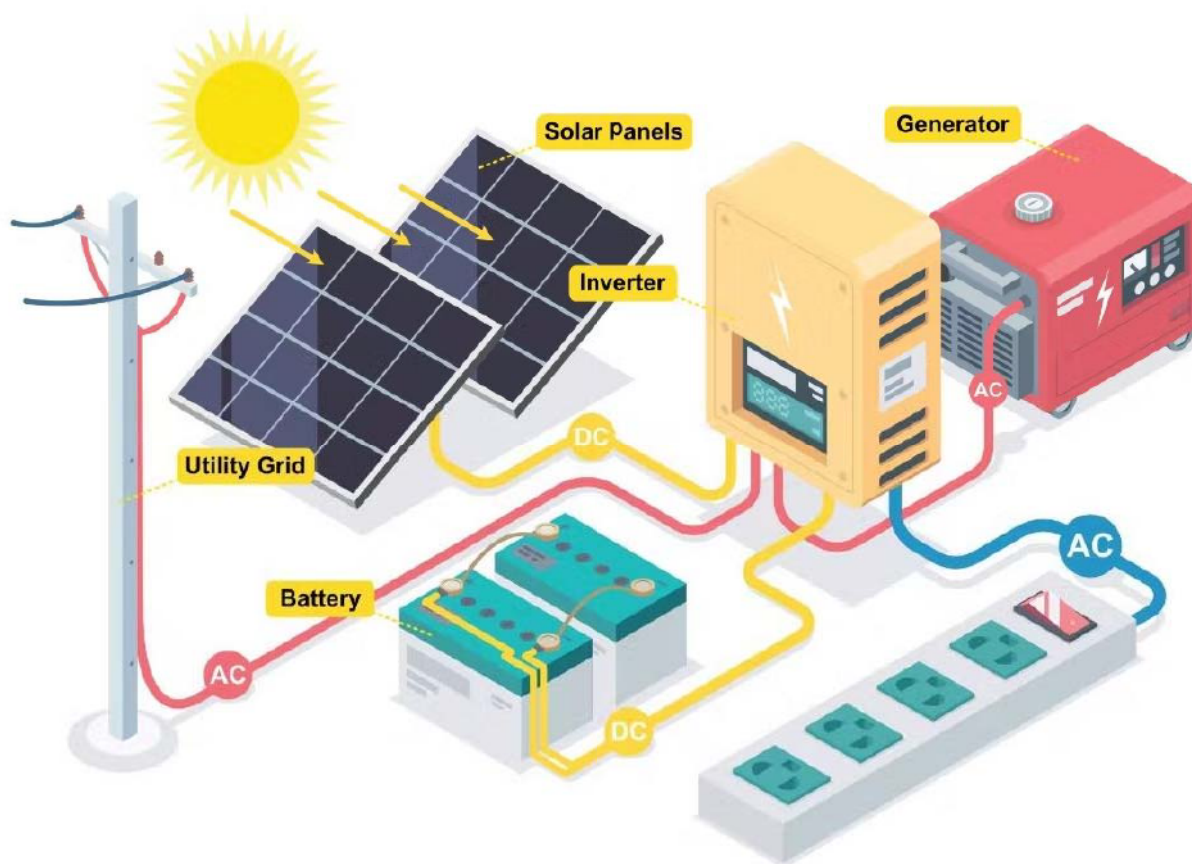


Рисунок 1.1 – Типовий склад сонячної електростанції

Розглянемо склад сонячної електростанції за окремими компонентами.

Сонячна батарея - це система об'єднаних напівпровідникових перетворювачів, які перетворюють сонячну енергію (частину сонячного випромінювання, що дісталось до сонячної батареї) в електроенергію постійного струму DC стандарту 12, 24, 36, 48 В та вище [1].

Сонячні батареї по типу кристалу перетворювача поділяються на:

1. Полікристалічна сонячна батарея. На вигляд синього кольору - найвідоміший тип кристалу до 2020 року. Сонячні батареї на основі полікристалу, що широко доступні в Україні, досягали ККД близько 17 %.

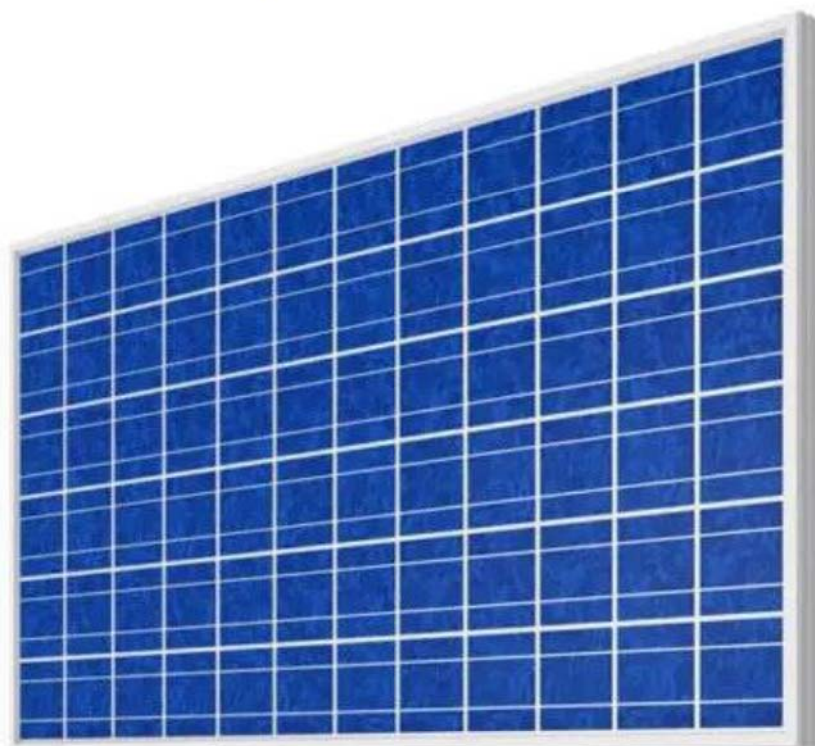


Рисунок 1.2 - Полікристалічні панелі

## 2 Монокристалічна сонячна батарея.

Монокристалічні сонячні батареї, також відомі як монокристалічні кремнієві модулі, є одними з найефективніших і найдовговічніших рішень для генерації сонячної енергії. Їх легко розпізнати за характерним чорним кольором, що відрізняє їх від інших типів сонячних панелей, зокрема полікристалічних, які мають синій відтінок. З 2020 року монокристалічні панелі стали найбільш популярним видом сонячних батарей завдяки їх високій ефективності та тривалому терміну служби.

Монокристалічні сонячні батареї виготовляються з одного великого кристала кремнію, що дозволяє електронам рухатися більш вільно, ніж у полікристалічних панелях, зроблених з багатьох менших кристалів. Це забезпечує вищу ефективність перетворення сонячного світла в електричну енергію. Сучасні моделі монокристалічних панелей мають коефіцієнт корисної дії



(ККД) на 2023 рік з доступних в Україні до 21% і більше, що значно перевищує показники інших типів сонячних батарей.

Однією з основних переваг монокристалічних сонячних панелей є їх висока ефективність і здатність генерувати більше електроенергії на одиницю площі порівняно з іншими типами панелей. Це робить їх особливо привабливими для використання в умовах обмеженого простору.

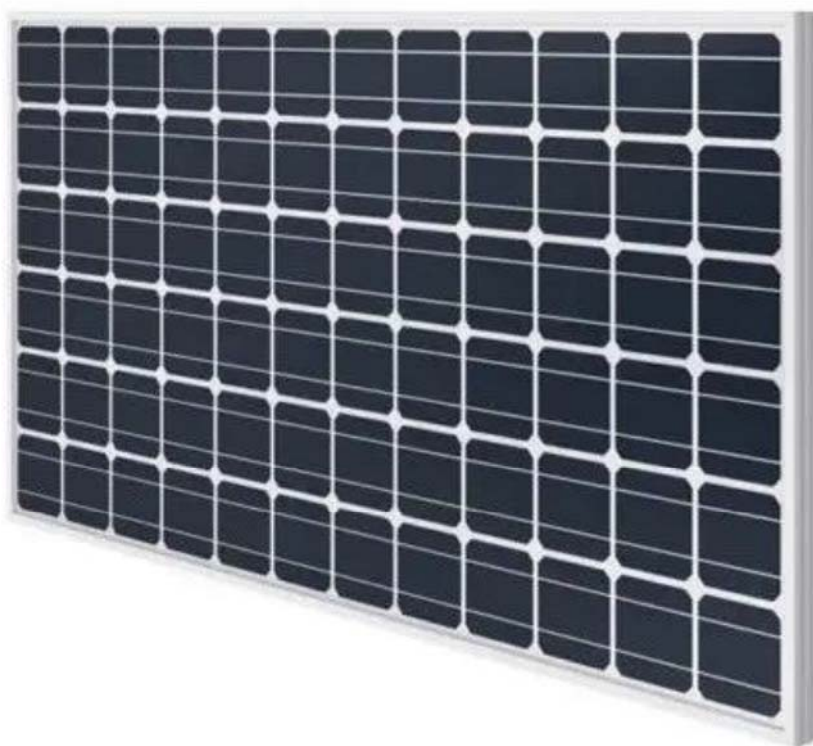


Рисунок 1.3 - Монокристалічна панель

3. Тонкоплівочні сонячні батареї (різновиди: Thin-film - “TF”, CdTe, CIGS, також гнучкі з аморфного кристалу a-Si, TF-Si). На 2019 рік в окремих моделях ККД сягав 22.9 %, але, враховуючи ціну та особливості, що вони потребують тільки трансформаторного інвертора та напруги панелей близько 100 В, не стали широко відомими в Україні. Бувають чорного та відтінків синього кольору. Зовнішній вигляд показано на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 - Тонкоплівочні сонячні батареї

Аналізуючи властивості кожного з типів батарей можна зробити висновок, що кращі за характеристиками панелі це -монокристалічні.

Довго вважалося, що монокристал дорожчий та має кращу генерацію. Але на 2023 рік експериментально встановлено, що монокристал зрівнявся в ціні з полі- та має переваги тільки тому, що цей тип продовжують досліджувати та збільшувати ККД. Також довго вважалося, що монокристал значно краще працює при непрямих сонячних променях порівняно з полікристалом, але на практиці різниці більше 1% не вдалося встановити.

## 1.2 Різновиди сонячних батарей за механічним виконанням

Всі відомі типи за кристалічністю можуть виконуватися в класичному вигляді сонячної батареї, який показано на рис. 1.5.

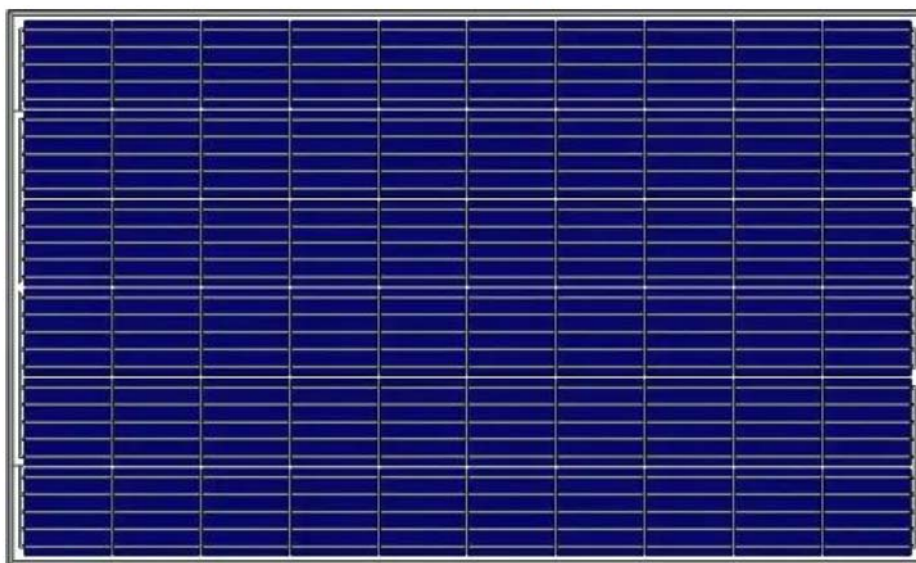


Рисунок 1.5 - Класичний вигляд сонячної батареї



Класична сонячна батарея складається з алюмінієвої рами, загартованого скла, екапсулянту EVA, сонячних осередків (їх ще називають комірками, solar cell), екапсулянту EVA, задньої підкладки, розподільчої коробки.

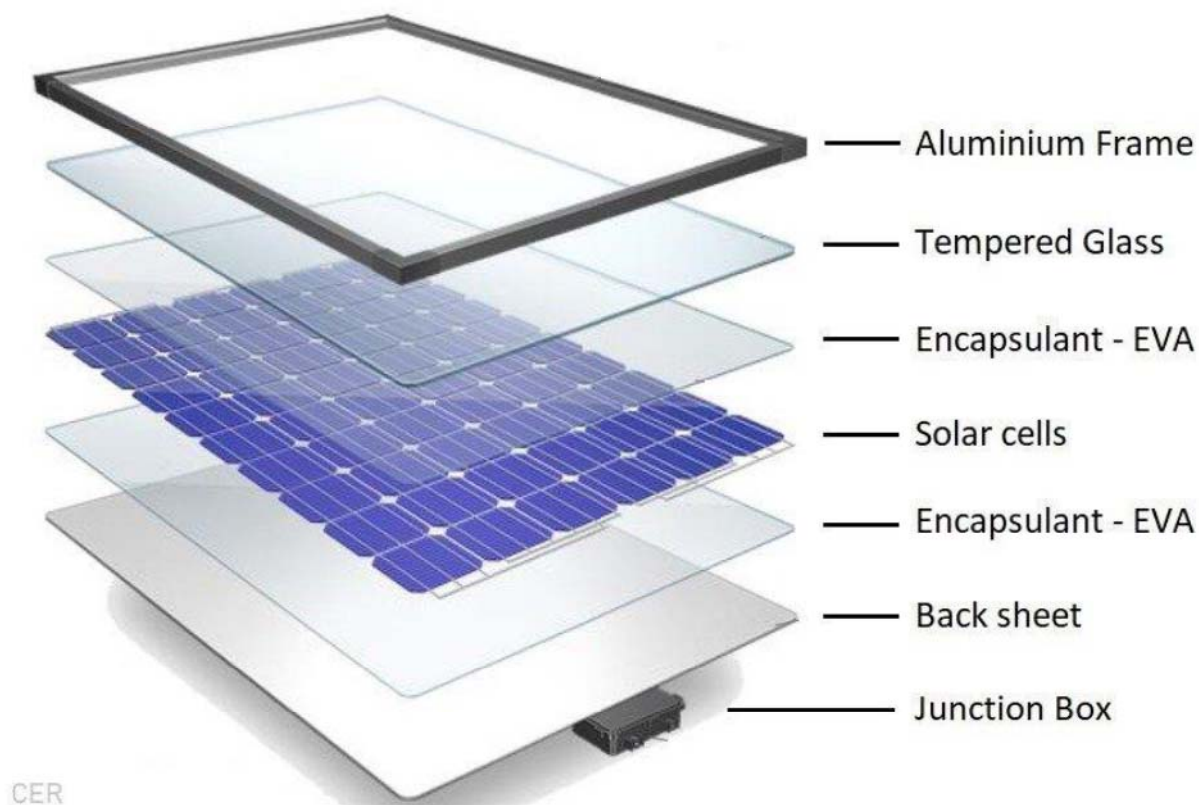


Рисунок 1.6 – Конструкція сонячної батареї

Переваги: найкраща ціна за 1 Вт, механічна стійкість.

