

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

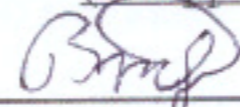
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Оптимізація режимів роботи автономного інвертора сонячної
фотоелектричної установки фермерських господарств»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

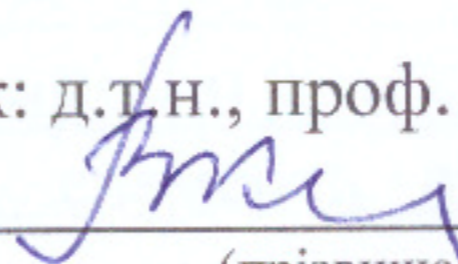
(цифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Владислав ЖУК

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф. кафедри КЕМСК

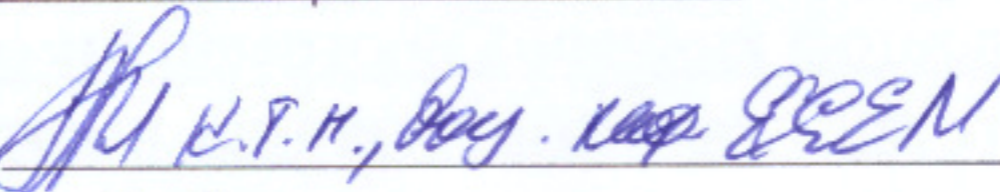


Василь КУТІН

(прізвище та ініціали)

« 21 » 11 2023 р.

Опонент:



Вакунко О.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2023 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри

« 21 » 11 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

Львівський національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Навчально-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“24” 10 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Жук Владислав Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Оптимізація режимів роботи автономного інвертора сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств.

2. **Керівник роботи** Кутін Василь Михайлович, д.т.н., проф. каф. КЕМСК

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

3. Затверджені наказом вищого навчального закладу від “12” 09 2022 року №247

4. **Строк подання студентом роботи** 28.11.2023

5. **Вихідні дані до роботи:** ККД електричний – 0.9, ККД механічний – 0.97, тип системи електропостачання – автономна, елементи системи – СФЕС на базі автономного інвертора напруги.

6. **Зміст текстової частини:** Вступ; 1 Основні характеристики енергетичної ефективності фотоелектричних станцій. 2 Автономні інвертори сонячних фотоелектричних станцій. 3 Розробка принципової електричної схеми автономного інвертора та алгоритм роботи системи керування. 4 Математичне моделювання автономного інвертора сонячної фотоелектричної станції. 5 Економічна частина. 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

7. **Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**

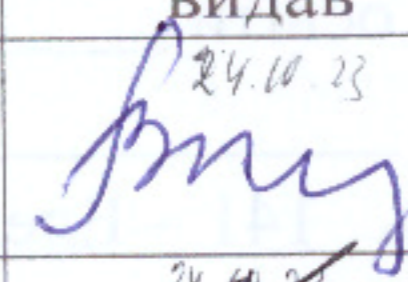
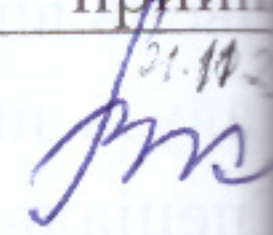
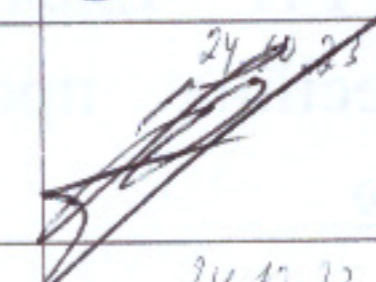

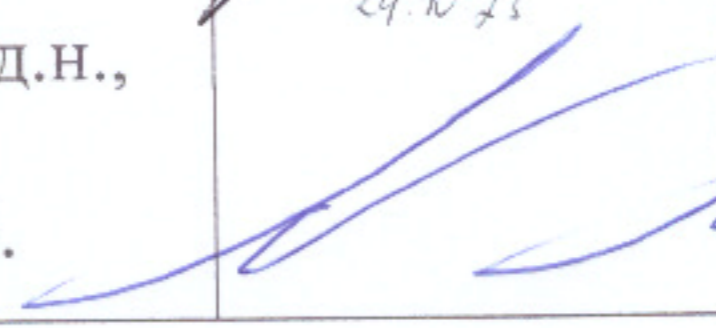

8. **Текст, предмет, мета та задачі дослідження.** Енергетична ефективність фотоелектричних станцій. Структурні схеми автономних фотослсктричних енергетичних установок (АФЕУ).

9. **Аналіз характеристик генерації енергії СБ СФЕС.** Аналіз характеристик генерації енергії СБ СФЕС. Способи підвищення ефективності АФЕУ. Існуючі технічні рішення силових

10. **Схеми АІ.** Функціональні схеми автономних інверторів з використанням ТОМП. Принципова електрична схема СФЕС на базі АІ. Алгоритм роботи системи керування АІ.

11. **Розробка електричних схем заміщення.** Блок-схеми комп'ютерної моделі досліджуваної системи. Результати моделювання досліджуваних пристроїв АІ. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

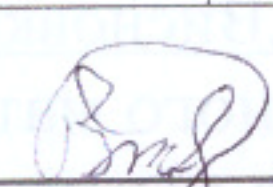
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	д.т.н., проф. каф. КЕМСК Кутін В.М.	 24.10.23	 21.10.23
Економічна частина	Шулле Ю.А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	 24.10.23	 21.10.23
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 24.10.23	 22.10.23

7. Дата видачі завдання 24.10.2023 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

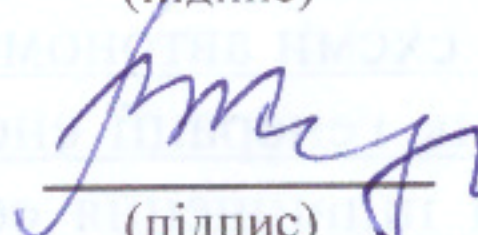
№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	03.10.2023р.	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	21.11.2023р.	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	28.11.2023р.	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.2023р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	28.11.2023р.	
6	Попередній захист МКР	28.11.2023р.	
7	Нормоконтроль МКР	28.11.2023р.	
8	Рецензування МКР	11.12.2023р.	
9	Захист МКР	12.12.2023р.	

Студент


(підпис)

Кутін В.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кутін В.М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 621.313.322

Жук В.С. Оптимізація режимів роботи автономного інвертора сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - електрична інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2023. 111 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 22 назв; рис.: 37; табл. 17.

В магістерській кваліфікаційній роботі були запропоновані рішення щодо оптимізації режимів роботи автономного інвертора сонячної фотоелектричної установки. В основній частині роботи запропоновано критерії оцінки ефективності автономних інверторів СФЕУ, які включають оцінку ККД, масогабаритних показників, показників якості напруги, а також показників активної, реактивної та повної потужності. Запропоновано функціональні схеми трифазних АІ, виконані на однофазній мостовій силовій електронній схемі та однофазно-трьохфазному ТОМП з покращеними експлуатаційно-технічними та енергетичними характеристиками. Розкрито особливості їх роботи, переваги та недоліки. Запропоновано принципову електричну схему АІ на однофазно-трифазному ТОМП, виконану з використанням мікропроцесорної техніки, та алгоритм роботи системи управління з перетворення та стабілізації напруги для розробки програми керування мікропроцесорним пристроєм. Розроблено комп'ютерну блок-схему АІ на однофазно-трифазному ТОМП із використанням ППП MATLAB Simulink.

Графічна частина складається з 14 плакатів із результатами роботи.

В розділі охорони праці визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, сонячна станція, автономний інвертор, система моніторингу, моделювання, схема принципова.

ABSTRACT

Zhuk V.S. Optimizing the modes of operation of the autonomous inverter of the solar photovoltaic installation of farms. Master's thesis in specialty 141 - electricity, electrical engineering and electromechanics, educational program - electrical engineering Vinnitsa: VNTU, 2022. – 111 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 22 titles; fig.: 37; tabl. 17.

In the master's qualification work, solutions were proposed to optimize the operating modes of the autonomous inverter of the solar photovoltaic installation. In the main part of the work, the criteria for evaluating the efficiency of autonomous inverters of the SFEU are proposed, which include the evaluation of efficiency, mass-dimensional indicators, voltage quality indicators, as well as indicators of active, reactive and full power. Functional schemes of three-phase AIs, made on a single-phase bridge power electronic circuit and a single-phase-three-phase TOMP with improved operational and technical and energy characteristics, are proposed. The peculiarities of their work, advantages and disadvantages are disclosed. The basic electrical circuit of AI on a single-phase-three-phase TOMP, made using microprocessor technology, and the algorithm of the control system for voltage conversion and stabilization for the development of a program for controlling a microprocessor device are designed. A computer block diagram of AI on a single-phase-three-phase TOMP was developed using MATLAB Simulink PPP.

The graphic part consists of 14 posters with the results of the work.

In the section on labor protection, the main provisions regarding the safe operation of the studied electrotechnical complex under the influence of harmful factors of the surrounding environment are defined.

Keywords: electrotechnical complex, solar station, autonomous inverter, monitoring system, modeling, schematic diagram.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ.....	9
1.1 Аналіз застосування фотоелектричних енергетичних установок в системах електропостачання.....	9
1.2 Структурні схеми автономних фотоелектричних енергетичних установок.....	11
1.3 Характеристики та режими експлуатації сонячних батарей.....	13
1.4 Перспективи підвищення ефективності автономних фотоелектричних установок.....	18
1.5 Висновок.....	20
2 АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ.....	21
2.1 Існуючі технічні рішення силових схем автономних інверторів.....	21
2.2 Основні критерії оцінки ефективності автономних інверторів.....	26
2.3 Функціональні схеми автономних інверторів з використанням трансформаторів з обертовим магнітним полем	28
2.4 Висновок.....	37
3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	38
3.1 Розробка схеми електричної принципової та опис її роботи.....	38
3.2 Висновок.....	43
4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ.....	44
4.1 Особливості математичного моделювання інверторів та трансформаторів автономних систем електропостачання.....	44

4.2 Розробка електричної схеми заміщення та блок-схеми комп'ютерної моделі.....	45
4.3 Розрахунок параметрів електричної схеми заміщення	50
4.4 Результати комп'ютерного моделювання режимів роботи інвертора....	54
4.5 Висновок.....	60
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	61
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	70
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.....	93
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	98

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В даний час для електропостачання автономних сільськогосподарських споживачів малих фермерських та особистих підсобних господарств, які займаються виробництвом меду, м'яса, вовни, риби, вирощуванням овочів та фруктів, а також для забезпечення побутових умов обслуговуючого персоналу застосовуються бензо- або дизельні станції, що мають низькі експлуатаційно-технічні показники, у тому числі невеликий ресурс роботи [1-2]. Сьогодні актуальним напрямком є впровадження енергоефективних, зокрема енергозберігаючих технологій у сільськогосподарське виробництво за рахунок застосування відновлюваних джерел енергії.

Важливим функціональним елементом сонячних фотоенергетичних установок (СФЕУ) є сонячний автономний інвертор (АІ) напруги, який, крім функції перетворення електроенергії постійного струму в змінний, виконує функцію стабілізатора напруги. АІ істотно впливають на експлуатаційно-технічні характеристики СФЕУ в комплексі. Експлуатовані в даний час АІ СФЕУ, що застосовуються у сільськогосподарському виробництві, мають відносно низькі енергетичні та технічні характеристики, включаючи ККД та ресурс роботи. Крім того, вони переважно є джерелами однофазної напруги промислової частоти струму [1-2].

Для визначення структури і параметрів фотоелектричних енергетичних установок існує ряд методик, представлених в основному на сайтах виробників. Ефективність і адекватність результатів таких методик нічим не підтверджена і найчастіше спрямована на збільшення розмірів і вартості АФЕУ з метою штучного завищення ціни та отримання вигоди.

В роботі поставлена та вирішена задача підвищення енергетичної ефективності автономних енергетичних установок на основі фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії та сонячного автономного інвертора за рахунок реалізації оптимального регулювання потужності та

розрахунку параметрів інвертора з урахуванням інтенсивності інсоляції конкретної місцевості.

Об'єкт дослідження є процеси зміни режимів роботи автономного інвертора напруги сонячної фотоелектричної станції.

Предметом дослідження є оптимізація режимів роботи автономного інвертора сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оптимізація режимів роботи сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств за рахунок покращення експлуатаційно-технічних характеристик та функціональних можливостей автономного інвертора сонячної фотоенергетичної установки.

В процесі реалізації мети роботи необхідно виконати такі **завдання**:

- дослідити структури автономних інверторів енергетичних установок на основі фотоелектричних перетворювачів;

- провести аналіз методів розрахунку технічних параметрів автономних інверторів фотоелектричних енергетичних установок;

- розробити функціональну та принципову електричну схеми сонячного автономного інвертора з поліпшеними експлуатаційно-технічними характеристиками;

- розробити алгоритм роботи системи управління автономним інвертором на однофазно-трёхфазному трансформаторі з перетворенням і стабілізацією напруги;

- провести дослідження комп'ютерної моделі інвертора та експериментальні дослідження однофазно-трёхфазного трансформатора і провести оцінку достовірності комп'ютерного моделювання в ППП MatLab Simulink.

Методи дослідження базуються на використанні теорії електричних кіл, основ теорії електричних машин та силової перетворювальної техніки, методу статичної оцінки точності результатів теоретичних та експериментальних досліджень. Застосовувалася графічне середовище

імітаційного моделювання ППП MatLab Simulink для побудови енергетичних систем, а також програми інженерного розрахунку для складання таблиць, діаграм і обчислення функцій ППП MathCad та Microsoft Excel.

Наукова новизна одержаних результатів:

- запропоновано алгоритм роботи системи управління автономним інвертором на однофазно-трифазному трансформаторі з перетворенням та стабілізацією напруги;

- розроблена комп'ютерна модель автономного інвертора на однофазно-трифазному трансформаторі.

Практична цінність одержаних у роботі результатів:

– результати аналізу особливостей конструкції та режимів роботи експлуатованих сонячних автономних інверторів, що дозволяють розкрити основні недоліки та напрями покращення їх експлуатаційно-технічних характеристик;

– розроблена принципова електрична схема управління інвертором та алгоритм її роботи покращують експлуатаційно-технічні характеристики сонячної фотоенергетичної установки;

– результати досліджень комп'ютерної моделі автономного інвертора дозволяють визначати значення струмів та напруг на елементах електричної схеми заміщення автономного інвертора і тривалість перехідних процесів, що підвищить ефективність розробки системи управління та захисту перетворювача з урахуванням різних режимів роботи, включаючи аварійні.

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2023).

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій:

- До питання оптимізації режимів роботи сонячних фотоелектричних станцій / В.М. Кутін, В.С. Жук – Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024. [Електронний ресурс]. – 3 с.

1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

1.1 Аналіз застосування фотоелектричних енергетичних установок в системах електропостачання

Впровадження в децентралізованих регіонах нових технологій, заснованих на використанні природних відновлювальних ресурсів, може в значній мірі вирішити проблему енергозабезпечення децентралізованих зон, знизити витрати бюджету на завезення палива для дизельних електростанцій (ДЕС), підвищити надійність забезпечення населення електрикою і теплом.

З усіх відомих технологій відновлюваної енергетики найбільші перспективи практичного використання в системах електропостачання децентралізованих споживачів мають вітроенергетичні установки (ВЕУ) та фотоелектричні станції (ФЕС) (рисунок 1.1).

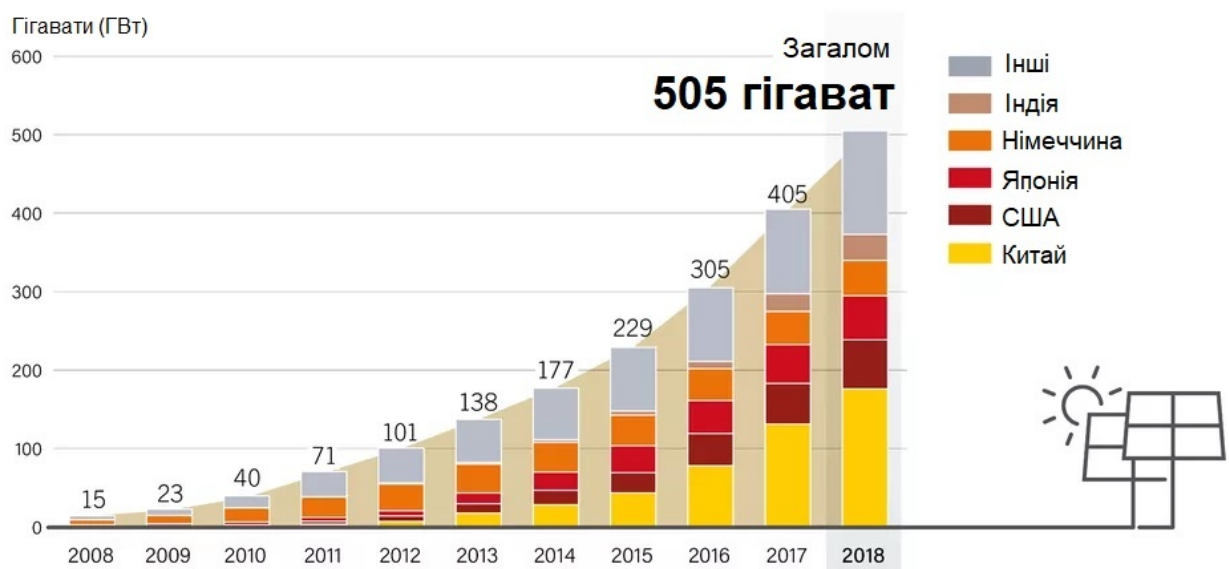


Рисунок 1.1 – Діаграма впровадження потужностей сонячної генерації електричної енергії в Світі

Географічні особливості розташування децентралізованих зон, слабо розвинена транспортна інфраструктура, відсутність великих промислових підприємств, відносно невеликі встановлені потужності об'єктів

електропостачання практично виключають можливість корисного використання відновлюваної енергії океану і геотермального тепла земної кори [2].

Найбільш універсальними технологіями малої відновлюваної енергетики, які вдало поєднуються з представленими вище особливостями децентралізованих районів енергозабезпечення, є технології прямого перетворення енергії сонячного випромінювання і повітряного потоку в електроенергію. Основними перевагами ВЕУ і ФЕС є доступність і повсюдне поширення первинного поновлюваного енергоресурсу, можливість їх максимального наближення до об'єктів електропостачання, широкий діапазон потужностей, на основі яких серійно випускаються енергетичні установки [6-7].

Енергетичні характеристики автономної системи електропостачання, що використовує ВДЕ, багато в чому залежать від ступеня корисного використання енергії первинного поновлюваного енергоносія, а вихідні енергетичні характеристики ВЕУ і ФЕС безпосередньо залежать від величини їх навантаження.

Отже, для максимально корисного використання первинної енергії сонячного випромінювання в замкнутій енергетичній системі необхідним є спеціалізований пристрій керування, який має забезпечувати регулювання величини навантаження С ФЕС за певними законами, при цьому забезпечуючи запас енергії, що генерується в періоди її надлишків, і віддачу в періоди нестачі.

Щодо СФЕС. Сьогодні все більш широке застосування в різних країнах знаходять фотоелектричні перетворювачі (ФЕП). Більше 90% ринку – це ФЕП на основі полі-і моно-кристалічного кремнію, модулі яких мають ККД 15-17%. В умовах середніх широт такі фотоелектричні установки можуть виробляти 120-200 кВт год / м² рік.