Недоліки: висока вага (від 17 кг при потужності 280 Вт).

Сфера використання: стаціонарні, промислові та домашні сонячні станції.

### 1.2.1 Напівгнучка сонячна батарея

Напівгнучка сонячна батарея складається з прозорого покриття PET або ETFE (покриття ETFE більше вбирає світла за рахунок бульбашкової структури, але менше служить), далі прозора EVA плівка, сонячні осередки, EVA плівка, підкладка PET/TPET [1].

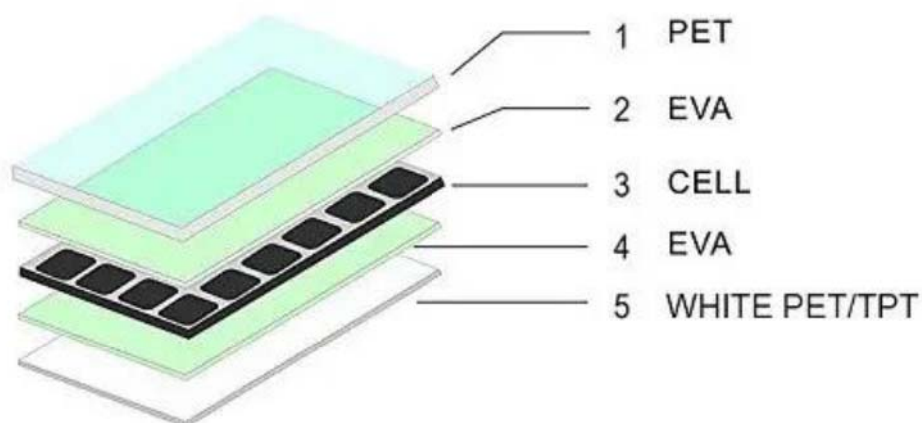


Рисунок 1.6 - Напівгнучка сонячна батарея

Напівгнучка сонячна батарея може згинатися зазвичай до 30 градусів, може бути на основі полікристалу чи монокристалу. Із переваг: може згинатися, в десять разів легша за класичну, не боїться вібрацій. Із недоліків: менший строк експлуатації, дорожче коштує за 1 Вт в порівнянні з класичною. Сфера використання: яхти, катери, будинки на колесах, переносні станції.

### 1.2.2 Двостороння сонячна батарея Bifacial



Рисунок 1.7 - Двостороння сонячна батарея Bifacial

Bifacial - сонячна батарея, що зазвичай виробляється з монокристалічних комірок, які можуть сприймати сонячну енергію не тільки з фронтального боку, а й з тилового, за рахунок чого й досягається збільшена кількість електроенергії на 30 % (залежить від відбиваючого коефіцієнта матеріалу, який треба розмістити із заднього боку сонячної батареї).

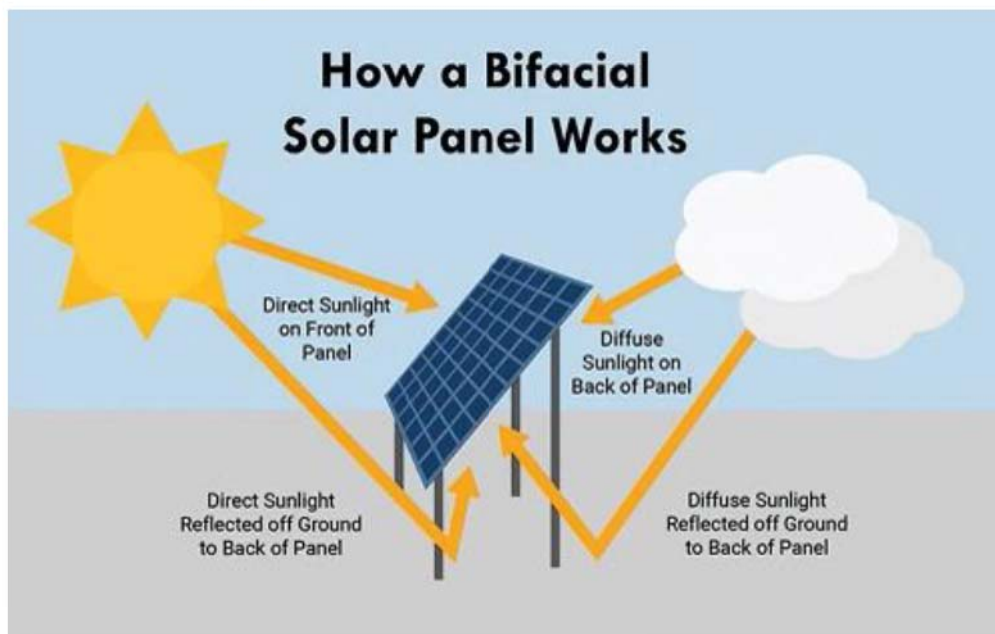


Рисунок 1.8 - Принцип роботи Bifacial

### 1.3 Параметри сонячної батареї

Основні параметри можна побачити з заднього боку сонячної батареї на ярлику.

| Model: LR4-72HPH-435M <b>LONGi Solar</b>  |               |
|---|---------------|
| Rated Maximum Power (Pmax)  | 435 W         |
| Tolerance   | 0 ~ +5 W      |
| Voltage at Pmax (Vmp)   | 48.7 V        |
| Current at Pmax (Imp)   | 11.39 A       |
| Open-Circuit Voltage (Voc)  | 40.9 V        |
| Short-Circuit Current (Isc)   | 10.64 A       |
| Maximum System Voltage  | 1500 V        |
| Maximum Series Fuse Rating  | 20 A          |
| Operating Temperature   | -40°C ~ +85°C |
| Application Class   | A             |
| All technical data at STC: AM=1.5, E=1000W/m², Tc=25°C  |               |
| LONGi Green Energy Technology Co., Ltd.   |               |
| ADD: No. 388, Middle Hangtian Road, Chang'an District, Xi'an, Shaanxi<br>710100, P. R. China.   |               |
| en.longi-solar.com      Made in China   |               |
|     |               |

Рисунок 1.9 - Основні параметри сонячної батареї



Більш детальні параметри пишуться в паспорті - datasheet, який звичайно можемо знайти в продавця чи завантажити з сайту виробника (рис. 1.10).

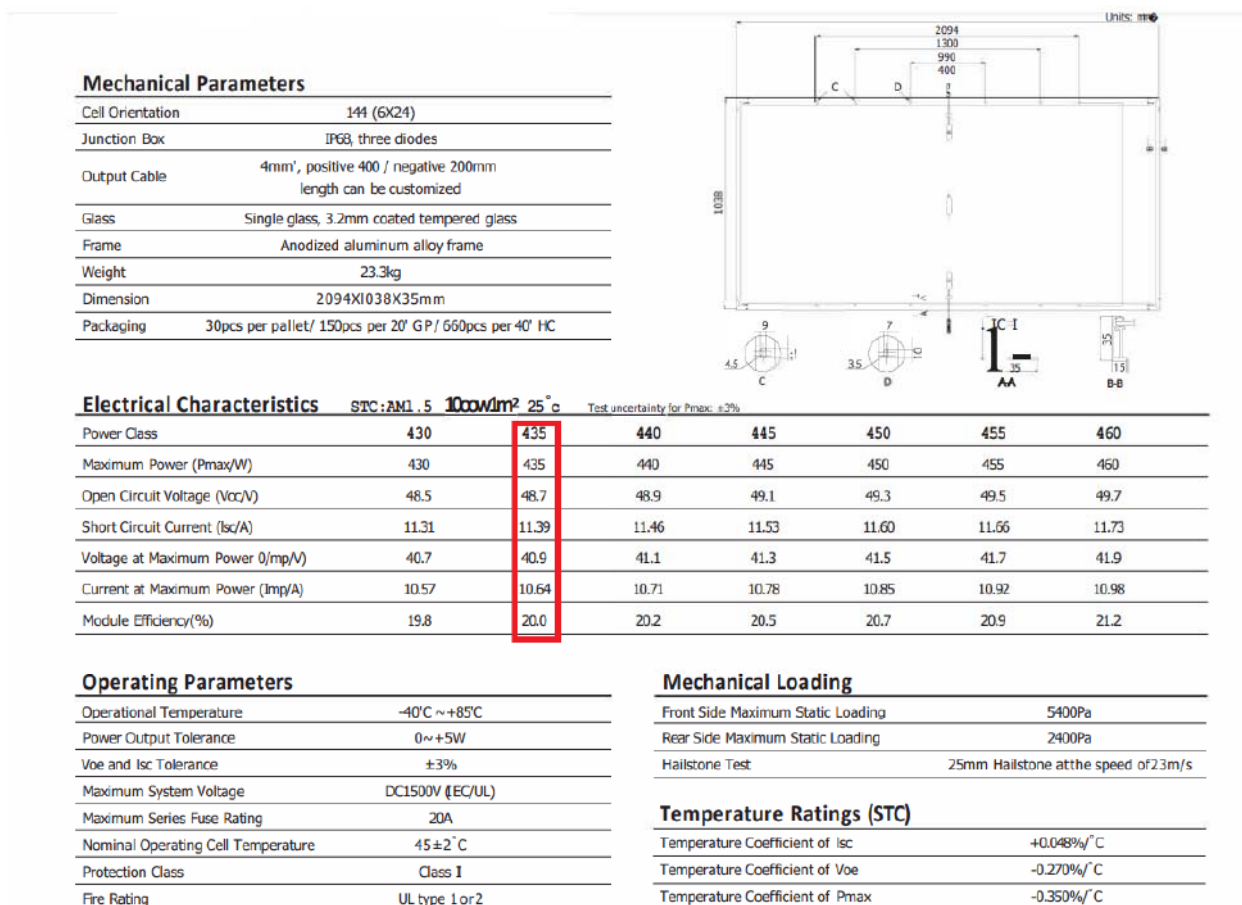


Рисунок 1.10 – Детальні параметри сонячної батареї

Як видно з паспорту, електричні параметри вказані для умов освітлення STC, що відповідає 1000 Вт / м. кв. при температурі +25 градусів. Безумовно, щоб отримати такі параметри, споживачу потрібні саме такі умови, а досягнути їх можна влітку з 10 години до 16, в ясну безхмарну погоду при температурі панелі +25 градусів та розміщенні сонячної панелі на південь під кутом 30 градусів до горизонту.

Електричні параметри сонячної батареї (Electrical Characteristics):

Maximum Power - максимальна потужність 435 Вт. По суті означає максимальну потужність сонячної батареї.

Open Circuit Voltage - холоста напруга 48.7 В. Це напруга без підключеного навантаження.

Short Circuit Current - струм короткого замикання 11.39 А. Це струм, який протікає, якщо замкнути вихід сонячної батареї без навантаження.

Voltage at Maximum Power - напруга при максимальній потужності 40.9 В.

Current at Maximum Power - струм при максимальній потужності 10.64 А.

Module Efficiency - ККД (коефіцієнт корисної дії) 20 % - показує наскільки ефективна сонячна батарея.

Експлуатаційні параметри (Operating Parameters):

Operational temperature - температура експлуатації -40...+85 градусів.

Power output tolerance - допустиме відхилення потужності 0..+5 %, означає, що допустиме відхилення потужності сонячної батареї від її номінальної потужності, вказаної в паспорті (435 Вт), складе до +21,7 Вт ( $435 \times 0.05$ ).

Maximum system voltage - максимальна напруга в системі 1500 В означає, що безпечно використовувати таку сонячну батарею при послідовному підключенні в системах з напругою не більше 1500 В.

Maximum Series Fuse rating - максимальний допустимий номінал запобіжника 20 А. При підключенні сонячних батарей паралельно три штуки та більше потрібно обов'язково встановити запобіжник на 20 А.

Температурні коефіцієнти (Temperature Ratings STC):

Temperature Coefficient of  $I_{sc}$  - скорочено від  $I_{sc} TC$  або температурний коефіцієнт струму короткого замикання. В сонячній батареї показує наскільки змінюється струм короткого замикання ( $I_{sc}$ ) відносно зміни температури.

Temperature Coefficient of  $V_{oc}$  - скорочено від  $V_{oc} TC$  або температурний коефіцієнт напруги холостого ходу. В сонячній батареї показує наскільки змінюється напруга холостого ходу ( $V_{oc}$ ) відносно зміни температури, а

саме  $-0.27\%/^{\circ}\text{C}$ . Тобто при температурі  $+26$  градусів холоста напруга зменшиться і складе  $48.7 - 0.27\% = 48.56$  В. Одночасно зі зменшенням температури опір матеріалу сонячної батареї зменшується, що призводить до збільшення напруги.

Temperature Coefficient of Pmax - температурний коефіцієнт максимальної потужності  $-0.35\%/^{\circ}\text{C}$  означає залежність максимальної потужності (Pmax) від температури. Цей коефіцієнт вказує на те, наскільки змінюється електрична потужність, яку може видавати сонячна батарея при зміні її температури. При збільшенні температури, максимальна потужність сонячної батареї зменшується, тому її Temperature Coefficient of Pmax є від'ємним значенням. Це пов'язано зі зменшенням напруги та збільшенням струму в сонячній батареї при збільшенні температури, що призводить до зменшення максимальної потужності, яку може видавати батарея. Важливо що при зменшенні температури потужність сонячної батареї зазвичай збільшується. Це пов'язано з тим, що при зменшенні температури зменшується опір внутрішнього електричного струму сонячної батареї, що дозволяє збільшити вихідну напругу та підвищити потужність. Тобто при температурі  $+26$  градусів потужність зменшиться і складе  $435 - 0.35\% = 433,47$  Вт.

Обов'язково враховується при розрахунку сонячної станції Temperature Coefficient of Voc. Наприклад, в сонячній панелі з нашого розрахунку на  $48.7$  В при морозі  $-25$  градусів напруга без навантаження сонячної панелі збільшиться і складе  $48.7 + (50 \text{ градусів} \times 0.27\%) = 48.7\text{В} + 13.5\% = 55.27$  В. Якщо не врахувати коефіцієнт зміни напруги без навантаження, може згоріти сонячний контролер який, може працювати тільки в певному діапазоні напруги.

#### 1.4 Паралельне та послідовне з'єднання сонячних батарей

При паралельному підключенні сонячних батарей позитивний полюс однієї сонячної батареї з'єднується з позитивним полюсом всіх інших батарей, а негативний полюс з'єднується з усіма негативними полюсами батарей. Сумарна напруга при цьому всієї системи рівняється напрузі однієї



сонячної батареї ( $U=U_1$ ), а сила струму сумується і рівняється сумі струмів всіх сонячних батарей ( $I=i_1+i_2+i_3$ ). Загальна потужність буде сумою потужностей кожної сонячної батареї ( $P=p_1+p_2+p_3$ ).

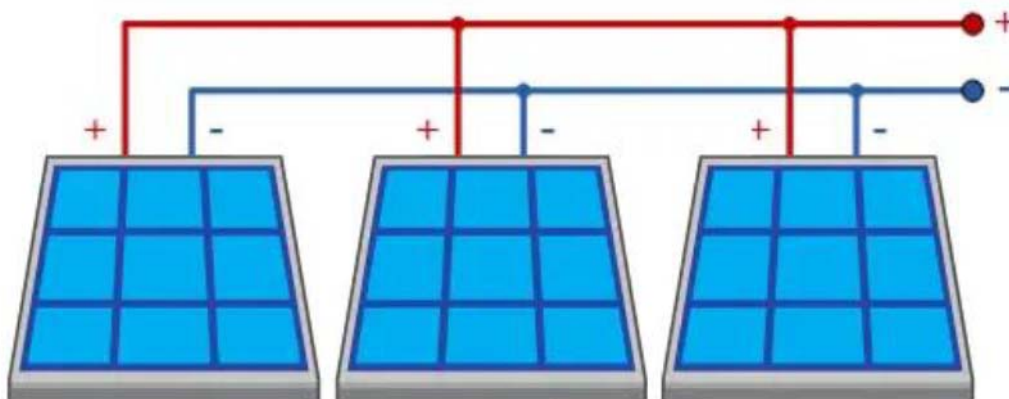


Рисунок 1.11 - Паралельне підключення сонячних батарей

Наприклад, візьмемо сонячну батарею 435 Вт з такими параметрами:

Maximum Power - 435 Вт

Voltage at Maximum Power - 40.9 В

Current at Maximum Power - 10.64 А

При паралельному з'єднанні трьох таких сонячних батарей по 435 Вт:

Р Загальна потужність сонячної системи: 435 Вт + 435 Вт + 435 Вт = 1305 Вт

U Voltage at Maximum Power: 40.9 В

I Current at Maximum Power: 10.64 А + 10.64 А + 10.64 А = 31.92 А.

Важливо враховувати, що при паралельному з'єднанні сонячних батарей допускається використання однакових моделей або з відмінністю параметрів напруги та струму не більше 5 % [1].

При паралельному з'єднанні загальний струм сумується і може бути значним, що при певних умовах може призвести до пошкоджень. Тому обов'язковим є використання запобіжників при підключенні трьох сонячних батарей та більше. Також важливо пам'ятати, що більшість конекторів розраховується на 30 А. Якщо загальний струм перевищує 30 А, зазвичай

відмовляються від конекторів та використовують електричні сполучні шини необхідного струму з нержавійки чи латуні.

#### 1.4.1 Послідовне з'єднання сонячних батарей

При послідовному з'єднанні сонячних батарей плюсовий конектор однієї батареї підключається до мінусового конектору наступної. Для послідовної системи для того щоб приєднати її до контролера заряду звичайно достатньо сонячного кабелю та пари “Конектор MC4”. Таке з'єднання забезпечує збільшення напруги, а не струму. Тому, якщо вам потрібно збільшити напругу вашої сонячної системи, ви можете з'єднати батареї послідовно.

При послідовному з'єднанні сонячних батарей допускається використання однакових моделей або з відмінністю параметрів напруги та струму не більше 5 %.

Наприклад, візьмемо сонячну батарею 435 Вт з такими параметрами:

Maximum Power - 435 Вт

Voltage at Maximum Power - 40.9 В

Current at Maximum Power - 10.64 А

При послідовному з'єднанні трьох таких сонячних батарей по 435 Вт:  
Загальна потужність сонячної системи:  $435 \text{ Вт} + 435 \text{ Вт} + 435 \text{ Вт} = 1305 \text{ Вт}$

U Voltage at Maximum Power:  $40.9 \text{ В} + 40.9 \text{ В} + 40.9 \text{ В} = 122.7 \text{ В}$

I Current at Maximum Power: 10.64 А

Таким чином, варто зазначити, що завжди треба робити послідовне з'єднання де це можливо, так як при послідовному з'єднанні збільшується напруга, а не струм, на відміну від паралельного з'єднання - буде менше втрат в кабелях.



## 2 АНАЛІЗ КОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

### 2.1 Сонячні контролери заряду

Сонячний контролер заряду (Solar Charge Controller) - це електронний пристрій, який використовується для керування процесом заряду акумуляторної батареї від сонячних панелей. Він регулює напругу та струм, що йдуть до батареї, щоб забезпечити ефективний та безпечний заряд.

Сонячний контролер заряду може мати різні функції, такі як захист від перезаряду, захист від надмірного розряду, захист від короткого замикання, регулювання напруги та струму заряду, а також може мати різні режими роботи, такі як ручний та автоматичний.

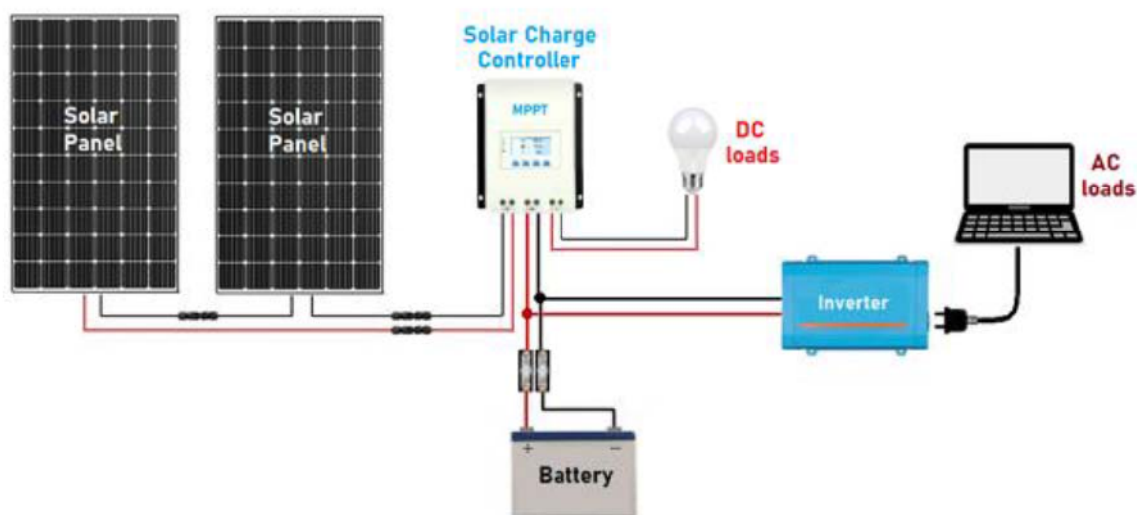


Рисунок 2.1 - Підключення сонячного контролера заряду

Сонячні контролери заряду використовуються в сонячних енергетичних системах для забезпечення ефективного та безпечного заряду акумуляторних батарей від сонячних панелей. Вони є необхідною складовою для будь-якої сонячної енергетичної системи, яка включає акумуляторні батареї.

До сонячного контролера заряду першим завжди підключається акумулятор "Battery 7" (по напрузі якого контролер розуміє, з яким стандартом напруги акумулятора доведеться працювати і активує певну схему роботи), а потім вже - сонячні батареї "Solar Panel" [1].

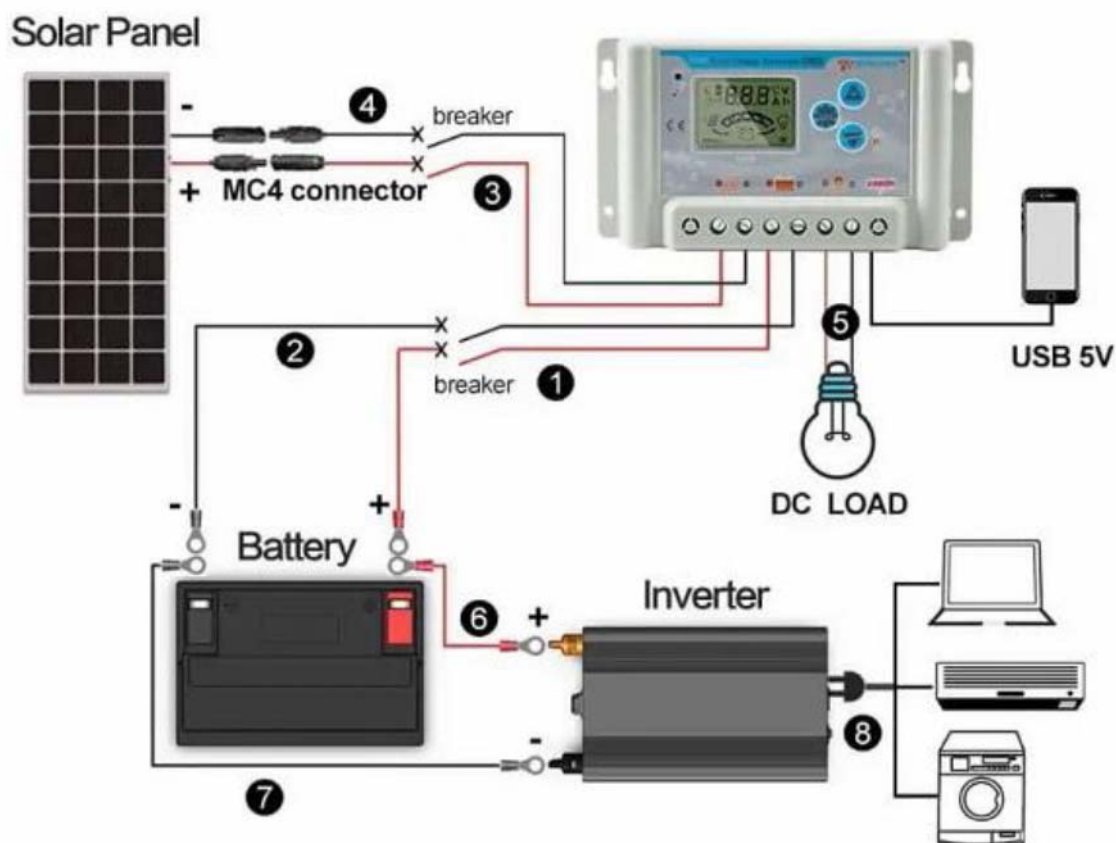


Рисунок 2.2 – Побудова системи електроживлення на основі інвертору та сонячного контролеру

В сонячному контролері заряду є вихід на навантаження “DC Load 5”, до якого можна підключати тільки освітлення на лампах розжарювання (категорично заборонено підключення іншого індукційного навантаження, наприклад, інвертора, імпульсного блока живлення і т.д., так як вихід контролера електронний і вийде з ладу). За необхідності підключення індукційного потужного навантаження з комутацією через контролер на вихід “DC Load 5” підключають електромагнітне реле, а реле вже керує пускачем, який під'єднаний до акумулятора.

Інвертор “Inverter 6” підключається завжди до акумулятора “Battery 7” напряму чи через вимикач.

Інколи в сонячного контролера є інші виходи - USB (для зарядки мобільного телефону), інші виходи обміну даними.

## 2.2 Типи сонячних контролерів. MPPT та PWM технологія

Існують два основні типи сонячних контролерів:

МППТ “MPPT (Maximum Power Point Tracking)”

ШИМ “PWM (Pulse Width Modulation)”.

PWM-контролери працюють, змінюючи ширину імпульсів з напруги сонячної панелі, що дозволяє зменшити вихідну напругу та зберегти електричну енергію. Вони є простішими та дешевшими у порівнянні з MPPT-контролерами, але менш ефективними при роботі з сонячними панелями великої потужності.

MPPT-контролери, натомість, використовують складні алгоритми для відстеження точки максимальної потужності сонячних панелей. Це дозволяє отримувати більше електричної енергії при роботі з великими панелями та в умовах незначної освітленості. MPPT-контролери є більш ефективними, але коштують дорожче у порівнянні з PWM-контролерами.



Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд PWM сонячного контролера заряду.



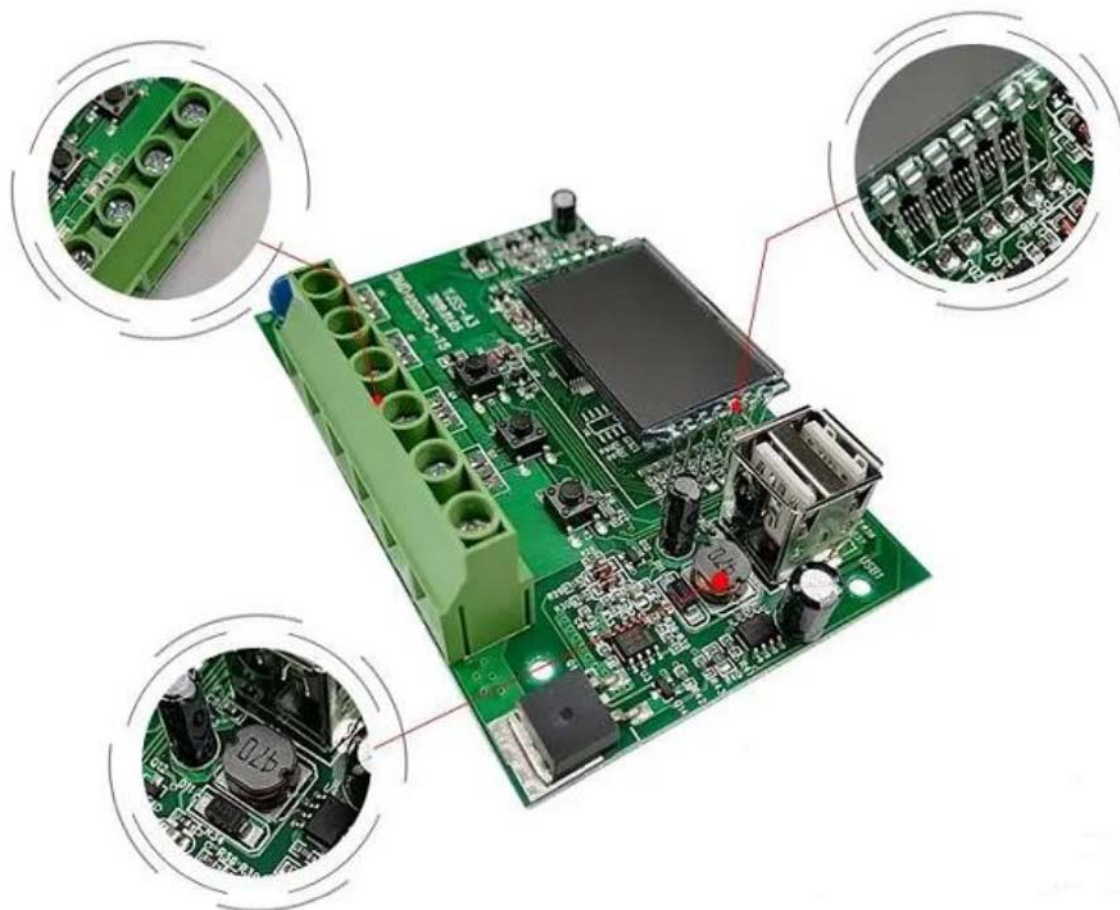


Рисунок 2.4 - Плата PWM сонячного контролера заряду

Плата PWM сонячного контролера заряду легка, не містить потужних індуктивних котушок (рис. 2.4).

Плата MPPT сонячного контролера (рис. 2.6) заряду містить габаритні котушки індуктивності “Copper Coil Transformer”, тож такий контролер має більшу вагу за PWM.

PWM сонячний контролер заряду по суті зрізає параметри сонячної батареї і не вміє перетворювати і збільшувати напругу, тому й застосовується такий тип контролера в малопотужних системах, де стандарт напруги сонячного поля такий же, як і стандарт напруги акумулятора. З переваг - невисока ціна контролера.

MPPT сонячний контролер вміє перетворювати напругу сонячних батарей в більшу чи меншу завдяки тому, що в схемі реалізовано перетворення постійного струму в постійний необхідних значень (DC to DC).



Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд MPPT сонячного контролера заряду.



Рисунок 2.6 - MPPT сонячного контролера заряду

Так як є можливість перетворення параметрів сонячної батареї в оптимальні значення, то досягається й більший ККД і при певних обставинах збільшення зняття електроенергії з сонячної батареї на 30%. Підійде для будь-яких стандартів сонячної батареї та акумулятора. З мінусів - висока ціна.

Сонячні контролери заряду можуть бути вбудовані та звичайні (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 - Вбудовані та звичайні сонячні контролери заряду

На рис. 2.7 показано вигляд вбудованого сонячного контролеру заряду в інвертор. По суті ми бачимо в одній частині інвертор, в який вбудовано сонячний контролер заряду, а в іншій - термінали підключення до інвертору і контролера.