Сонячні фотоелектричні станції (див. рисунок 1.2) мають велику привабливість для інвесторів, оскільки вони модульного типу і тому не

вимагають великих початкових капітальних вкладень. При пуску модуля СЕС в експлуатацію він негайно починає повертати інвестиції, тому витрати і повернення інвестицій можна планувати протягом всього періоду будівництва СЕС.



Рисунок 1.2 – Фотоелектрична станція

Перевагою фотоелектричних ЕС є низькі експлуатаційні витрати 0,07 цента/кВт.год, вони не вимагають води для роботи і можуть встановлюватися в гірській місцевості, на дахах і фасадах будівель, в пустелях і в країнах з вологим тропічним кліматом. Концентратори збільшують ефективність СЕ і призводять до зниження вартості дорогого напівпровідникового матеріалу на одиницю потужності, однак при цьому виникають додаткові витрати на виробництво концентраторів систем охолодження СЕ і систем стеження.

1.2 Структурні схеми автономних фотоелектричних енергетичних установок

Автономні фотоелектричні енергетичні установки в загальному випадку складаються з масиву фотоелектричних перетворювачів (ФЕП),

аккумуляторних батарей (АБ), інвертора – перетворювача постійної напруги в змінну (якщо необхідно споживачеві), і контролера заряду-розряду аккумуляторних батарей (КЗАБ). З'єднання даних елементів системи проводиться згідно структурної схеми АФЕУ, приведеної на рисунку 1.3.

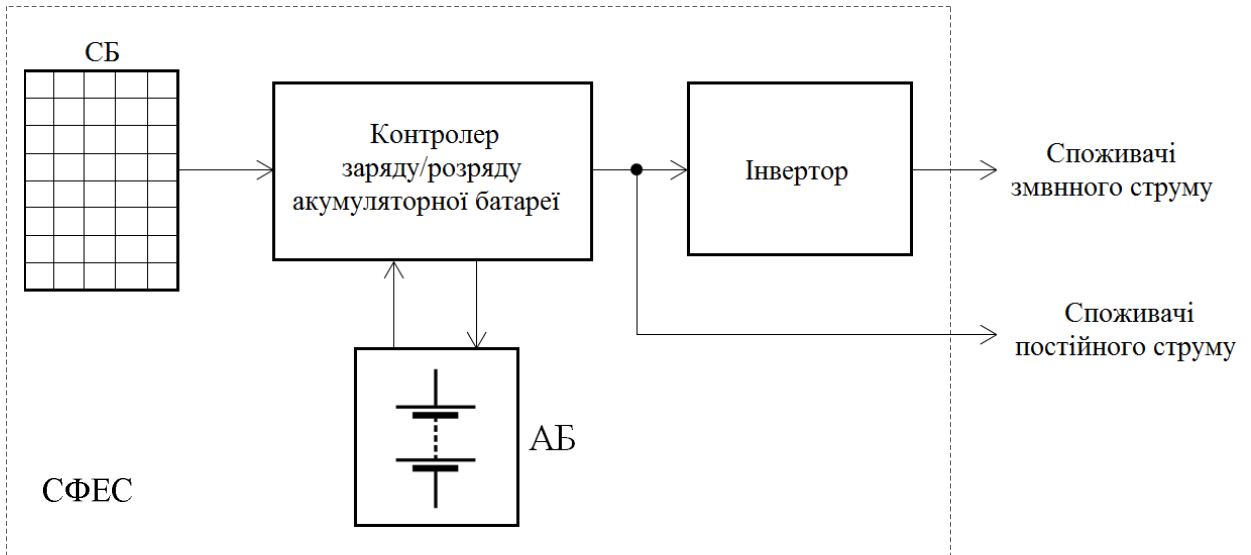


Рисунок 1.3 – Структурна схема типової автономної фотоелектричної енергетичної станції

Залежно від місця розташування та умов експлуатації до складу фотоелектричної установки можуть вводитися додаткові джерела енергії: вітрогенератор та дизельгенератор (бензогенератор). Структурна схема такої гібридної АФЕУ представлена на рисунку 1.4, де ДЕС – дизельна електростанція, ВЕУ – вітроенергетична установка. Підключення додаткових елементів системи проводиться аналогічно, через контролер.

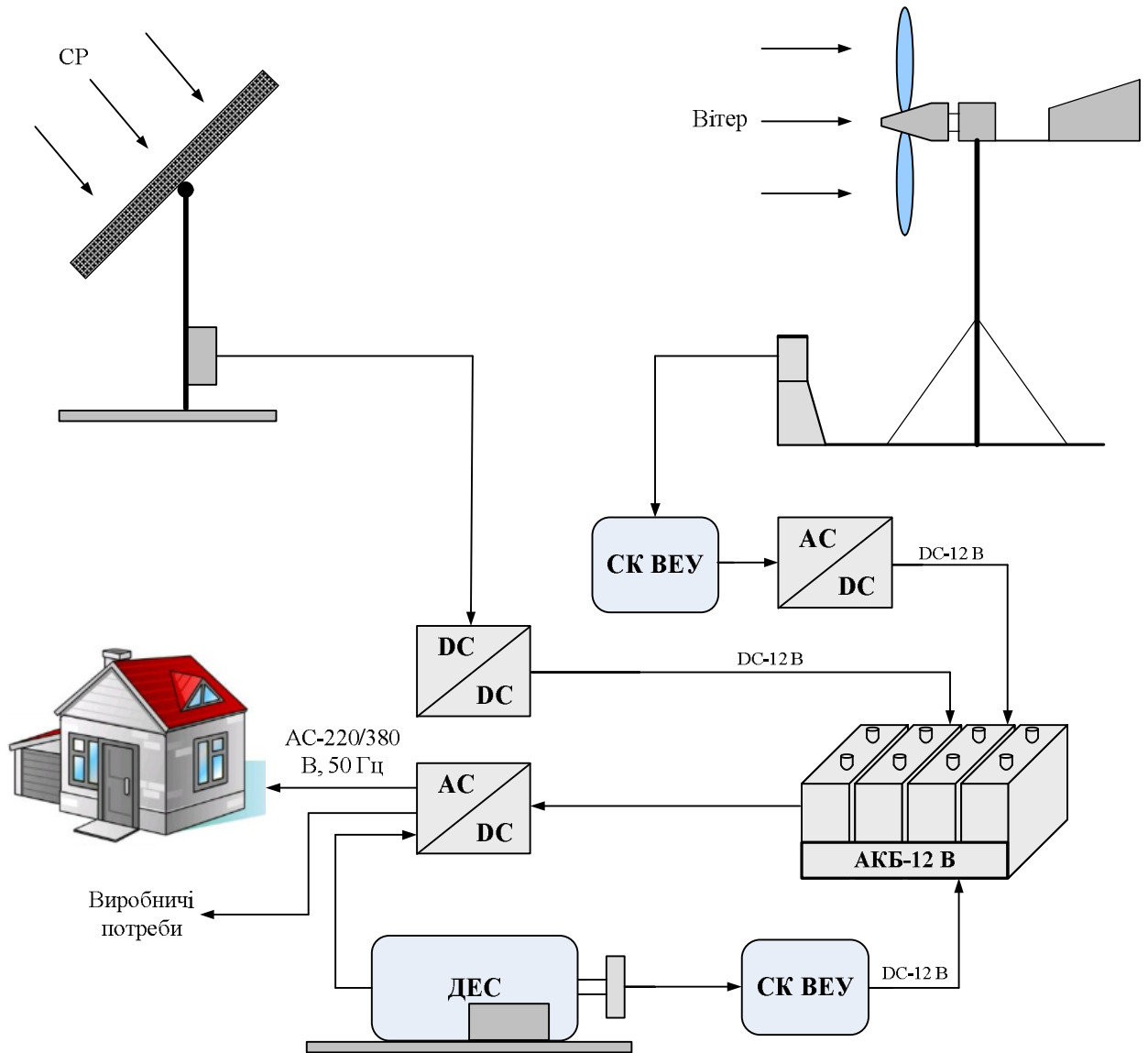


Рисунок 1.4 – Структурна блок-схема гібридної енергетичної установки

1.3 Характеристики та режими експлуатації сонячних батарей

Сонячні батареї – основна частина фотоелектричної енергетичної установки. Перетворення енергії в ФЕП засновано на фотоелектричному ефекті, що виникає при впливі сонячного випромінювання в неоднорідних напівпровідникових структурах [2].

Ефективність перетворення залежить від електрофізичних характеристик неоднорідної напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей ФЕП, серед яких найбільш важливу роль грає фотопровідність.

Вона обумовлена явищами внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках при опроміненні їх сонячним світлом.

Втрати енергії в фотоелектричних перетворювачах пов'язані:

- з відображенням сонячного випромінювання від поверхні перетворювача;
- проходженням частини випромінювання через ФЕП без поглинання в ньому;
- розсіюванням на теплових коливаннях ґрат надлишкової енергії фотонів;
- рекомбінацією утворених фото-пар на поверхнях і в об'ємі ФЕП;
- опором ФЕП;
- іншими фізичними процесами.

У фотоелектричних енергетичних установках можна використовувати різні типи ФЕП, але не всі вони задовольняють комплексу вимог до таких систем:

- висока доступність сировини та можливість організації масового виробництва;
- прийнятні з точки зору термінів окупності витрат на створення системи перетворення;
- висока надійність при тривалому ресурсі роботи;
- зручність техобслуговування.

Сонячні батареї автономних фотоелектричних енергетичних установок використовуються при суттєво змінних умовах експлуатації, вони сильно схильні до впливу навколишнього середовища [8].

Вольт-ватні характеристики (ВВХ) мають яскраво виражений максимум генерованої потужності, положення якого суттєво змінюється залежно від умов експлуатації (ресурсу, температури, освітленості) [8-11].

Основний вплив на ВАХ фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії створюють ступінь освітленості та температура. Освітленість ФЕП падає при зміні орієнтації по відношенню до Сонця, тобто при появі кута між

сонячним вектором та вектором нормалі до панелей СБ. При куті 180° і попаданні в тінь освітленість падає практично до нульового значення. Пропорційно зміні освітленості змінюється і струм СБ (рисунок 1.6).