Що вбудований, що й звичайний контролери заряду можуть мати однакові параметри і не мати відмінностей, але зазвичай вбудований контролер вже має інтеграцію з інвертором, що надає можливість більшої гнучкості в автоматизації режимів роботи.

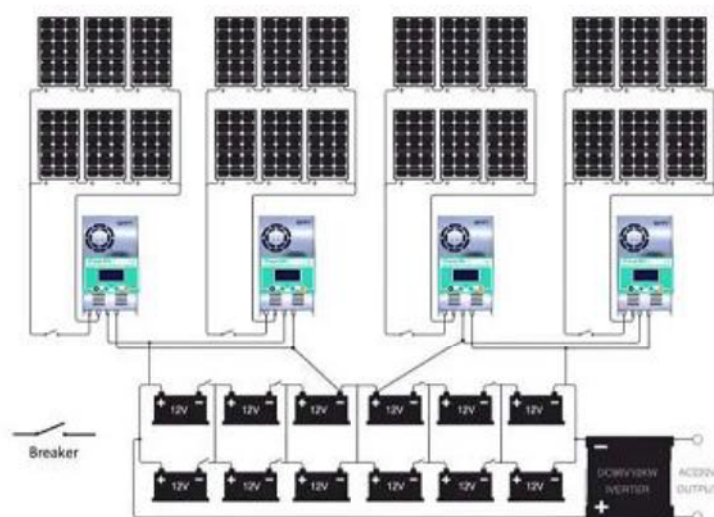
### 2.3 Параметри сонячного контролера заряду

Розглянемо параметри контролеру Tracer 4210AN. Звичайно параметри контролера можна знайти в інструкції “manual” чи в паспорті “datasheet” (рис. 2.8).



| Item  | Tracer 1206AN                        | Tracer 2206AN        | Tracer 1210AN                         | Tracer 2210AN        | Tracer 3210AN        | Tracer 4210AN         |
|---|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| System nominal voltage                          | 12/24VDC <sup>①</sup> Auto           |                      |                                       |                      |                      |                       |
| Rated charge current                            | 10A                                  | 20A                  | 10A                                   | 20A                  | 30A                  | 40A                   |
| Rated discharge current                         | 10A                                  | 20A                  | 10A                                   | 20A                  | 30A                  | 40A                   |
| Battery voltage range                           | 8~32V                                |                      |                                       |                      |                      |                       |
| Max. PV open circuit voltage                    | 60V <sup>②</sup><br>46V <sup>③</sup> |                      | 100V <sup>②</sup><br>92V <sup>③</sup> |                      |                      |                       |
| MPP voltage range                               | (Battery voltage +2V)~<br>36V        |                      | (Battery voltage +2V)~<br>72V         |                      |                      |                       |
| Max. PV input power                             | 130W/12V<br>260W/24V                 | 260W/12V<br>520W/24V | 130W/12V<br>260W/24V                  | 260W/12V<br>520W/24V | 390W/12V<br>780W/24V | 520W/12V<br>1040W/24V |
| Self-consumption                                | ≤12mA                                |                      |                                       |                      |                      |                       |
| Discharge circuit voltage drop                  | ≤0.23V                               |                      |                                       |                      |                      |                       |
| Temperature compensate coefficient <sup>④</sup> | -3mV/°C/2V (Default)                 |                      |                                       |                      |                      |                       |
| Grounding                                       | Common negative                      |                      |                                       |                      |                      |                       |
| RS485 interface                                 | 5VDC/100mA                           |                      |                                       |                      |                      |                       |
| LCD backlight time                              | 60S (Default)                        |                      |                                       |                      |                      |                       |

Рисунок 2.8 – Параметри контролера



you can Put two pieces 40A in parallel , So total is MPPT 80A  
 Put two pieces 50A in parallel ,So total is MPPT 100A  
 Put two pieces 60A in parallel ,So total is MPPT 120A

Рисунок 2.9 - Можливість роботи сонячного контролера паралельно

У більшості випадків сонячні контролери не вмiють працювати в паралелі, якщо iнше не вказано в iнструкції, але є контролери (наприклад, RowMr MPPT-60A), які можуть працювати в паралелі при умові, що під'єднані до кожного контролеру однакові сонячні батареї, однакові налаштування контролерів, одна група АКБ, та однакові кабелі [1].

## 2.4 Інвертори для сонячних станцій

Інвертор - це електронний прилад, що перетворює постійний струм DC на змінний струм AC. В нашому випадку постійний струм із сонячної батареї чи акумулятора перетворюється в змінний струм з параметрами міської мережі [1].

Інвертор перетворює (інвертує) постійний струм DC в змінний струм AC певної частоти (для побутових приладів 50 Гц) з правильною (чистою) чи модифікованою синусоїдою (рис. 2.10).

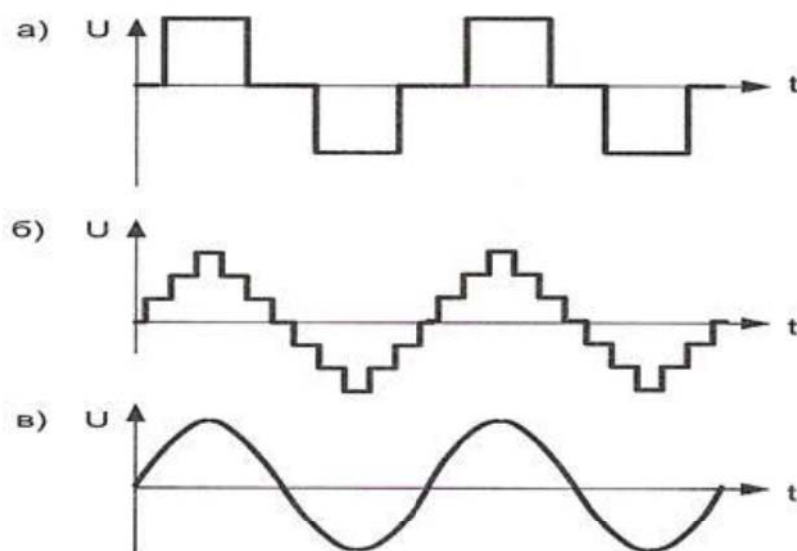


Рисунок 2.10 – Типи вихідної напруги

На графіку, рис. 2.10,в) нанесено правильну (чисту, точну) синусоїду. Правильна синусоїда - це сигнал, який математично описується функцією



синуса і має гладку періодичну форму. Її графік подібний до хвилі, яка постійно повторюється з однаковим періодом, амплітудою та фазою.

На графіках, рис. 2.10 а) та б) нанесено модифіковані синусоїди, які мають різні відхилення в порівнянні з правильною синусоїдою. Модифікована синусоїда (Modified sine wave) - це вид струму, що має форму, яка нагадує синусоїду, але має меншу точність і нерівномірний перехід між положеннями вершин та нулів. Її можна отримати з використанням набору прямокутних сигналів, які складаються з різних частот і амплітуд.

Так як для побутових приладів у більшості випадків потрібна правильна синусоїда, то будемо розглядати далі тільки інвертори з правильною синусоїдою.

Інвертори ділять на такі типи:

- Інтерактивне OFF-line джерело безперебійного живлення (ДБЖ, UPS)
- складається в одному корпусі з інвертора, інколи стабілізатора напруги міської мережі (AVR), шнура з вишкою “вхід” від міської мережі (AC in), виходу “розетка” навантаження (AC out), кабелів входу від аккумулятора (Battery in) для ДБЖ з виносним АКБ, зарядного пристрою від мережі.



Рисунок 2.11 - Інтерактивне OFF-line джерело безперебійного живлення

Існують також, крім OFF-line ДБЖ, ще й ON-line ДБЖ чи ДБЖ з подвійним перетворенням з різницею в тому, що при зникненні міської мережі OFF-line ДБЖ перемикається на роботу від АКБ за 20 мс а ON-line ДБЖ за 0 мс, що важливо для деякої чутливої техніки.

Окремо також застосовуються ДБЖ з вбудованим АКБ невеликої ємності, якої достатньо для живлення навантаження малого проміжку часу 5...15 хвилин, щоб встигнути коректно завершити роботу комп'ютера, станка та подібного. Такі ДБЖ в більшості випадків мають модифіковану синусоїду, тому не будемо їх розглядати детально.

Автономний OFF-line Інвертор для сонячних батарей (ДБЖ для сонячних батарей) складається з інвертора, зарядного пристрою від мережі, сонячного зарядного контролеру PWM чи MPPT (один вхід чи більше), входу акумулятора, входу міської мережі AC in (один чи декілька), виходу на навантаження AC out (один чи більше), різних портів обміну даними.

Існують також і ON-line версії таких інверторів, але часто технологія застосовується псевдо онлайн.

Мережевий інвертор (grid tie, online) складається з інвертора, сонячного контролеру MPPT (одного або декількох), блоку синхронізації з міською мережею. До такого інвертора не можна підключити акумулятор.



Рисунок 2.12 - Мережевий інвертор

### Застосування:

Генерація в міську мережу енергії на продаж.

При підключення спеціального обмежувача генерації більшість моделей може жити домашні споживачі при підключеній міській мережі.

При великому тарифі, наприклад, для компаній зменшує витрати на електроенергію при підключенні обмежувача генерації.

При обмеженні максимальної потужності споживання об'єкта з мережі може збільшити потужність для власного споживання (потрібен обмежувач генерації)

З недоліків такого інвертора головний - інвертор перестає працювати при зникненні міської мережі та відсутність можливості підключити акумулятор.

Дана модель може працювати ще й при необхідності без акумулятора, маючи доступ електроенергії з сонячних батарей.

Rated output power 6000W - номінальна потужність інвертора складає 6000 Вт або 6 кВт.

Max. PV Power 6000W - максимальна загальна потужність сонячних батарей 6000 Вт.

Max. PV Array Open Circuit Voltage 500VDC - максимальна напруга холостого ходу сонячного поля 500 В. Тобто від сонячного поля в жодному разі не повинна приходити на інвертор (а саме на вхід MPPT) напруга вище 500 В.

PV Input Voltage Range 120VDC-500VDC - діапазон вхідної напруги від сонячного поля 120-500 В.

MPPT Range Operating Voltage 120VDC-430VDC - вказує на діапазон робочої напруги 120-430 В, в межах якого MPPT-система здатна відстежувати максимальну потужність.

Max. PV Array Short Circuit Current 27A - максимальний струм з сонячного поля 27А, при якому інвертор буде розуміти що сталося коротке замикання. Тобто струм від сонячного поля не повинен перевищувати 27А.



Number of MPP Tracker 1 - кількість трекерів MPP складає один. Вказує, що до інвертора можна підключити тільки одне сонячне поле, в якому всі сонячні панелі одних параметрів та однієї моделі.

Nominal Output Voltage 220/230/240 VAC - вихідна напруга 220/230/240 В змінного струму.

Feed-in -Grid Voltage Range - напруга міської мережі, при якій інвертор може генерувати в мережу.

## 2.5 Аналіз аналогічних рішень

Одним із таких пристроїв є гібридний інвертор LuxPower SNA5000 Wide PV, вартістю 26400грн. Гібрид на 5000 Вт з вбудованим WiFi і окремим входом від резервного генератора. Вміє працювати як з АКБ, так і без АКБ. Дистанційне керування генератором. Інвертор може працювати і зарядний за таймером (крок погодинно і щохвилини) [2].



Рисунок 2.13 - Гібридний інвертор LuxPower SNA5000 Wide PV

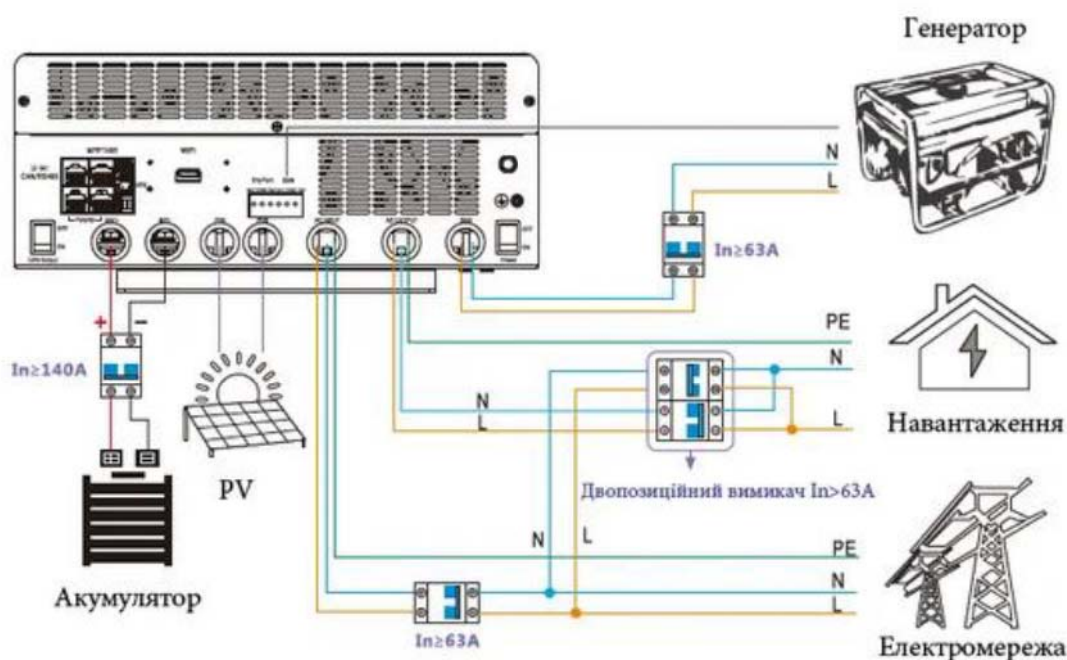


Рисунок 2.14 – Структура сонячної системи на основі гібридного інвертору

Особливості:

Потужність – 5000 Вт. Пускова 10000 кВА.

Напруга - 220 В (170...280 В).

Перемикання – 10 мс.

Вбудований Wi-Fi.

Вхід АКБ – 48 В (51.2 В). Заряд від мережі до 60 А. Підтримка кислотних та літій залізо фосфатних АКБ Pylontech, BYD та інші. Спількування з BMS АКБ CANRS485.

Максимальний струм заряду 110А (60А мережа+50А сонце).

2 MPPT, по 13 А кожен трекер, хол. напярж. 480 В, 100...385 В робоче напярження, потужність панелей на трекер до 3.2 кВт. Заряд 50А від сонця.

Окремий вхід резервного генератора.

Робота паралельно – на одну фазу до 50 кВт, на три фази до 45 кВт.

Підмішування електроенергії.

ККД – 93%.

Виконання – IP20.

Власне споживання без навантаження – 60 Вт.

Температурний режим – 0...+50 градусів.

Розміри – 330 x 504 x 135 мм, вага 14.5 кг.

Наступним аналогічним за функціями є гібридний інвертор 2E XM INFINI 6000VA (2-АС). Гібридна версія 6-кіловатного інвертора з перетворювачем MPPT, 48-вольтовим номіналом акумуляторної батареї та струмом заряду до 120 Ампер. Доступна потужність від сонячного масиву - до 6 кіловат. Вартість – 31900грн [3].

Характеристики:

6 кВт – номінал потужності.

1 – MPPT-трекер.

0,95 – максимум ефективності перетворення.

500 В - максимум відкритого кола фотоелектричної матриці.

120...430 В - напруга MPPT.

27 А - струм к. з. фотоелектричні матриці.

220/230/240 В – напруга виходу.

26 А - номінал вихідного струму.

12 кг – маса.