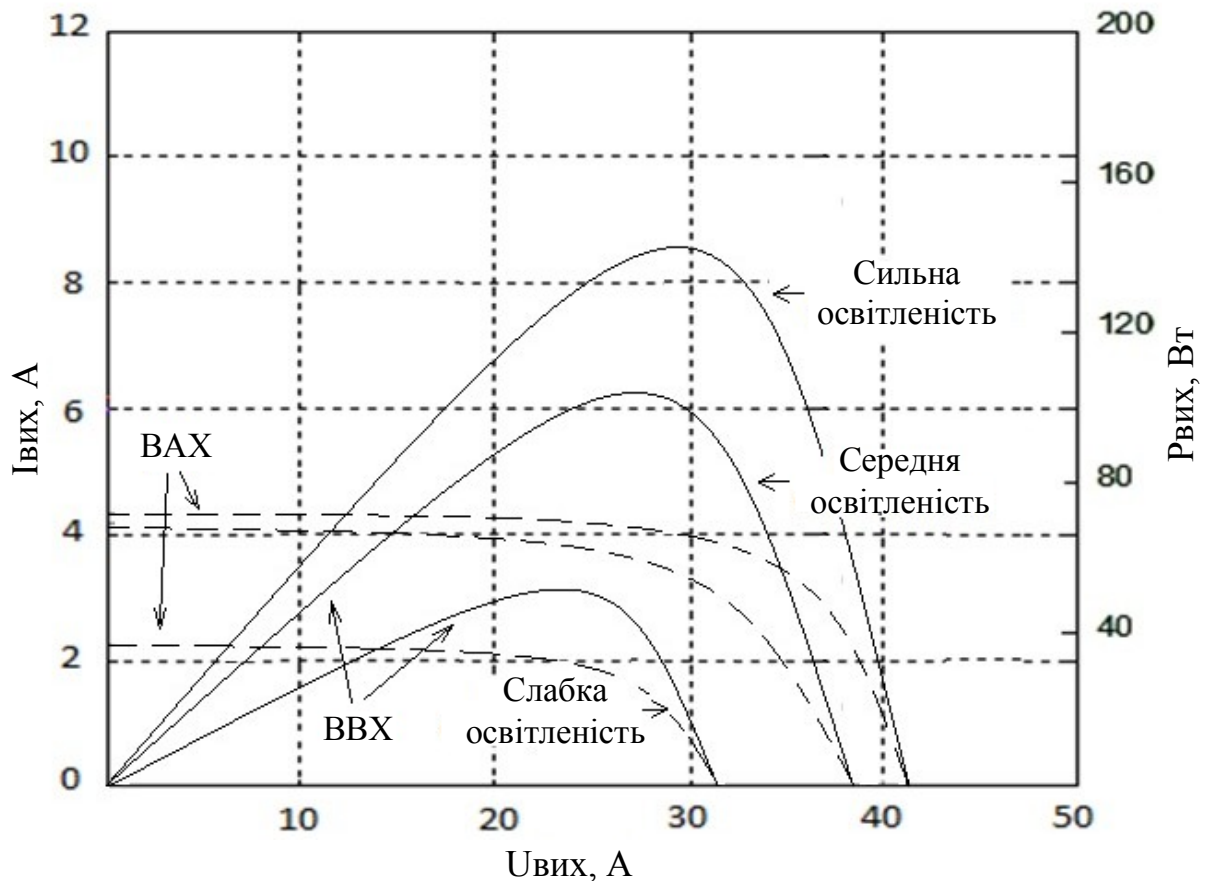


Рисунок 1.6 – Характеристики ВАХ та ВВХ сонячної батареї

при умовах різної освітленості:

950 Вт/м² – сильна освітленість;

650 Вт/м² – середня освітленість;

300 Вт/м² – слабка освітленість

Часткове затінення СБ веде до зменшення її потужності, а також до виникнення високих зворотних напруг на затінених та паралельно з ними з'єднаних фотоперетворювачах, перегріву та деградації СБ. Навіть при повному усуненні негативного впливу часткового затінення та електризації, прогнозоване зменшення потужності СБ може становити 15-20% вже до кінця п'ятого року експлуатації, та 30% після 10 років роботи СБ [13].

Найбільш істотні зміни ВАХ відбуваються в момент виходу Сонця через хмари після тривалого затінення панелей. У літню пору, при середній температурі 20-25 градусів тепла і відсутності вітру, температура панелей сонячної батареї може підвищитися до 50-70 градусів. У цьому випадку напруга холостого ходу і оптимальної робочої точки може зменшитися на 25%. Час прогріву панелей СБ залежить від конструкції та їх розташування, і як правило, не перевищує 20 хвилин [14].

При інтенсивності освітлення, що відповідає сонячній, фото ЕРС перетворювачів з кремнію лінійно падає при збільшенні температури з градієнтом 1,5-2,5 мВ/К [12]. При зміні температури від плюс 70 ° С до мінус 30° С напруга оптимальної робочої точки кремнієвої СБ збільшується орієнтовно в 1,5 рази (напруга кремнієвого фотоелемента змінюється в діапазоні 0,5-0,75 В) [11].

Зміна температури СБ веде до зсуву ВАХ уздовж осі напруги. При цьому струм СБ незначно залежить від температури (рисунок 1.5).

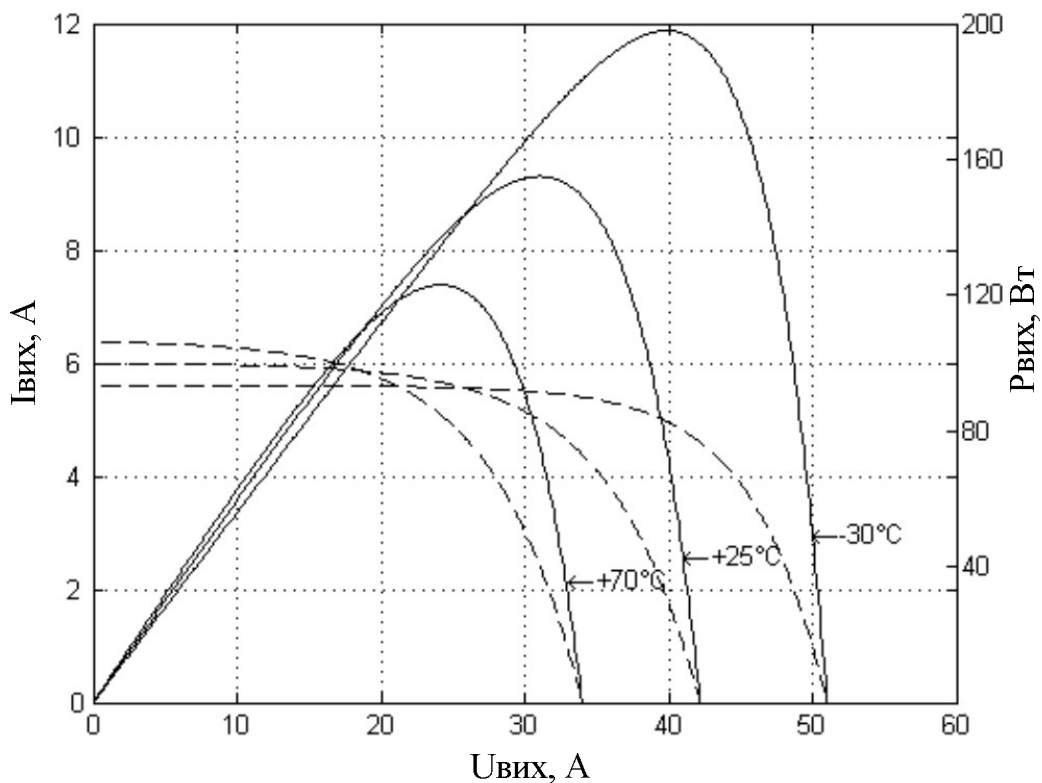


Рисунок 1.6 – Характеристики ВАХ та ВВХ сонячної батареї в температурному діапазоні від -30⁰ до +70⁰С

Іншими факторами, що впливають на параметри СБ, є радіаційні впливи, механічні пошкодження та електризація.

1.4 Перспективи підвищення ефективності автономних фотоелектричних установок

За оцінками західних фахівців та вчених у галузі розвитку сонячної енергетики Сонце стане домінуючим джерелом енергії на планеті Земля до 2100 [6-7].

В Україні є велика кількість споживачів енергії, де за економічними, екологічними та соціальними умовами пріоритетним є розвиток ВДЕ. До них відносяться насамперед сільськогосподарські споживачі малих фермерських та особистих підсобних господарств, віддалені від зовнішніх енергетичних систем. До таких споживачів належать малі фермерські господарства, які займаються виробництвом меду, м'яса, вовни, риби. Сонячні електростанції можуть застосовуватися як зарядні пристрої безпілотних літальних апаратів, що забезпечують моніторинг земель і точне розкидання добрив. Таким чином, актуальним сьогодні є напрям застосування автономних сонячних електростанцій для електропостачання сільськогосподарських споживачів електроенергії, що задіяні у технологічних процесах та забезпечують комфортні умови обслуговуючого персоналу [8-9].

Прикладами впровадження автономних установок на базі сонячних фотоелектричних станцій приведені на рисунку 1.7.

З роками покращуються технології виготовлення та зменшується, відповідно, вартість сонячних фотоелементів, тому найближчим часом сонячна енергетика стане конкурентоспроможною із традиційними джерелами енергії [8-9].



Рисунок 1.7 – Мобільні автономні СФЕС

Сучасні споживачі електроенергії малих фермерських господарств висувають такі основні вимоги до джерел електроенергії:

- потужність автономного джерела повинна знаходитися в межах від 3 до 10 кВт;
- забезпечувати високу якість вихідної напруги для однофазних та трифазних автономних споживачів електроенергії;
- забезпечувати споживачів змінним струмом промислової частоти та змінним струмом зниженої, регульованої частоти (для регулювання частоти обертання електроприводу) та підвищеною частотою струму (для забезпечення електроенергією високочастотних споживачів електроенергії).