14 – глибина, 29,5 – ширина, 46,8 – висота (см).

| MODEL                                 | 6KW TWIN   |
|---------------------------------------|--|
| RATED OUPUT POWER                     | 6000W  |
| <b>PV INPUT (DC)</b>                  |  |
| Max. PV Power                         | 6000W  |
| Max. PV Array (Open Circuit Voltage   | 500 VDC  |
| PV Input Voltage Range                | 120 VDC-500 VDC  |
| MPPT Range @ (Operating Voltage       | 120 VDC-430 VDC  |
| Max. PV Array Short Circuit Current   | 27A  |
| Number of MPP Tracker                 | 1  |
| <b>GRID-TIE OPERATION</b>             |  |
| <b>GRID OUTPUT (AC)</b>               |  |
| Nominal (Output Voltage               | 220/230/240 VAC  |
| Feed-in Grid Voltage Range            | 195.5~253 VAC (©India regulation<br>184 ~ 264.5 VAC (©Germany regulation<br>184 264.5 VAC (©South America regulation |
| Feed-in Grid Frequency Range          | 49~51Hz (©India regulation 47.5^51.5Hz (©Germany regulation 57~62Hz<br>(©South America                               |
| Nominal (Output Current               | 26A  |
| Power Factor Range                    | >0.99  |
| Maximum Conversion Efficiency (DC/AC) | 95%  |
| <b>OFF-GRID, HYBRID OPERATION</b>     |  |

| <b>GRID INPUT</b>                    |  |
|--------------------------------------|--|
| Acceptable Input Voltage Range       | 90 - 280 VAC or 170 - 280 VAC  |
| Frequency Range                      | 50 Hz/60 Hz (Auto sensing)   |
| Transfer Time                        | < 10ms (For UPS)<br>< 20ms (For Home Appliances) < 50ms (For parallel operation) |
| Rating of AC Transfer Relay          | 40 A   |
| <b>BATTERY MODE OUTPUT (AC)</b>      |  |
| Nominal Output Voltage               | 220/230/240 VAC  |
| Output Waveform                      | Pure Sine Wave   |
| Efficiency (DC to AC)                | 93%  |
| <b>BATTERY &amp; CHARGER</b>         |  |
| Nominal DC Voltage                   | 48 VDC   |
| Maximum Charging Current (from Grid) | 120A   |
| Maximum Charging Current (from PV)   | 120A   |
| Maximum Charging Current             | 120A   |
| <b>GENERAL</b>                       |  |
| Dimension, D X W X H (mm)            | 140 x 295 x 468  |
| Net Weight (kgs)                     | 12   |
| <b>INTERFACE</b>                     |  |
| Parallel-able                        | Yes  |
| External Safety Box (optional)       | Yes  |
| Communication                        | RS232/Dry-Contact/WiFi   |
| <b>ENVIRONMENT</b>                   |  |
| Humidity                             | 0 ~ 90% RH (No condensing)   |
| Operating Temperature                | -10°C to 50°C  |

Аналізуючи вартість аналогічних за функціоналом пристроїв робимо висновок про середню ціну біля 30000 грн, на яку будемо орієнтуватись в процесі розробки.



### 3 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ІНВЕРТОРА

Автоматизація інтелектуальної діяльності у схемотехніці електронних систем можлива на базі комп'ютерного проектування схем за системою САД (Computer Aided Design) – в українському варіанті: САПР (система автоматизованого проектування), або АСхП (автоматизоване схемотехнічне проектування). Остання назва найбільш детально відображає суть процесів схемотехніки електронних систем, а саме аналізу та синтезу за допомогою персональних комп'ютерів – комп'ютерне схемотехнічне проектування (КСП).

Математичне моделювання, також як в інформаційній мікроелектроніці, стає найважливішим інструментом на всіх етапах проектування та виробництва як самих приладів, так і силових пристроїв на їх основі. Ускладнення сучасних пристроїв та приладів електронної техніки вимагає автоматизації схемотехнічного проектування, що у свою чергу сприяє розвитку математичного забезпечення систем автоматизованого схемотехнічного проектування (АСхП), до складу яких входять бібліотеки математичних моделей елементів, методи формування математичних моделей схем (ММС) та чисельні методи розв'язання рівнянь, якими описуються ММС.

Програм для проведення математичного моделювання дуже велика кількість, серед них звертає на себе увагу програма Micro-Cap 12 [4].

Програма Micro-Cap 12 вільно розповсюджується. Вона дозволяє проводити аналіз електронних пристроїв в режимах постійного струму та перехідних процесів на професійному рівні.

Для моделювання будемо використовувати модель силової частини, яка показана на рис. 3.1. Результати моделювання показані на рис. 3.2 – 3.5.

Інвертор складається з силової частини та системи управління. В даному випадку використовується генератор ШІМ з синусоїдальною огібіючою, що дозволяє на виході отримувати відповідну форму напруги використовую-



чи при цьому високочастотний трансформатор. В якості навантаження та еквівалента первинній обмотці використовується резистор R17.

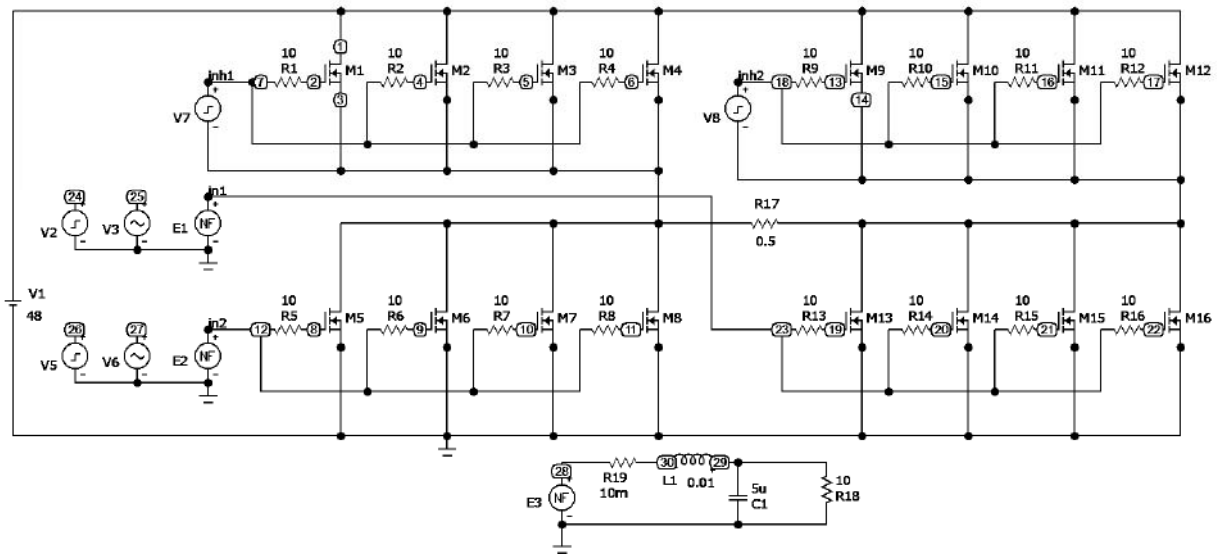


Рисунок 3.1 — Схема для моделювання

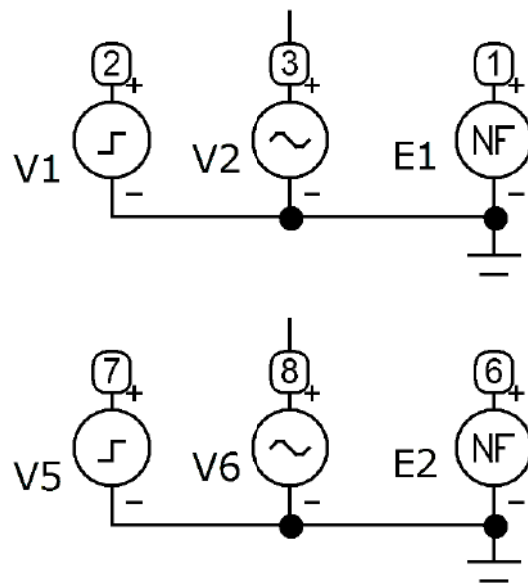


Рисунок 3.2 — Модель генератора ШІМ для верхніх та нижніх ключів

Налаштування в програмі MC12, які дозволяють отримати наведені результати, показано на рис. 3.3.

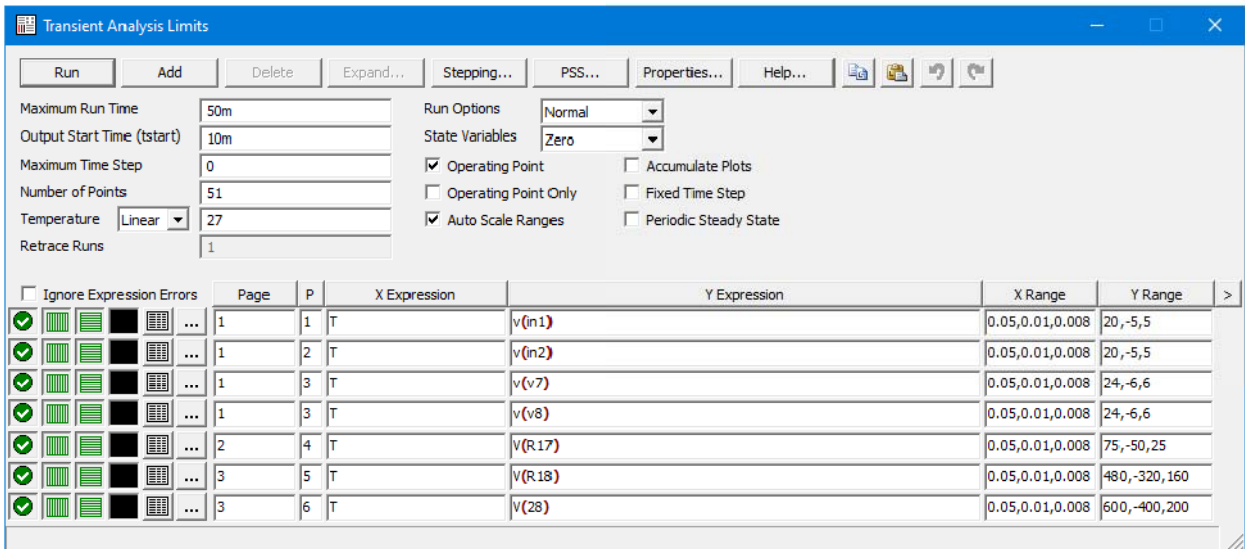


Рисунок 3.3 — Вікно налаштувань аналізу перехідних процесів

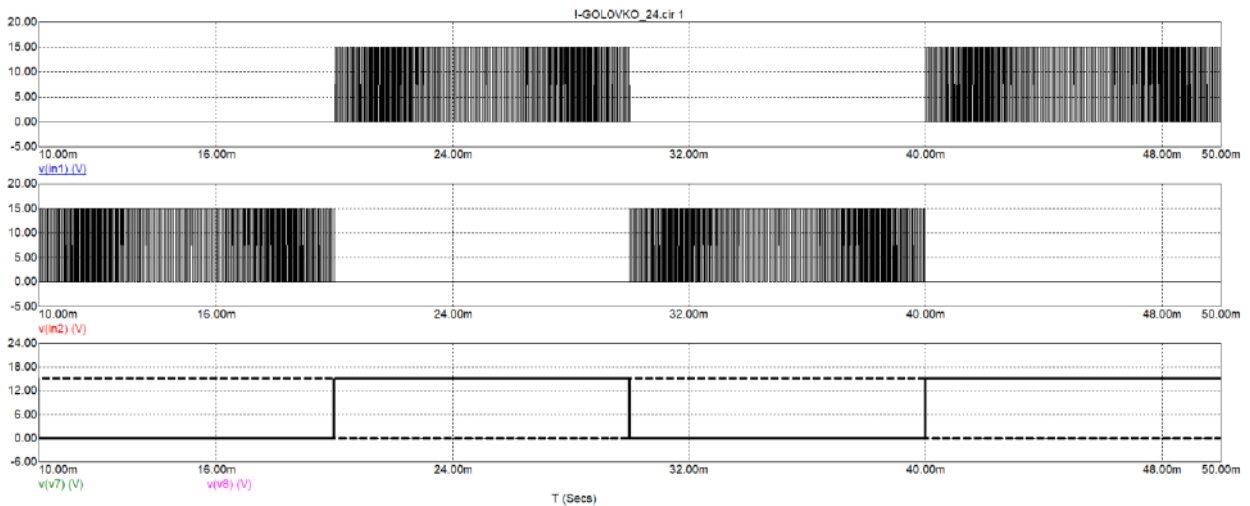


Рисунок 3.4 — Результати моделювання ШІМ генераторів на входах ключів

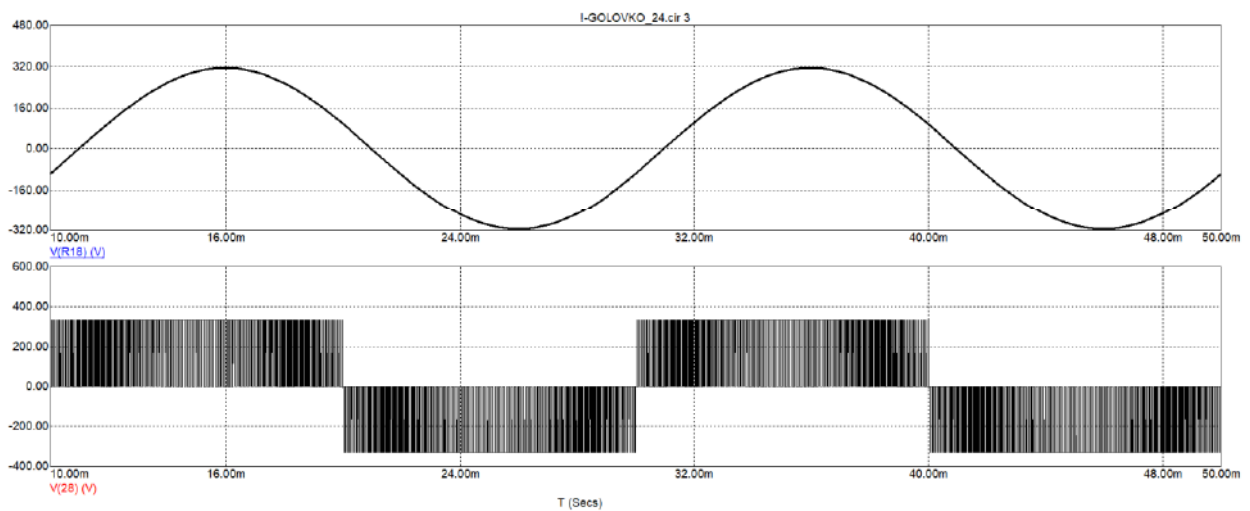


Рисунок 3.5 — Графіки вихідної напруги після фільтру та до нього

Результати моделювання показали правильність розробленої схеми та дали можливість оцінити режими роботи потужних транзисторів при різному навантаженні.

Вихідний синусоїдальний сигнал в умовах моделювання не має видимих спотворень, що дає змогу підключати до такого інвертору навантаження яке критично відноситься до форми вхідної напруги. К такому навантаженню відноситься трансформатори, двигуни компресорів та насоси автономного опалення.

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Конструкція сонячного інвертора в основі котрого 16 MOSFET ключів, повинна включати систему охолодження алюмінієвого радіатора на якому вони встановлені. Основним елементом приладу є основа з елементами кріплення, на яких розташовані трансформатор, силовий модуль (радіатор з транзисторами), плата та інші складові. На іншій платі закріплений кронштейн, на якому встановлені сполучні, комутуючі і запобіжні елементи. Передня панель приладу кріпиться до шасі чотирма гвинтами М4. На боковій панелі встановлені вінтові колодки для підключення акумуляторів та зовнішніх розеток для навантаження.

### 4.1 Технологія виготовлення та збірки плати друкованої

Друкована плата представляє собою плоску ізоляційну основу, на одній або двох сторонах якої розташовані струмопровідні смужки металу (провідники) у відповідності до логіки роботи електричної схеми.

Суть друкованого монтажу полягає у тому, що тонкі електропровідні покриття виконують функції монтажних проводів між елементами схеми – резисторами, конденсаторами, котушками індуктивності, контактними деталями і т. ін. Нижче приведені основні терміни, які використовуються при розробленні відповідних креслень друкованих плат і друкованих блоків [5].

Друкований провідник – це ділянка струмопровідного покриття, нанесеного на ізоляційну основу, що виконує функції звичайного монтажного проводу.

Друкований монтаж – це система друкованих провідників, що забезпечують електричне з'єднання елементів схеми.

Друкована плата – це ізоляційна основа з нанесеним на неї друкованим монтажем.

Навісні елементи – це об'ємні електро- і радіоелементи, що встановлені



і закріплені на друкованій платі способом пайки і мають електричний контакт із друкованими провідниками.

Контактна площадка – це металізована ділянка навколо монтажного отвору, яка має електричний контакт із друкованим провідником і забезпечує електричне з'єднання навісних елементів схеми з друкованим монтажем.

Координатна сітка – це сітка, що наноситься на креслення плати і використовується для конкретизації положення монтажних отворів, друкованих провідників і інших елементів на платі.

Крок координатної сітки – це відстань між сусідніми лініями координатної сітки. Крок координатної сітки повинний бути кратним 0.625 мм (0.625, 1.25, 1.875, 2.5 і т.д.).

Вузол координатної сітки – це точка перетину ліній координатної сітки.

Вільні місця – це ділянки друкованої плати, де при розміщенні провідників можуть бути витримані рекомендовані значення ширини провідників і відстані між провідниками і контактними площадками.

Вузькі місця – це ділянки друкованої плати, де при розміщенні провідників ширина провідників, відстані між ними і контактними площадками виконуються меншими від рекомендованих (аж до мінімально припустимих).

Друкований блок – це друкована плата з друкованою схемою, навісними елементами й іншими деталями, що пройшла всі стадії виготовлення.

Друковані плати служать для монтажу на них електрорадіоелементів (ЕРЕ) за допомогою напівавтоматичних і автоматичних установок із наступним одночасним паянням усіх ЕРЕ зануренням у розплавлений припій або на хвилі рідкого припою. Отвори на платі, в які вставляються виводи електрорадіоелементів при монтажі, називають монтажними. Металізовані отвори, що служать для з'єднання провідників, розташованих на обох сторонах плати, називають перехідними.

Застосування друкованих плат дозволяє полегшити налаштування апаратури і виключити можливість помилок при її монтажі, тому що розташування провідників і монтажних отворів однакове на всіх платах даної схеми.

Використання друкованих плат зумовлює також можливість зменшення габаритних розмірів апаратури, поліпшення умов відводу тепла, зниження металоемності апаратури і забезпечує інші конструктивно-технологічні переваги в порівнянні з об'ємним монтажем.

До друкованих плат пред'являється ряд вимог по точності розташування провідного малюнка, по величині опору ізоляції діелектрика, та ін. (ГОСТ 23752-79). Однією з основних вимог є забезпечення спроможності до паяння, що досягається відповідним вибором гальванічного покриття і технологією металізації, тому у виробництві друкованих плат особлива увага приділяється хіміко-гальванічним процесам.

Виготовлення друкованих плат (ГОСТ 20406-75) здійснюється хімічним, електрохімічним або комбінованим методами. Останнім часом одержали поширення нові методи виготовлення плат – аддитивні. Нижче подана коротка характеристика кожного з методів.

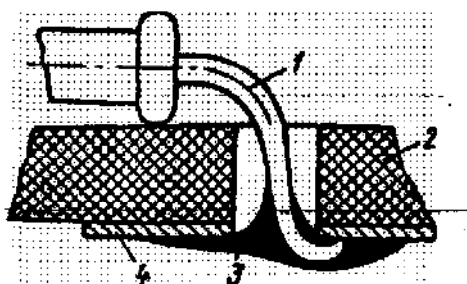
Вихідним матеріалом при *хімічному методі* виготовлення друкованих плат служить фольгований діелектрик, тобто ізоляційний матеріал, як правило склотекстоліт, на поверхню якого з однієї або двох сторін наклеєна мідна фольга товщиною 35-50 мкм.

На поверхню мідної фольги спочатку наноситься захисний рисунок (рельєф) таким чином, щоб він захистив провідники при витравлюванні міді. Захисний рисунок схеми виконується стійкими до впливу травильних розчинів матеріалами. Потім виконується операція травлення, у результаті якої цілком витравлюється мідь і утворюється провідний рисунок. Такий метод отримав назву *субтрактивного*.

Отвори для установки виводів електрорадіоелементів просвердлюються або штампуються після витравлювання міді і не металізуються. Пайка виводів електрорадіоелементів здійснюється безпосередньо до контактних площадок друкованих провідників, як показано на рис. 4.1. Хімічний метод застосовується, головним чином, у виробництві плат радіоапаратури широкого вжитку.

Електрохімічний метод називається напіваддитивним від латинського слова «additio» (додавання), тому що провідний рисунок створюється в результаті електрохімічного осідання металу, а не його витравлювання. Прислівник «напів» означає, що в технології виготовлення збережена, операція травлення тонкого прошарку металу, який утвориться по всій поверхні плати при хімічній металізації.

Вихідними матеріалами при застосуванні цього методу служать нефольговані діелектрики (гетинакс, склотекстоліт). Захисний рисунок, на відміну від попереднього методу, створюють таким чином, щоб відкритими залишилися ті ділянки поверхні, які підлягають металізації з метою утворення провідникових елементів схеми.



1 - провідниковий вивід, 2 - діелектрик, 3 - припій, 4 - контактна площадка

Рисунок 4.1 - Пайка виводів електрорадіоелементів  
на односторонню друковану плату

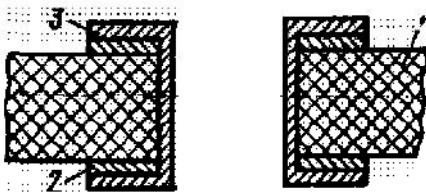
Електрохімічний метод передбачає одержання металізованих отворів одночасно з провідниками і контактними площадками.

Комбінований метод представляє собою поєднання перших двох методів. Вихідним матеріалом при цьому методі служить фольгований із двох сторін діелектрик, тому основний рисунок одержують витравленням міді, а металізація отворів здійснюється за допомогою хімічного міднення з наступним електрохімічним нарощуванням прошарку міді. Пайка виводів електрорадіоелементів проводиться за допомогою заповнення припоєм монтажних отворів у платі. На рис. 4.2 показана структура плати, що виготовлена комбі-



нованим методом.

Комбінований метод у даний час є основним у виробництві двосторонніх і багатошарових друкованих плат для апаратури найрізноманітнішого призначення.



1 - діелектрик, 2 - мідна фольга, 3 - металевий прошарок

Рисунок 4.2 - Структура друкованої плати,  
виготовленої комбінованим методом

Адитивний метод полягає в створенні основного рисунка за допомогою металізації достатньо товстим прошарком хімічної міді (25-35 мкм), що дозволяє виключити застосування гальванічних операцій і операції травлення. Вихідним матеріалом, при цьому, служить нефольгований діелектрик. Виключення вищевказаних операцій дозволяє істотно зменшити ширину провідників і зазори між ними, що, у свою чергу, забезпечує можливість збільшення густину монтажу на платах. Крім того, застосування цього методу сприяє зниженню вартості плат на 15-20 %, а також витрат хімікатів, скороченню виробничих площ і складу обладнання [5].

## 4.2 Заходи з охорони праці

### 4.2.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виробництві сонячного інвертору.



При розробці, проектуванні й виробництві інверторів для сонячних електростанцій присутні наступні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- підвищений рівень шуму на робочому, що виникає від установки штучної вентиляції, паяльної станції та роботи комп'ютеру;
- погана освітленість робочої зони;
- пил, та мікрочастинки склотекстоліту, які з'являються під час механічної обробки друкованої плати;
- підвищена температура при роботі з паяльниками та паяльними станціями;
- небезпека ураження електричним струмом;
- вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин, які утворюються під час пайки;
- пари етилового спирту, які виникає в повітрі під час промивання друкованої плати;
- вплив електромагнітних та електростатичних полів від моніторів ПК.

Відповідно до складального креслення в якості припою використовується олов'яно-свинцевий припій, а як флюс використовується безкислотний флюс. Для видалення залишків флюсу застосовується етиловий спирт.

Свинець є надзвичайно небезпечною речовиною (клас 1), відповідно до [6]. ГДК у повітрі робочої зони  $0,01\text{мг/м}^3$ . Олово є речовиною помірковано небезпечним (клас 3). ГДК у повітрі робочої зони  $10\text{ мг/м}^3$ . Спирт етиловий є мало-небезпечною речовиною (клас 4). ГДК у повітрі робочої зони  $10\text{ мг/ м}^3$ .

При перевищення допустимої концентрації парів свинцю під час проведення паяльних робіт на організм людини приводить до зміни репродуктивної, нервової, серцево-судинної, імунної та ендокринної систем. Сполуки свинцю можуть викликати легке отруєння, отруєння середньої важкості та важке отруєння. При тривалому впливі виникає отруєння свинцем (сатурнізму). Для легкого отруєння характерними є розвиток анемії,

для середньої важкості – токсичний гепатит, свинцева коліка, астеновегетативний синдром, для важкого – енцефалопатія, порушення координації рухів, розлади мови, периферичні нейропатії. Характерними симптомами свинцевої інтоксикації є свинцева кайма по краю ясен, а також «свинцевий колорит» - землисто-сіре забарвлення шкіри. Виникає енцефалопатія, яка характеризується головними болями, розладами сну, епілептичними паралічами, коматозними станами, депресією. Рухові розлади характеризуються поліневритом з переважним ураженням розгиначів кисті та стопи. Розвивається тремор витягнутих рук, посмикування очних яблук, болі в руках і ногах, болючість при пальпації по ходу нервів, погіршення зору. При свинцевій інтоксикації виникає свинцева коліка з тріадою симптомів: різкі переймоподібні болі в животі, підвищення артеріального тиску. Хворих турбують також гарячка, тошнота, блювота, зміни зі сторони серцево-судинної системи – болі в ділянці серця, аритмія, тахікардія, глухі тони, систолічний шум. Для жінок свинець представляє особливу небезпеку, тому що цей елемент має здатність проникати через плаценту і накопичуватися в грудному молоці.

Шум від вентилятора паяльної станції може тимчасово активізувати або постійно пригнічувати психічні процеси в організмі людини. Він не лише погіршує самопочуття людини і знижує продуктивність праці на 1—15%, але нерідко призводить до професійних захворювань [7]. Інтенсивний щоденний, він повільно й незворотно впливає на незахищений орган слуху і призводить до розвитку нейросенсорної приглухуватості.

Робота за ПК, супроводжується підвищенням напруження зору, інтенсивністю і монотонністю праці, збільшенням статичних навантажень, нервово-психічним напруженням, впливом різного виду випромінювань та ін. Внаслідок цього трапляються такі професійні захворювання, як передчасна стомлюваність, погіршення зору, м'язові і головні болі, психічні й нервові розлади, хвороби серцево-судинної системи, онкологічні захворювання та інші.

Приміщення лабораторії знаходиться на п'ятому поверсі панельного будинку. Основні геометричні розміри приміщення, у якому будуть проводитися роботи з проектування плати зарядного пристрою:

- довжина  $a = 10$  м;
- ширина  $b = 6$  м;
- висота  $h = 3,5$  м.

В приміщенні є 5 робочих місця, кожне з яких обладнано робочим столом та місцем для розміщення контрольно-вимірювальних приладів, ПК, паяльної станції. Розміщення робочих місць відповідає нормативам.

Таблиця 4.1 – Оцінка умов праці робочого місця інженера-електроніка

| № | Фактори виробничого середовища та трудового процесу   | Нормати вне значення | Фактичне значення | Характер праці |   |   | Тривалість дії фактора за зміну, % |
|---|---|----------------------|-------------------|----------------|---|---|------------------------------------|
|   |   |                      |                   | 1              | 2 | 3 |                                    |
| 1 | Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> :<br>– пари спирту<br>– свинець та його неорганічні з'єднання              | 0,1...10             | 0,2               | X              |   |   | 10...90                            |
|   |   | 0,01                 | 0,005             | X              |   |   |                                    |
| 2 | Неіонізуюче випромінювання:<br>– радіочастотний діапазон. В/м<br>– діапазон промислової частоти, кВ/м                   | 25                   | 20                |                |   |   | 100                                |
|   |   | 2,5                  | 1,0–1,5           |                |   |   |                                    |
| 3 | Мікроклімату приміщені (т.п.):<br>– швидкість руху повітря, м/с<br>– температура повітря, °С<br>– відносна вологість, % | 0,1                  | 0,1–0,3           |                |   |   | 100<br>100                         |
|   |   | 22–24                | 21–25             | <1<br>°С       |   |   |                                    |
|   |   | 40–60                | 45–60             |                |   |   |                                    |
| 4 | Атмосферний тиск, мм.рт.ст.   | 760                  | 750               |                |   |   | 100                                |
| 5 | Дрібні стереотипні рухи кистями та пальцями рук, кіл. за зміну  | 5000                 | 5000-6000         |                |   |   | 50                                 |
| 6 | Напруженість праці увага  |                      | 80                | >7             |   |   | 80-100                             |



|   |                                    |    |    |               |  |  |     |
|---|------------------------------------|----|----|---------------|--|--|-----|
|   | (тривалість концентрації, %)       |    |    | 5             |  |  |     |
| 7 | Напруженість аналізаторних функцій |    |    | то<br>чн<br>а |  |  | 80  |
| 8 | Шум, дБА                           | 60 | 70 | 10            |  |  | 20% |

4.2.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Працівники, які працюють у лабораторії повинні проходити інструктаж з правил безпеки. Кожен працівник, який влаштовується на роботу повинен пройти протипожежний інструктаж.

Для зниження шуму у лабораторії застосовуються звукоізолювальні кожухи, екрани, стіни, перетинки виготовляють із щільних твердих матеріалів, здатних запобігати розповсюдженню звукових хвиль (метал, пластмаса, бетон, цегла). Звукопоглинаючими матеріалами є поліуретан, мінеральна вата, супертонке скловолокно, пористий бетон, перфоровані гіпсові плити - акмігран та ін., що мають коефіцієнт звукопоглинання  $\alpha > 0,2$ . Звукопоглинаючі та звукоізолюючі матеріали зазвичай використовують разом.

Природне освітлення забезпечується за допомогою площі вікон, яка дорівнює  $2\text{м}^2$ , але повинно доповнюватись штучним. Штучне освітлення у приміщеннях з ПК здійснюється у вигляді комбінованої системи з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовують над робочими місцями у рівномірно-прямокутному порядку. Пульсація люмінесцентних ламп не повинна перевищувати 10%.

Також потрібна наявність аптечки в кабінеті інженерів та конструкторів для забезпечення першої допомоги при отруєнні випаровуваннями, ураженні струмом, сильному опіку та інших факторах небезпечних для людини.