Мобільні сонячні електростанції (рисунок 1.7), як правило, у своєму складі мають:

- багатокристалічні сонячні батареї по 275 Вт (для забезпечення споживачів електроенергією із сумарною потужністю 5 кВт необхідно близько 20 таких батарей);
- гелеві 200 А/год або літій-іонні акумуляторні батареї 100 А/год (від 2 до 4 шт); – однофазний інвертор потужністю до 5 кВт чи трифазний інвертор потужністю від 5 до 9 кВт;
- контролер заряду акумуляторних батарей МРРТ;

- комплект похилого кріплення сонячних батарей, кабелі та інші монтажні пристрої;

- дво-чотириколісний причіп вантажопідйомністю до 500 кг.

Вартість мобільних СФЕУ залежить від потужності станції, а також комплектуючих функціональних елементів (сонячних батарей, інверторів, контролерів, акумуляторних батарей, причепів, монтажного обладнання).

1.5 Висновок:

Таким чином, перспективним є напрямок застосування СФЕУ для електропостачання автономних сільськогосподарських споживачів, при цьому значно підвищується затребуваність СФЕУ з погляду техніко-економічних показників, якщо споживачі електроенергії віддалені від зовнішньої енергетичної системи. Однак для покращення експлуатаційно-технічних характеристик автономного джерела електроенергії необхідно розробити СФЕУ, яка відповідає сучасним вимогам споживачів електроенергії, передусім такі станції мають бути багатofункціональними.

2 АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

2.1 Існуючі технічні рішення силових схем автономних інверторів

Основним функціональним елементом СФЕУ є сонячний автономний інвертор (АІ), основна функція якого – здійснювати перетворення напруги постійного струму на підвищену напругу змінного струму, необхідного для споживачів електроенергії. Величина напруги постійного струму – це, як правило, 12, 24 або 48, а змінного струму 220 В - в однофазному і 380 В - в трифазному виконанні [10].

АІ істотно впливають на експлуатаційно-технічні характеристики (ЕТХ) та енергетичні характеристики сонячної фотоенергетичної установки. В даний час вони не відповідають сучасним вимогам, які пред'являються споживачами електроенергії малих фермерських господарств, оскільки в основному генерують напругу постійного струму або однофазну напругу, у великих випадках квазісинусоїдальної форми [10-11].

Сьогодні відомі багато технічних рішень силових схем АІ, у тому числі, що здійснюють стабілізацію напруги, що генерують однофазну та трифазну систему напруг, а також струм підвищеної частоти.

З метою розробки актуального енергоефективного автономного інвертора сонячної електростанції, слід виконати аналіз конструктивних особливостей та режимів роботи відомих технічних рішень. Крім того, для таких потреб доречно розглянути сучасну елементну базу та із врахуванням виконаного порівняння запропонувати актуальне технічне рішення перетворювача постійної напруги в змінну.

Відповідальним елементом силової схеми будь-якого сонячного автономного інвертора є його напівпровідникові складові. Особливість роботи цих пристроїв реалізує режим роботи в якості силових ключів. Більшого поширення в структурі перетворювачів набувають польові

транзистори, які заміняють польові біполярні транзистори і мають притаманні їм переваги, зокрема:

- дещо вища швидкодія;
- незначні втрати електроенергії у відкритому стані;
- незначний вплив температури на стійкість їх роботи;
- відносна простота виготовлення;
- кращі масо-габаритні характеристики.

Всі ці переваги у комплексі покращують у цілому експлуатаційно-технічні та енергетичні показники АІ.

Структурно-схемні рішення силових електронних схем із застосуванням польових транзисторів мало змінилися. Тому в даний час використовуються однофазні мостові схеми АІ напруги. Один із варіантів такої схеми наведено на рисунку 2.1, а. Однофазна схема інвертора, виконана на двох польових транзисторах наведена на рисунку 2.1, б. На рисунках 2.1, а б показана тільки первинна обмотка трансформатора).

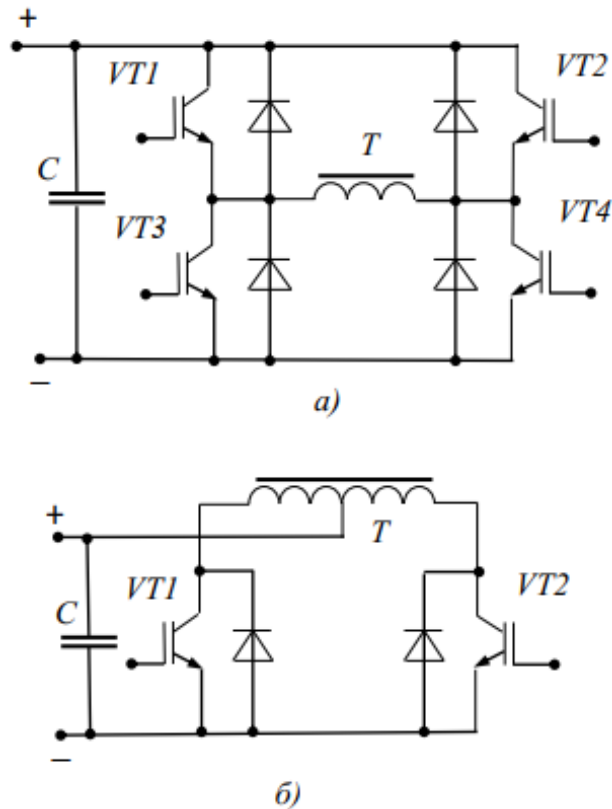


Рисунок 2.1 – Принципові силові електричні схеми однофазних автономних інверторів

Основними елементами силової схеми АІ є польові транзистори VT, зворотні діоди, включені зустрічно-паралельно транзисторам, захищають транзистори від перенапруг, трансформатор Т, призначений, як правило, для підвищення напруги, і вхідний конденсатор С, що виконує функцію вхідного фільтра і здійснює захист джерела від стрибків напруги, що виникають під час комутації силових електронних приладів. Почергова робота польових транзисторів VT1, VT4 і VT2 VT3 (рисунок 2.1, а), VT1 і VT2 (рисунок 2.1, б) призводить до зміни напрямку струму, що протікає по первинній обмотці трансформатора Т. В результаті постійний струм джерела напруги, перетворюється на змінний.

Величина вхідної напруги постійного струму може дорівнювати 12, 24 або 48, вихідна напруга змінного струму дорівнює 220, якщо АІ однофазний та 220/380, якщо АІ трифазний.

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) вихідної напруги забезпечує відносно високу його якість. Схеми має просте технічне рішення системи управління, яка стабілізацію напруги здійснює за рахунок зміни тривалості паузи між позитивною та негативною напівхвилью вихідної напруги. Основними недоліками мостової схеми АІ (рисунок 2.1 а) є відносно низький ККД і показники надійності, за рахунок застосування 4-х транзисторів, а при необхідності збільшення встановленої потужності АІ, транзистори силової схеми включаються на паралельну роботу, що призводить до зниження ККД і надійності роботи перетворювача.

Загальним недоліком розглянутих однофазних схем АІ є те, що для отримання трифазної симетричної системи напруг необхідно застосовувати три схеми однофазних інверторів і складну систему управління, що забезпечує синхронізацію їх роботи, як по зсуву напруг одна відносно одної на кут 120° , так і пофазною їх стабілізації [11-14].

На рисунку 2.2 наведено схему трифазну мостову АІ. На схемі не показаний трифазний трансформатор, первинні обмотки якого, зокрема навантаження Z, можуть бути включені за схемою «зірка» або «трикутник».

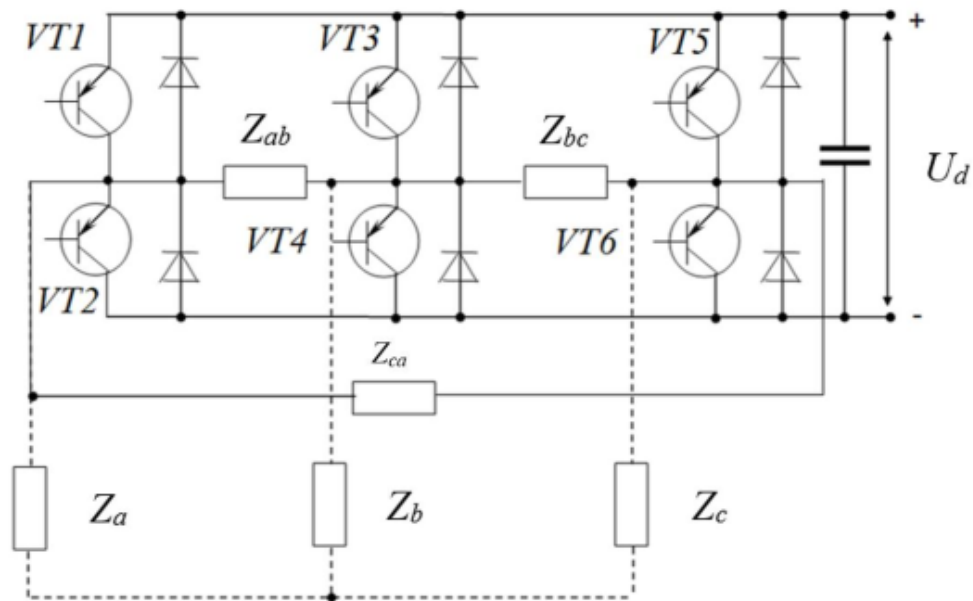


Рисунок 2.2 – Трифазна мостова схема інвертора

Перевагою трифазної схеми АІ є її простота, у тому числі високі показники надійності та ККД, а основним недоліком – низький діапазон стабілізації напруги, що не дозволяє працювати схемі навіть за незначної несиметрії навантаження.