Медичні профілактичні заходи:

- застосування змінного ритму і темпу роботи;
- медичні огляди (попередні та періодичні);



- виконання профілактичних та психологічних вправ.
- раціональне і профілактичне харчування;

Площа робочого місця користувача ПК в лабораторії з ЕПТ-дисплеєм повинна становити не менше 6 м<sup>2</sup>, для ПК з LCD дисплеєм - 4,5 м<sup>2</sup>. У приміщеннях повинна проводитися щоденне вологе прибирання і систематичне провітрювання після кожної години роботи. Шумляче обладнання (друкувальні пристрої, сканери, сервери і тому подібні), рівні шуму якого перевищують нормативні, повинне розміщуватися поза робочих місць співробітників.

Загальні ергономічні вимоги до робочих місць викладено в міждержавних стандартах ГОСТ 12.2.032-78 (під час виконання робіт сидячи) та ГОСТ 12.2.033-78 (під час виконання робіт стоячи).

Робочі столи слід розміщувати таким чином, щоб монітори були орієнтовані бічною стороною до світлових прорізів, щоб природне світло падало переважно зліва. При розміщенні робочих місць відстань між робочими столами повинно бути не менше 2,0 м, а відстань між бічними поверхнями відеомоніторів - не менше 1,2 м.

Конструкція робочого столу повинна забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання, паяльної станції, ПК, вимірювальних пристроїв. Висота робочої поверхні столу повинна бути 725 мм, робоча поверхня стола повинна має ширину 1200 мм і глибину 800 мм. Робочий стіл має простір для ніг висотою 650 мм, шириною - 600 мм, глибиною на рівні колін - 470 мм, на рівні витягнутої ноги - 700 мм. Конструкція робочого стільця або крісла забезпечує підтримку раціональної робочої пози працівника і дозволяти змінювати позу з метою зниження статичного напруження м'язів шийно-плечової області і спини. Робочі стільці є підйомно-поворотними, регульованими по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також відстані спинки від переднього краю сидіння, при цьому регулювання кожного параметра є незалежним, легко здійснюється та має надійну фіксацію. Клавіатури розташовані на поверхні столу на відстані

200 мм від краю, зверненого до користувача, або на спеціальній поверхні, відокремленої від основної стільниці. Екран монітора знаходиться від очей користувача на відстані 600 мм [6].

#### 4.2.3 Виробнича санітарія

Лабораторія обладнана системами центрального опалення, припливно-втяжної вентиляції з механічним спонуканням, кондиціонування повітря. Система вентиляції забезпечує нормативну величину повітрообміну. Також двічі на день проводиться й природня вентиляція через вікна. Згідно Гігієнічної класифікації труда роботи, які виконуються, за ступенем важкості відносяться до категорії Іб – середньої важкості, роботи виконуються сидячи та супроводжуються незначним фізичним навантаженням [7].

Роботи із шкідливими і вибухопожежонебезпечними речовинами при нанесенні припоїв, флюсів, паяльних паст, сполучних і розчинників повинні проводитися при діючій загальнообмінної та місцевої витяжної вентиляції. Системи місцевих відсмоктувачів повинні включатися до початку робіт і вимикатися після їх закінчення [7, 8, 10].

Умови праці визначаються характером і важкістю роботи, яка виконується, а також параметрами навколишнього виробничого середовища. Плануючи робоче місце, виходять з того, щоб робітник протягом зміни не знижував встановленої продуктивності праці, витрачаючи мінімум фізичних зусиль, був захищений від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Важливе значення мають також робоча поза, темп і ритм виконуваної роботи. Виключаються статичні м'язові напруги і, як наслідок, профзахворювання (викривлення хребта, розширення вен, плоскостопість) при робочій позі, яка забезпечує розташування центру ваги тіла в межах площі опори.

При покиданні робочого місця треба виконувати стандартні засоби гігієни, перед прийманням їжі, або йдучи додому, такі як: миття рук після пайки, розводці плати, або просто після користування ПК.

Штучне освітлення виконується за допомогою люмінесцентних ламп. Прийняті значення освітленості для лабораторії наступні: розряд зорової роботи 3Б, норма освітлення при використанні системи комбінованого — 750 лм [8].

#### 4.2.4 Електробезпека

У лабораторії основне обладнання являє собою електроустановки (персональні комп'ютери, паяльна станція, принтери, система освітлення), які представляють реальну небезпеку ураження електричним струмом. Основне живлення здійснюється від трифазної мережі частотою 50 Гц, напругою 220 В. Електрообладнання лабораторії відноситься до установок напругою до 1000В. Лабораторія відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тому що в ньому відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку (підвищена вологість, температура, струмопровідний пил то що).

Основними технічними способами і засобами захисту від ураження електричним струмом, використовуваними окремо або в поєднанні один з одним, є: захисне заземлення; занулення; електричне розділення мереж; захисне вимкнення; ізоляція струмоведучих частин; сигналізація, ізолюючи захисні та запобіжні застосування [11].

Навіть при розвиненій системі захисних заходів не слід вважати, що вони створюють умови абсолютної безпеки.

У всіх випадках постійно необхідно високоякісне обслуговування електричних установок і періодичний профконтроль, підтримання якісного стану ізоляції, висока дисципліна персоналу і виконання правил безпеки.

На підставі цих правил на підприємстві розробляють систему безпечної експлуатації електричних установок та наказом встановлюють структуру і штат персоналу.



Важливу роль у підвищенні надійності та безпеки роботи з будь-якими електропристроями, чи то паяльник, ПК або просто електрочайник, мають профілактичні випробування, перелік і терміни, проведення яких суворо регламентують.

#### 4.2.5 Пожежна безпека

По категорії приміщень, лабораторія відноситься за пожежною безпекою до категорії Д. В зв'язку з тим, що в лабораторії знаходяться електроприлади по класу пожежі її можна віднести до класу Е. Площа лабораторії складає 50 м<sup>2</sup>.

Згідно норм протипожежної безпеки для даного приміщення рекомендується встановити 2 вогнегасники вуглекислотного типу ОУ-2 [12].

#### Дії при виникненні пожежі

— При виникненні пожежі на енергетичному об'єкті особа, яка першою виявила займання, зобов'язана негайно повідомити начальника відділу (диспетчера або чергового підстанції) до гасіння пожежі засобами пожежогасіння, дотримуючись при цьому правил техніки безпеки.

— особисто або з допомогою чергового персоналу перевірити ввімкнення автоматичної установки пожежогасіння (при її наявності), а у випадку відмови задіяти її в ручному режимі;

— вжити заходів із створення безпечних умов для персоналу і пожежних підрозділів для ліквідації пожежі;

— виділити для зустрічі пожежних підрозділів особу, яка добре знає місця заземлення технічних засобів і розташування під'їзних шляхів та вододжерел;

Під час гасіння пожежі електроустановок під напругою забороняється:

— використання усіх видів піни;

— проводити будь-які відключення та інші операції з електричним обладнанням особовому складу пожежних підрозділів;



— використовувати воду зі змочувачами при подаванні компактних струменів води, як для гасіння, так і для охолодження електрообладнання та будівельних конструкцій;

— наближатися до машин і механізмів, які застосовуються для подачі води (вогнегасних речовин) на електроустановки під напругою, особам, безпосередньо не зайнятим на гасінні пожежі [12].

#### 4.3 Розрахунок захисного заземлення

Розрахунок заземлення проводиться для того щоб визначити опір споруджуваного контуру заземлення при експлуатації, його розміри і форму. Як відомо, контур заземлення складається з вертикальних заземлювачів, горизонтальних заземлювачів і заземлюючого провідника. Вертикальні заземлювачі забиваються в ґрунт на певну глибину.

Горизонтальні заземлювачі з'єднують між собою вертикальні заземлювачі. Заземлювальний провідник з'єднує контур заземлення безпосередньо з електрощитом.

Розміри і кількість цих заземлювачів, відстань між ними, питомий опір ґрунту - всі ці параметри безпосередньо залежать на опір заземлення.

Заземлення служить для зниження напруги дотику до безпечної величини. Завдяки заземленню небезпечний потенціал йде в землю тим самим, захищаючи людину від ураження електричним струмом.

Величина струму стікання в землю залежить від опору заземлюючого контуру. Чим опір буде менше, тим величина небезпечного потенціалу на корпусі пошкодженої електроустановки буде менше.

Заземлювальні пристрої повинні задовольняти покладених на них певним вимогам, а саме величини опір розтікання струмів і розподілу небезпечного потенціалу.

Тому основний розрахунок захисного заземлення зводиться до визначення опору розтікання струму заземлювача. Це опір залежить від розмірів і

кількості заземлюючих провідників, відстані між ними, глибини їх закладення і провідності ґрунту [6].

Вихідні дані для розрахунку заземлення

1. Основні умови, яких необхідно дотримуватися при спорудженні заземлюючих пристроїв це розміри заземлювачів.

Залежно від використовуваного матеріалу (куточок, смуга, кругла сталь) мінімальні розміри заземлювачів повинні бути не менше:

- а) смуга 12x4 - 48 мм<sup>2</sup>;
- б) куточок 4x4;
- в) кругла сталь - 10 мм<sup>2</sup>;
- г) сталева труба (товщина стінки) - 3.5 мм.

Мінімальні розміри арматури застосовуються для монтажу заземлюючих пристроїв

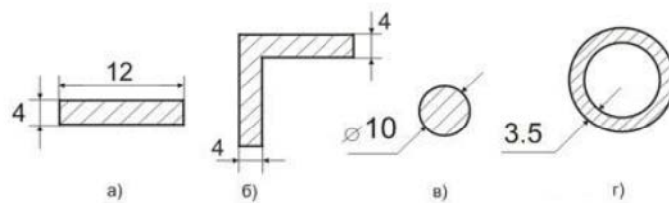


Рисунок 4.3 - Мінімальні розміри арматури

Довжина стрижня, що заземлює повинна бути не менше 1.5 - 2 м.

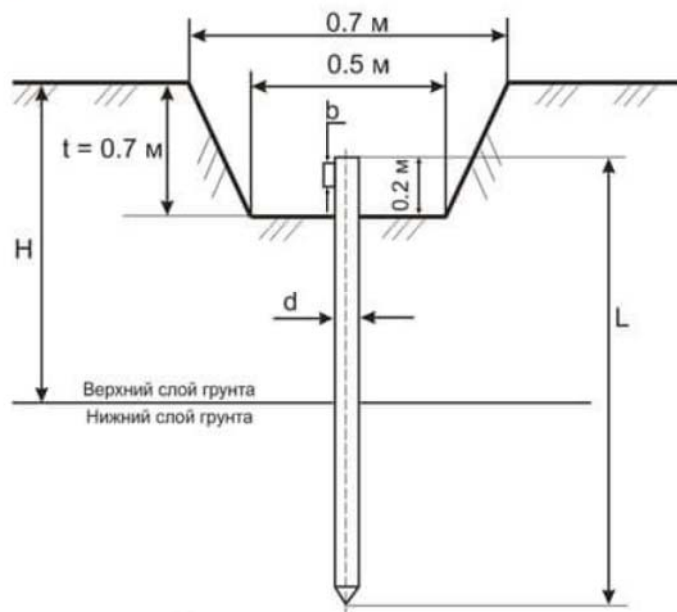


Рисунок 4.4 — Стержень заземлення

Відстані між заземлювальними стержнями береться зі співвідношення їх довжини, тобто:  $a = 1 \times L$ ;  $a = 2 \times L$ ;  $a = 3 \times L$ .

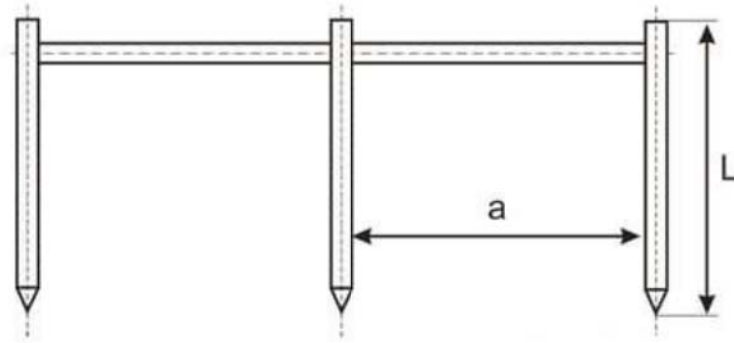


Рисунок 4.5 — Розташування стержнів

Залежно від що дозволяє площі і зручності монтажу заземлення стержні можна розміщувати в ряд, або у вигляді який не будь фігури (трикутник, квадрат і т.п.).

Основною метою розрахунку заземлення є визначити число заземлюючих стержнів і довжину смуги, яка їх з'єднує.

Вихідні дані для розрахунку пристрою заземлення:

- опір заземлювального пристрою розтіканню струму - не більше 4 Ом;
- вид ґрунту - лес;
- кліматична зона - 1;
- розташування вертикальних заземлюючих електродів – по контуру.

Опір розтікання струму одного вертикального заземлювача (стержня):

$$R_0 = \frac{\rho_{ekv}}{2\pi L} \left( \ln \left( \frac{2L}{d} \right) + 0.5 \ln \left( \frac{4T + L}{4T - L} \right) \right)$$

де -  $\rho_{ekv}$  - еквівалентний питомий опір ґрунту, Ом·м;

L - довжина стержня, L=10 м;

d - його діаметр, d=0.01 м;

$T$  - відстань від поверхні землі до середини стрижня, м.

У разі установки заземлювального пристрою в неоднорідний ґрунт (двошаровий), еквівалентний питомий опір ґрунту знаходиться за формулою:

$$\rho_{ekv} = \frac{\psi \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{(\rho_1(L - H + t_g) + \rho_2(H - t_g))}$$

де  $\Psi$  - сезонний кліматичний коефіцієнт = 1,9 (табл. 4.2);

$\rho_1, \rho_2$  - питомий опору верхнього і нижнього шару ґрунту відповідно,  $\rho_1 = \rho_2 = 250 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;

$H$  - товщина верхнього шару ґрунту,  $H = 1 \text{ м}$ ;

$t_g$  - заглиблення вертикального заземлювача (глибина траншеї)  $t_g = 0,7 \text{ м}$ .

Так як питомий опір ґрунту залежить від його вологості, для стабільності опору заземлювача і зменшення на нього впливу кліматичних умов, заземлювач розміщують на глибині не менше 0,7 м.

Заглиблення горизонтального заземлювача можна знайти за формулою:

$$T = \left(\frac{L}{2}\right) + t_g$$

Монтаж і установку заземлення необхідно проводити таким чином, щоб заземлюючий стрижень пронизував верхній шар ґрунту повністю і частково нижній.

Таблиця 4.2 - Значення сезонного кліматичного коефіцієнта опору ґрунту

| Тип заземлюючих електродів                     | кліматична зона       |                  |                  |                  |
|--|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
|  | I                     | II               | III              | IV               |
| Стрижневий (вертикальний)                      | 1.8 ÷ 2               | 1.5 ÷ 1.8        | 1.4 ÷ 1.6        | 1.2 ÷ 1.4        |
| Смуговий (горизонтальний)                      | 4.5 ÷ 7               | 3.5 ÷ 4.5        | 2 ÷ 2.5          | 1.5              |
|  | Кліматичні ознаки зон |                  |                  |                  |
| Середня багаторічна нижча температура (січень) | от -20<br>до +15      | от -14<br>до +10 | от -10<br>до 0   | от 0<br>до +5    |
| Середня багаторічна вища температура (липень)  | от +16<br>до +18      | от +18<br>до +22 | от +22<br>до +24 | от +24<br>до +26 |



$$T = \left(\frac{10}{2}\right) + 0.7 = 5.7$$

$$\rho_{ekv} = \frac{1.9 \cdot 250 \cdot 250 \cdot 10}{(250(10 - 1 + 0.7) + 250(1 - 0.7))} = 475$$

$$R_0 = \frac{475}{6,28 \cdot 10} \left( \ln\left(\frac{2 \cdot 10}{0.01}\right) + 0.5 \ln\left(\frac{4 \cdot 5.7 + 10}{4 \cdot 5.7 - 10}\right) \right) = 61.20 \text{ м}$$

Кількість стрижнів заземлення без урахування опору горизонтального заземлення знаходиться за формулою:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{Rn}$$

$$n_0 = \frac{61.2 \cdot 1.9}{4} = 29.09 \text{ (приймаємо } = 29)$$

Опір розтікання струму для горизонтального заземлювача:

$$R_g = 0.366 \left( \frac{\rho_{ekv} \cdot \psi}{L_g \cdot \eta_g} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot L_g^2}{b \cdot t_g} \right)$$

де  $L_g$ ,  $b$  - довжина і ширина заземлювача,  $L_g=1\text{ м}$ ,  $b=0,2\text{ м}$ ;

$\Psi$  - коефіцієнт сезонності горизонтального заземлювача,  $\Psi=1,9$ ;

$\eta_g$  - коефіцієнт попиту горизонтальних заземлювачів,  $\eta_g=0,24$  [6].