Одним із ефективних способів покращення масогабаритних показників автономних інверторів, що важливо для мобільних автономних систем електропостачання, застосування високочастотного проміжного перетворення. У цьому випадку у складі АІ застосовується безпосередньо високочастотна схема перетворення напруги постійного струму змінний і реверсивний випрямляч, що знижує частоту частка промислового рівня. Таке технічне рішення АІ дозволяє у кілька разів зменшити масогабаритні показники трансформатора інвертора [11-12].

На рисунку 2.3 приведено функціональну схему АІ на реверсивному випрямлячі, де високочастотний інвертор і реверсивний випрямляч виконані на біполярних транзисторах VT1 і VT2, VT4 і VT6 відповідно.

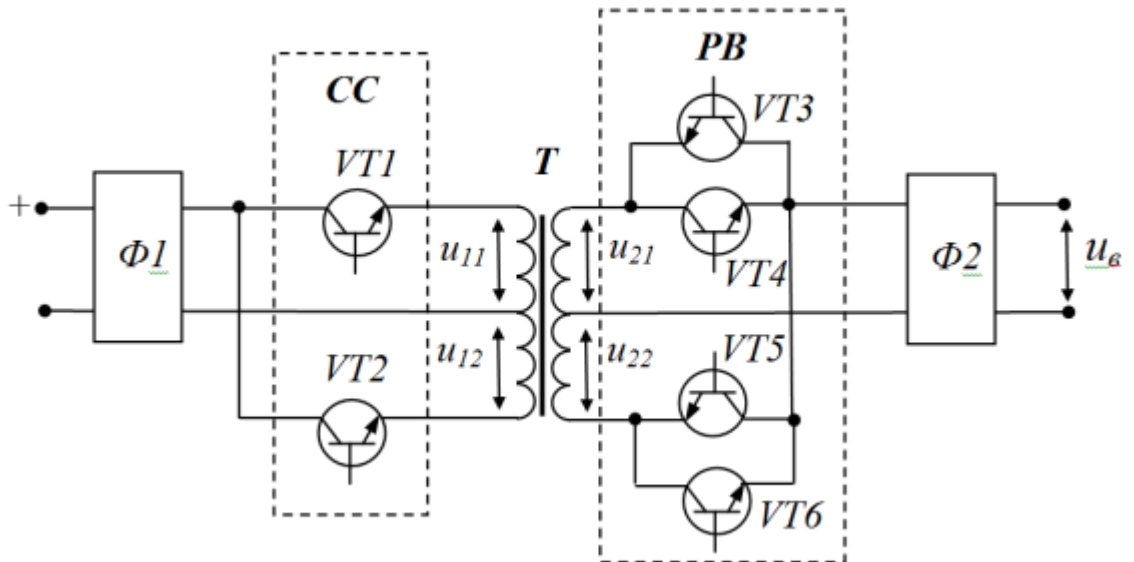


Рисунок 2.3 – Схема автономного інвертора на реверсивному випрямлячі

На рисунку 2.3: $\Phi 1$ та $\Phi 2$ – вхідний та вихідний фільтр; СС – силова схема; Т – трансформатор; РВ – реверсивний випрямляч

Вхідний фільтр $\Phi 1$ призначений для зниження комутаційних перенапруг, що виникають під час комутації транзисторів VT1 і VT2 силової схеми СС, що здійснює перетворення напруги постійного струму в напругу змінного струму підвищеної частоти (u_{11} - позитивна напівхвиля; u_{12} - негативна напівхвиля). Трансформатор Т підвищує напруги рівня, необхідного споживачам електроенергії. Реверсивний випрямляч РВ перетворює напругу підвищеної частоти струму u_{21} і u_{22} (рисунок 2.3) на напругу промислової частоти $u_{вх}$, необхідної якості, одержуваного після вихідного фільтра $\Phi 2$. При цьому транзистори VT3 і VT4 формують позитивну напівхвилю вихідної напруги, а транзистори VT5 і VT6 негативну напівхвилю.

Діаграма напруг, яка пояснює принцип роботи цього інвертора, наведена на рисунку 2.4.

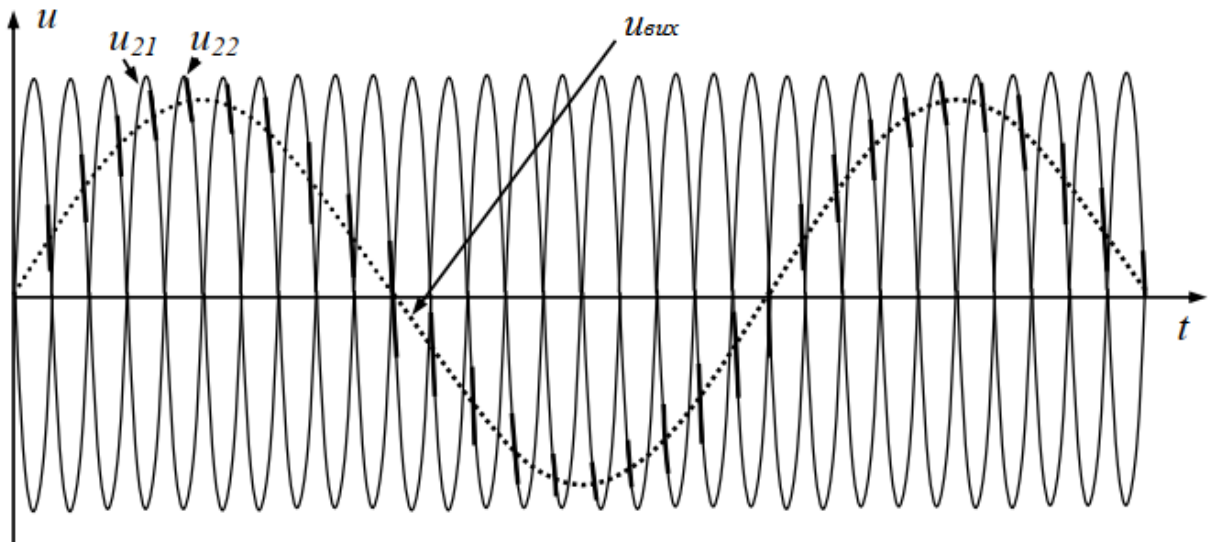


Рисунок 2.4 – Діаграми напруг автономного інвертора

Основною перевагою розглянутої схеми АІ з проміжним високочастотним перетворенням є невелика маса і габарити, оскільки вже при частоті проміжного перетворення 800 Гц маса трансформатора зменшується більш ніж у 10 разів. Основним недоліком схеми є невелика потужність, що зазвичай не перевищує 2–2,5 кВт, оскільки при збільшенні проміжної частоти струму збільшується рівень електромагнітних перешкод, створюваних силовими електронними приладами під час комутації.

2.2 Основні критерії оцінки ефективності автономних інверторів

До основних критеріїв оцінки ефективності автономних інверторів належать:

- показники ККД, що визначаються за результатами розрахунку статичних динамічних втрат у силових електронних приладів і втрат у системі управління;
- масогабаритні показники, що включають показники розрахунку силової електронної схеми, трансформатора, вхідного та вихідного фільтрів;
- показники якості напруги, оцінюється за величиною коефіцієнта гармонік;
- показники активної, реактивної та повної потужності.

Графічно співвідношення вище наведених показників показано на рисунку 2.5.

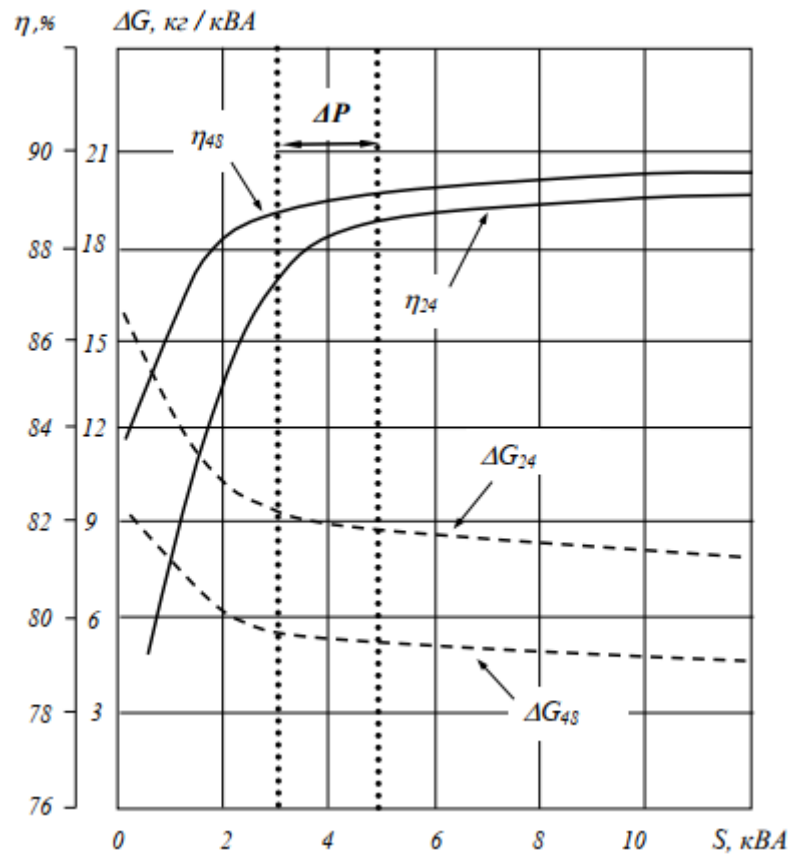


Рисунок 2.5 – Залежності ККД та питомої маси автономних інверторів від потужності при входній напрузі 24 і 48 і значень коефіцієнта трансформації

Врахування цих показників підвищить ефективність вибору та передпроектних робіт з розробки нових технічних рішень перетворювачів напруги постійного струму на змінний.

2.3 Функціональні схеми автономних інверторів з використанням трансформаторів з обертовим магнітним полем

Якщо застосувати у складі силової схеми АІ однофазно-трифазний трансформатор з обертовим магнітним полем (ТОМП), то це дозволить замість трифазної електронної схеми перетворення використовувати однофазну схему. В результаті зменшиться рівень електромагнітних перешкод, створюваних силовими електронними приладами при комутації та підвищити ККД. З іншого боку, спрощуються функції системи управління, зокрема захисту перетворювача, що у комплексі призведе до підвищення показників надійності АІ, передусім, збільшення ресурсу роботи [16, 23].

Конструктивно ТОМП може бути виконаний на базі тороїдального трансформатора з осердям або на базі асинхронного двигуна з фазним ротором. Дві первинні обмотки ТОМП, включені між собою через фазозсувний конденсатор C_{Φ} (рисунок 2.6) розміщуються на сердечнику тороїдального трансформатора або на фазному роторі асинхронної машини. При протіканні струму по первинних обмотках формується обертове магнітне поле, силові лінії якого перетинають тороїдальний сердечник або статор електричної машини. Оскільки на тороїдальному осерді або статорі асинхронної машини розміщені три обмотки, зсунуті між собою в просторі на кут 120° , то на їх виводах формуватиметься трифазна симетрична система напруг.

Принцип роботи АІ на ТОМП. Силова схема інвертора І перетворює напругу постійного струму джерела U_1 через ШІМ в напругу змінного струму. Вихідний пасивний Г-подібний LC-фільтр Φ , забезпечує необхідну якість напруги синусоїдальної форми, яка прикладається до двох первинних обмоток трансформатора з обертовим магнітним полем ТОМП (рисунок 2.6). Магнітна система ТОМП однофазний синусоїдальний сигнал за допомогою двох первинних обмоток і фазозсувного конденсатора, перетворює в

трифазну симетричну систему напруг, яка прикладається до вихідних виводів перетворювача напруги постійного струму в змінний А, В і С (рисунк 2.6).

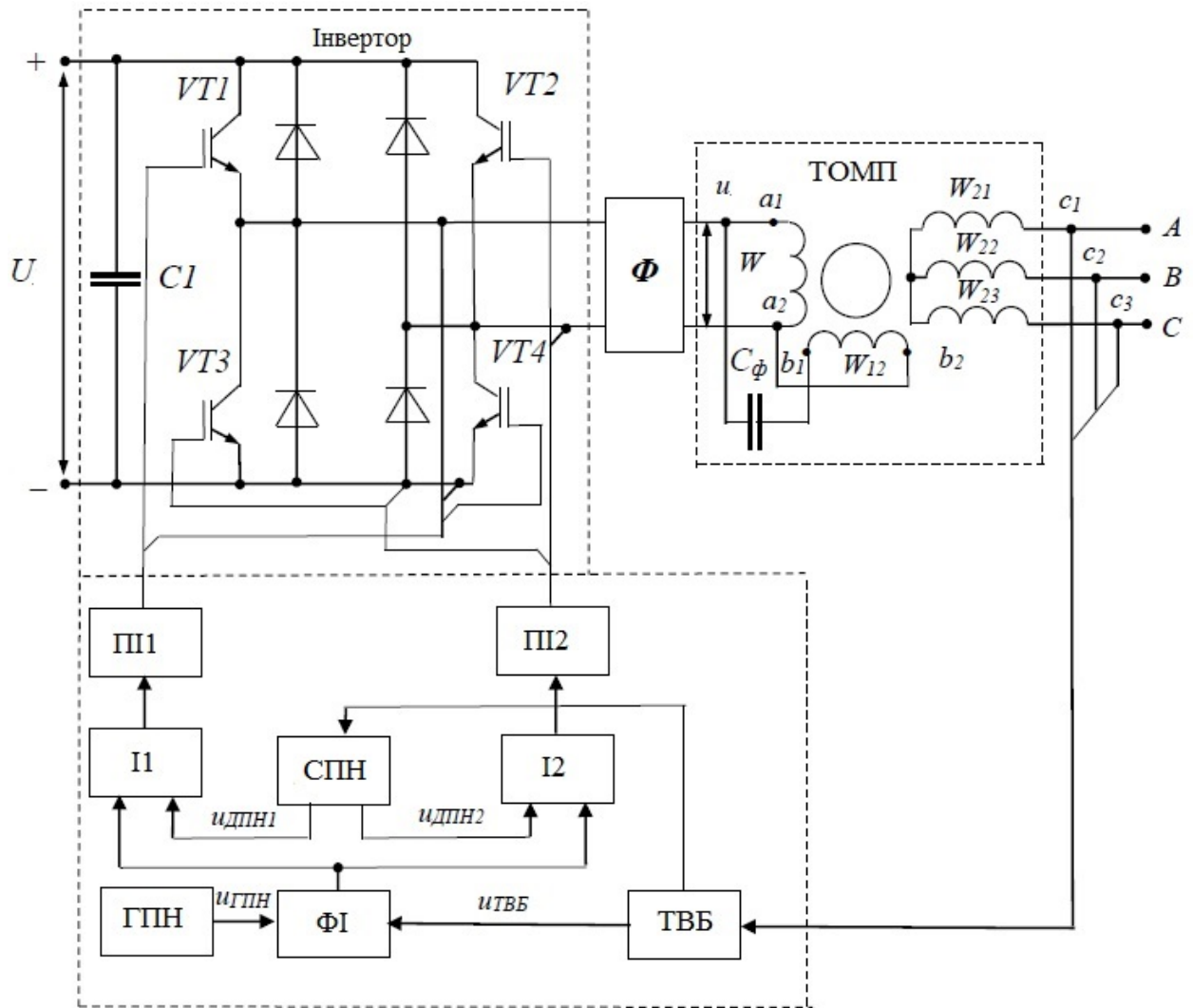


Рисунок 2.6 – Функціональна схема АІ на однофазно-трифазному трансформаторі з обертовим магнітним полем

Система управління СУ автономного інвертора містить такі функціональні блоки:

– трансформаторно-випрямний блок ТВБ – джерело ведучого сигналу, на виході якого формується напруга постійного струму, пропорційна вихідній напрузі АІ;

– генератор пилкоподібної напруги ГПН – джерело опорного сигналу, при зміні його частоти змінюється частота струму вихідної напруги перетворювача;

- формувач імпульсів ФІ;
- сенсор полярності напруги СПН;
- логічні елементи I – I1 та I2;
- підсилювачі імпульсів ПП1 та ПП2 виводи яких підключені до відповідних керуючих електродів силової схеми інвертора І.

Принцип роботи СУ. З виходу генератора ГПН (рисунок 2.6) опорний сигнал пилкоподібної форми $u_{ГПН}$ (рисунок 2.6, а) прикладається до першого входу формувача імпульсів ФІ, до другого входу формувача імпульсів прикладається напруга ведучого сигналу постійного струму $u_{ТВБ}$ з виходу трансформаторного блоку ТВБ.

Коли напруга на виході генератора пилкоподібної напруги більша за вихідну напругу трансформаторно-випрямного блоку, тобто коли виконується умова, що $u_{ГПН} > u_{ТВБ}$, тоді на виході формувача імпульсів ФІ формуються керуючі імпульси (рисунок 2.7 а, б), які надходять на перші входи логічних елементів I1 і I2. На другі входи цих елементів надходить сигнал від сенсора полярності напруги СПН $u_{ДПН}$ (рисунок 2.7, в), робота якого синхронізована з однією з фаз вихідної напруги АІ через трансформаторно-випрямний блок ТВБ (рисунок 2.6).

При позитивній полярності вихідної напруги сигнал $U_{СПН1}$ (рисунок 2.7 в) з виходу сенсора полярності напруги СПН надходить на другий вхід логічного елемента I1 з виходу цього елемента через підсилювач імпульсів УІ1 імпульси управління надходить на входи транзисторів VT1 і VT4. Вони періодично відкриваються і закриваються за допомогою ШІМ в результаті на виході силової схеми інвертора І формується позитивна напівхвиля напруги синусоїдального струму u (рисунок 2.7, б, в). У разі, коли полярність вихідної напруги змінного струму, синхронізованого з однією з фаз вихідної напруги АІ буде негативною, то це призведе до закриття логічного елемента I1 і відкриється логічний елемент I2, оскільки на його другий вхід надходить сигнал $U_{ДПН2}$ від датчика полярності напруги.