Довжину самого горизонтального заземлювача знайдемо виходячи з кількості заземлювачів:

$$L_g = a \text{ (для контуру).}$$

де  $a$  - відстань між заземлювальними стрижнями.

$$R_g = 0.366 \left( \frac{475 \cdot 1.9}{1 \cdot 0.24} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot 1^2}{0.2 \cdot 0.7} \right) = 3660$$

Визначимо опір вертикального заземлювача з урахуванням опору розтікання струму горизонтальних заземлювачів:

$$R_v = \frac{R_g \cdot R_n}{R_g - R_n}$$

$$R_v = \frac{3660 \cdot 4}{3660 - 4} = 4.004$$

Загальна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_v \cdot \eta_v}$$

де  $\eta_v$  - коефіцієнт попиту вертикальних заземлювачів,  $\eta_v=0,45$ .

$$n = \frac{61.2}{4.004 \cdot 0.45} = 33.97$$

Приймаємо кількість вертикальних заземлювачів для забезпечення заданого опору рівним 34 шт.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень [14].

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій.

### 5.1 Суми витрат по статтям кошторису

5.1.1 Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів базового підприємства на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добуток тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин) [14].

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

В таблиці 5.1 приведений розрахунок заробітної плати розробників технічної документації сонячної енергосистеми потужністю 5 кВт.

Таблиця 5.1 – Розрахунок зарплати розробників технічної документації

| №     | Найменування етапу розробки | Одиниця    | К-ть креслень | Норматив часу на одиницю нормо-годин | Трудомісткість етапу люд-годин | Число виконавців | Тривалість етапу, днів | Денна ставка виконавців | Зарплата за етап, грн. |
|-------|-----------------------------|------------|---------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1     | Схема електрична принципова | Схема ф.А1 | 1             | 1,5                                  | 1,5                            | 1                | 1                      | 521                     | 521                    |
| 2     | Схема електрична структурна | Схема ф.А1 | 1             | 0,2                                  | 0,2                            | 1                | 0,1                    | 450                     | 45                     |
| 3     | Складальне креслення        | ф.А1       | 1             | 10                                   | 10                             | 1                | 2                      | 435                     | 870                    |
| 4     | Креслення друкованої плати  | ф.А1       | 1             | 1,3                                  | 1,3                            | 1                | 0,5                    | 524                     | 262                    |
| 5     | Специфікація                | ф.А4       | 2             | 0,5                                  | 1                              | 1                | 0,125                  | 435                     | 87                     |
| 6     | Розрахунки                  | ф.А4       | 5             | 0,5                                  | 2,5                            | 1                | 1                      | 450                     | 450                    |
| 7     | Пояснювальна записка        | ф.А4       | 70            | 0,2                                  | 14                             | 1                | 20                     | 450                     | 4500                   |
| Разом |                             |            |               |                                      |                                |                  |                        |                         | 6735                   |

5.1.2 Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробовується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку заробітної плати на розробку технічної документації див. табл. 5.1.



При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і підвищені розряди роботи на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 – Зарплата на виготовлення дослідного зразка

| №       | Вид робіт    | Середній розряд робіт | Трудомісткість нормо-годин | Тарифна ставка, грн/год | Зарплата, грн. |
|---------|--------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|----------------|
| 1       | Складальні   | 5                     | 7                          | 60,9                    | 426,3          |
| 2       | Монтажні     | 6                     | 2                          | 55,5                    | 111            |
| 3       | Регулювальні | 5                     | 1                          | 50,7                    | 50,7           |
| Всього: |              |                       |                            |                         | 588            |

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15% цій трудомісткості.

5.1.3 Накладні витрати беруться у розмірі 40...120% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5.1.4 Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 5.3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проєктовану апаратуру.

При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість матеріалів та комплектуючих збільшена на 30%.

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

| №      | Найменування        | Одиниця виміру | К-ть на виріб | Ціна за одиницю | Сума, грн |
|--------|---------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------|
| 1      | Стеклотекстоліт FR4 | м <sup>2</sup> | 0,018         | 2005,45         | 36,1      |
| 2      | ПОС-61              | кг             | 0,1           | 327,50          | 32,75     |
| 3      | Лак                 | л              | 0,02          | 490,30          | 9,8       |
| 4      | Флюс                | л              | 0,08          | 145,00          | 11,6      |
| Разом: |                     |                |               |                 | 90,25     |

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючі вироби

| №      | Найменування   | Кількість | Ціна одиниці | Сума, грн |
|--------|----------------|-----------|--------------|-----------|
| 1      | Драйвер IR2104 | 16        | 74           | 1184      |
| 2      | Конденсатор    | 23        | 5            | 115       |
| 3      | DS18B20        | 4         | 27           | 108       |
| 4      | Роз'єм 150А    | 1         | 615          | 615       |
| 5      | Резистор       | 23        | 0,50         | 11,5      |
| 6      | Датчик струму  | 1         | 100          | 100       |
| 7      | Мікроконтролер | 1         | 250          | 250       |
| 8      | Транзистор     | 16        | 79,2         | 1267,2    |
| 9      | Діод           | 10        | 8            | 80        |
| 10     | Стабілізатор   | 2         | 20           | 40        |
| 11     | Трансформатор  | 1         | 400          | 400       |
| Разом: |                |           |              | 2148,7    |

5.1.5 Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

| № | Стаття витрат                      | Витрати на проєктований виріб, грн. |
|---|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Матеріали                          | 90,25                               |
| 2 | Куповані комплектуючі вироби       | 2148,7                              |
| 3 | Транспортні витрати (5% (п.1+п.2)) | 111,9                               |

|                      |  |         |
|----------------------|--|---------|
| 4                    | Заробітна платня виробничих робочих    | 588     |
| 5                    | Додаткова заробітна плата (10%п.4)     | 58,8    |
| 6                    | Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5)) | 239,3   |
| 7                    | ФЗП                                    |         |
| 8                    | Накладні витрати (120% п.4)            | 705,6   |
| Всього собівартість: |  | 3942,55 |

5.1.6 В таблиці 5.6 приведено розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

| №                         | Стаття витрат   | Сума, грн. |
|---------------------------|---|------------|
| 1                         | Зарплата розробників по всім етапам розробки  | 6735       |
| 2                         | Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1) | 1010,25    |
| 3                         | Разом:  | 7745,25    |
| 4                         | Нарахування на зарплату (37% п.3)   | 2865,7     |
| 5                         | Накладні витрати (120% п.3)   | 9294,3     |
| 6                         | Собівартість дослідного зразка  | 3942,55    |
| 7                         | Інші витрати  | 350        |
| Всього вартість розробки: |   | 24197,8    |

5.1.7 В таблиці 5.7 приведено розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу.

Таблиця 5.7 – Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

| №       | Вид робіт    | Середній розряд робіт | Трудомісткість нормо - год | Тарифна ставка, грн/год | Зарплата, грн |
|---------|--------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|---------------|
| 1       | Складальні   | 4                     | 2                          | 60,9                    | 121,8         |
| 2       | Монтажні     | 5                     | 1                          | 55,5                    | 55,5          |
| 3       | Регулювальні | 5                     | 0,5                        | 50,7                    | 22,35         |
| Всього: |              |                       |                            |                         | 199,65        |

5.1.8 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, враховуючи що комплектуючі та матеріали знижені на 30% по відношенню до таблиць 5.3 та 5.4, зведених в таблицю 5.8.

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

| №              | Стаття витрат                              | Витрати на виріб, грн. |
|----------------|--|------------------------|
| 1              | Матеріали                                  | 90,25                  |
| 2              | Куповані комплектуючі вироби               | 2148,7                 |
| 3              | Транспортні витрати (5% п.1+п.2)           | 111,9                  |
| 4              | Основна заробітна плата виробничих робочих | 199,65                 |
| 5              | Додаткова заробітна плата (10% п.4)        | 19,65                  |
| 6              | Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))     | 81,14                  |
| 7              | Загальновиробничі витрати (100% п.4)       | 199,65                 |
| 8              | Разом собівартість                         | 2850,94                |
| 9              | Прибуток (30% п.8)                         | 855,2                  |
| Ціна виробника |  | 3706,2                 |

## 5.2 Розрахунок терміну окупності розробки

Річний економічний ефект  $\mathcal{E}_Г$  від впровадження нових виробів розраховується по формулі [14]:

$$\mathcal{E}_Г = (\Pi - E_H \cdot K_y) \cdot A_Г, \quad (5.1)$$

де  $\Pi$  – прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.8,  $\Pi=855,2$  грн. );

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ( $E_H=0,15$ );



$K_y$  – питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції;

$A_r$  – річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві.

Визначаємо питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції:

$$K_y = \frac{K}{A_r}, \quad (5.2)$$

де  $K$  – капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.6,  $K = 24197,8$  грн.).

Враховуючи, що річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві складає 100 шт/рік:

$$K_y = 24197,8 / 100 = 241,97$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$\Delta_r = (855,2 - 0,15 * 241,97) * 100 = 81890,5 \text{ грн}$$

Ефективність  $E$  розробки визначається згідно:

$$E = \frac{\Delta_r}{K}, \quad (5.3)$$

$$E = 81890,5 / 24197,8 = 3,38$$

Термін окупності продукції  $T$  рівний зворотній величині ефективності:

$$T = \frac{1}{E}, \quad (5.4)$$

$$T = 1 / 3,38 = 0,29 \text{ року}$$

В таблиці 5.9 приводяться загальні економічні показники розробленого пристрою.

Таблиця 5.9 – Економічні показники

| № | Показники  | Один. виміру | По проектованому виробу |
|---|--|--------------|-------------------------|
| 1 | Витрати на КПП                                   | грн.         | 24197,8                 |
| 2 | Собівартість розробки                            | грн.         | 2850,94                 |
| 3 | Ціна підприємства                                | грн.         | 3706,2                  |
| 4 | Річний обсяг випуску                             | шт.          | 100                     |
| 5 | Річний економічний ефект                         | грн.         | 81890,5                 |
| 6 | Ефективність розробки                            |              | 3,38                    |
| 7 | Термін окупності додаткових капітальних вкладень | років        | 0,29                    |

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки сонячної енергосистеми потужністю 5 кВт для серійного виробництва.

## ВИСНОВКИ

В дипломному проекті проведена розробка структури сучасних сонячних систем, які використовуються для живлення домогосподарств або малих підприємств до 5кВт. Окрім технічного аналізу, було також проведено дослідження ринку продукції провідних виробників таких систем та їх технічних характеристик.

Розроблена схема електрична принципова, проведено математичне моделювання, яке показало коректність прийнятих рішень.

В конструкторсько-технологічному розділі розглянуті питання проектування друкованих плат та технології їх виготовлення за допомогою сучасним систем автоматизованого проектування та технологічних процесів. Також наведено вимоги з електробезпеки при монтажі та експлуатації сонячних систем електроживлення та вимоги з охорони праці для працівників, що виконують монтаж, випробування і вимірювання в електроустановках.

Також проаналізовано економічні показники систем, такі як вартість, продуктивність та потужність, що дозволило здійснити порівняльний аналіз та визначити найбільш ефективні рішення. На основі яких проведено розрахунки для виготовлення в серійному виробництві.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сонячна електроенергія для початківців. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://vipmart.com.ua/ua/a486669-elektronnaya-kniga-solnechnaya.html>
2. Гібридний інвертор. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://vipmart.com.ua/ua/p1496173115-gibridnyj-invertor-luxpower.html>
3. Гібридний інвертор 2Е ХМ INFINI. 6000VA [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://vipmart.com.ua/ua/p1728812525-gibridnyj-invertor-infini.html>
4. Micro-Cap [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.spectrum-soft.com/index.shtm>
5. САІР DipTrace [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://diptrace.com/ua/>
6. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448с., ил.
7. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
8. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение
9. СНиП 2.04.05-92. «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
10. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
11. Правила улаштування електроустановок. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://energy.com.ua/PUE.html>
13. СНиП 2.01.02-85. Протипожежні норми.
14. Попова В.Д. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи – Запоріжжя, 2005,-36с.



КОМПАС-3D v22 Учебная версия © 2023 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

| Формат   |               | Зона | Поз. | Обозначение                     | Наименование   | Кол. | Примечание |  |  |
|----------|---------------|------|------|---------------------------------|--|------|------------|--|--|
| Зона     | Поз.          |      |      |                                 |  |      |            |  |  |
| Справ. № | Перв. примен. | A1   |      | ЕІСПЗ ДП.22080.00.00.00.00.Е1   | Сонячна енергосистема<br>потужністю 5 кВт<br>Схема електрична структурна |      |            |  |  |
|          |               | A1   |      | ЕІСПЗ ДП.22080..00.00.00.00.Е3  | Сонячна енергосистема<br>потужністю 5 кВт<br>Схема електрична принципова |      |            |  |  |
|          |               | A1   |      | ЕІСПЗ ДП.22080.00.00.00.00 Д1   | Сонячна енергосистема<br>потужністю 5 кВт<br>Математичне моделювання     |      |            |  |  |
|          |               | A1   |      | ЕІСПЗ ДП.22080..00.00.00.01     | Сонячна енергосистема<br>потужністю 5 кВт<br>Плата друкована             |      |            |  |  |
|          |               | A1   |      | ЕІСПЗ ДП.22080..00.00.00.00.Д2  | Сонячна енергосистема<br>потужністю 5 кВт<br>Економічні показники        |      |            |  |  |
|          |               | A1   |      | ЕІСПЗ ДП.22080.00.00.00.00.Д3   | Сонячна енергосистема<br>потужністю 5 кВт<br>Охорона праці               |      |            |  |  |
|          |               | A4   |      | ЕІСПЗ ДП.22080..00.00.00.00.ПЗ3 | Сонячна енергосистема<br>потужністю 5 кВт<br>Перелік елементів           |      |            |  |  |
|          |               |      |      |                                 |  |      |            |  |  |
|          |               |      |      |                                 |  |      |            |  |  |
|          |               |      |      |                                 |  |      |            |  |  |

ЕІСПЗ ДП.22080.00.00.00.00

|          |          |         |       |       |
|----------|----------|---------|-------|-------|
| Изм.     | Лист     | № док-м | Подп. | Дата  |
| Разраб.  | Головка  |         |       |       |
| Пров.    | Критська |         |       |       |
| Н.контр. | Туришев  |         |       | 17.06 |
| Утв.     | Критська |         |       | 17.06 |

Сонячна енергосистема  
потужністю 5 кВт

|                           |      |        |
|---------------------------|------|--------|
| Лит.                      | Лист | Листов |
|                           |      | 1      |
| ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ |      |        |
| 6.1710                    |      |        |