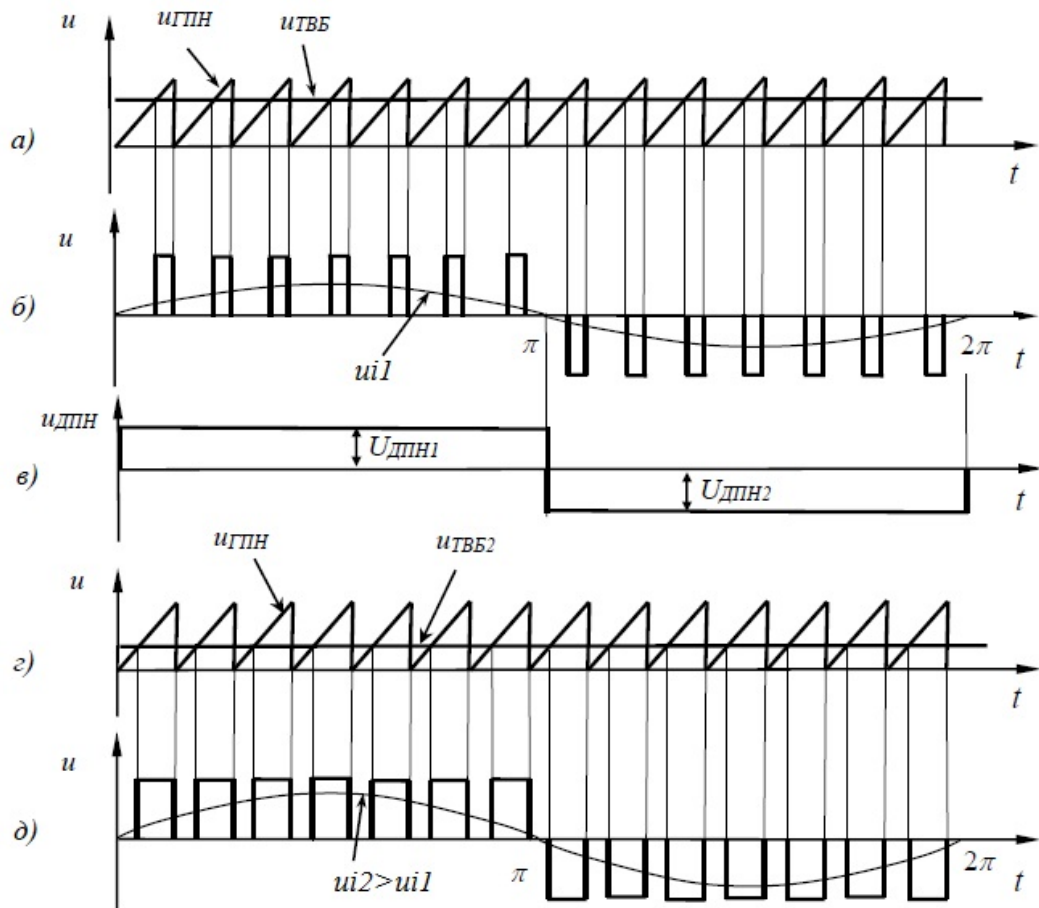


Рисунок 2.7 – Діаграма напруг АІН з ТОМП

В результаті закриються транзистори VT1 і VT4 і періодично будуть відкриватися та закриватися транзистори VT2 та VT3. В результаті на виході силової схеми інвертора формується і негативна напівхвиля напруги синусоїдального струму i (рисунок 2.7, б, в).

Для поліпшення гармонійного складу вихідної напруги силової схеми інвертора І (рисунок 2.6) і, відповідно, поліпшення масогабаритних показників і ККД вихідного фільтра Ф, доцільно у складі системи управління опорного (еталонного) сигналу застосувати сигнал трикутної форми. Це дозволить змінювати тривалість імпульсів ШІМ на напівперіод формування вихідної напруги інвертора І (рисунок 2.6). Система управління з реалізацією такого принципу управління наведена на рисунку 2.8.

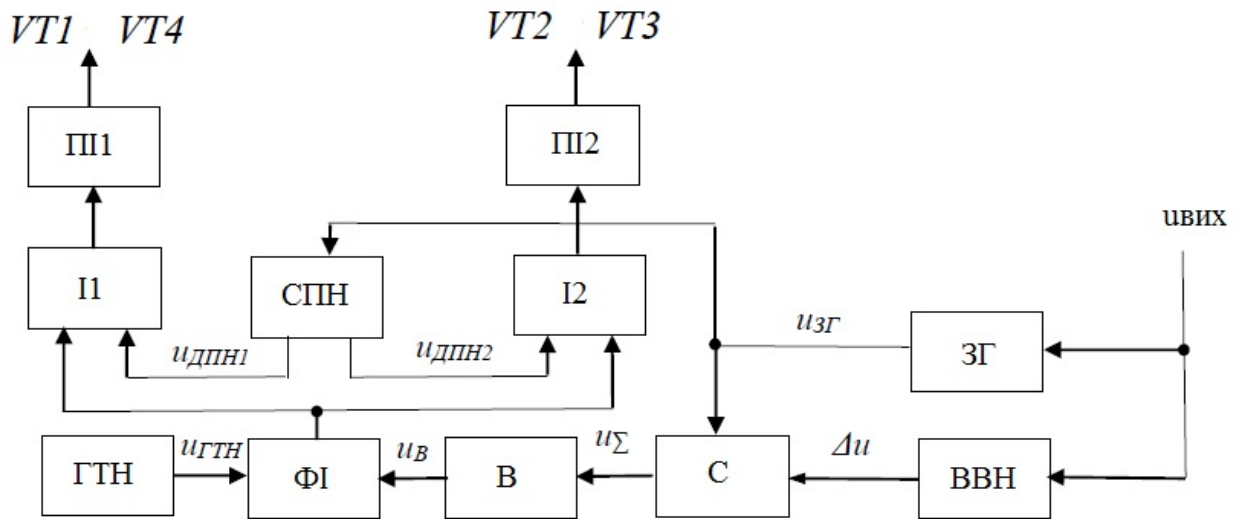


Рисунок 2.8 – Структурна схема системи управління АІ на ТОМП з опорним сигналом трикутної форми

Зі складу функціональних елементів системи управління, наведеної на рисунку 2.8, виключені трансформаторно-випрямний блок ТВБ та генератор пилкоподібної напруги ГПН та введені елементи:

- задаючий генератор сигналу синусоїдальної форми ЗГ, що є джерелом опорного сигналу;
- вимірювач відхилення напруги ВВН;
- суматор С;
- випрямляч В;
- генератор трикутної напруги ГТН.

Принцип роботи системи керування СУ автономного інвертора з опорним сигналом трикутної форми (рисунок 2.11). Задає генератор ЗГ, який виробляє опорний сигнал синусоїдальної форми $u_{зг}$, синхронізований з частотою струму, яка необхідна для споживачів електроенергії. При цьому частота напруги $u_{зг}$ може бути як рівною, так і більшою або меншою за промислову частоту, залежно від того, яку функцію виконує інвертор (стабілізувати напругу або регулювати частоту для зміни частоти обертання електропривода). Вихідна напруга від блоку ЗГ прикладається до одного з входів суматора, на другий вхід якого від вимірювача відхилення напруги

ВВН надходить сигнал Δu , якщо відбулося відхилення вихідної напруги від номінального значення. Сигнал неузгодженості Δu має синусоїдальну форму. Результируючий сигнал з виходу суматора С u_{Σ} надходить на вхід випрямляча, де перетворюється на напругу постійного струму. Далі з виходу випрямляча сигнал $u_{В1}$ (рисунок 2.9, а) надходить на перший вхід формувача імпульсів ФІ, на другий вхід формувача імпульсів надходить сигнал від генератора трикутної напруги ГТН $u_{ГТН}$ (рисунок 2.9, а).

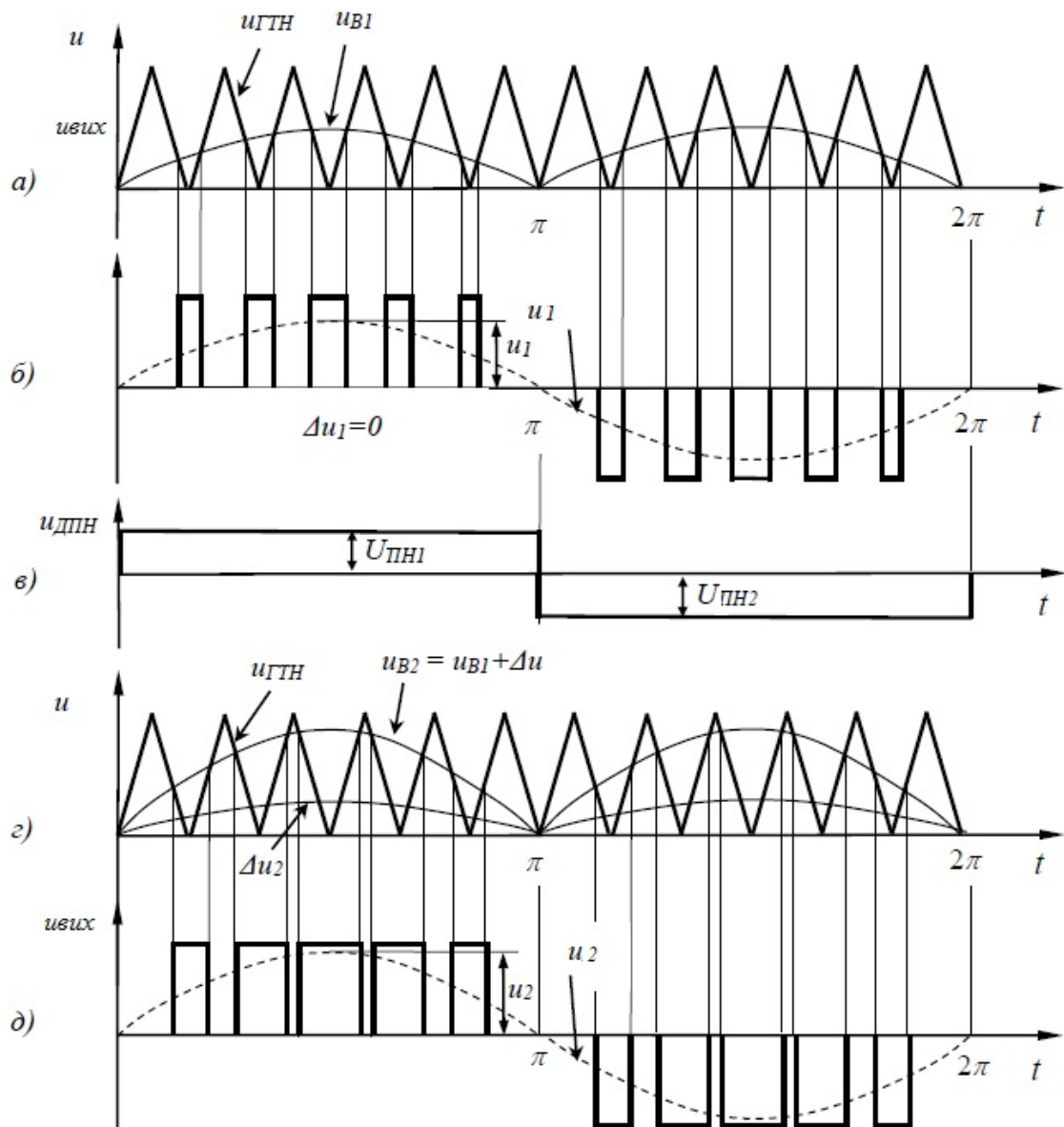


Рисунок 2.9 – Діаграми напруги АІ з опорним сигналом трикутної форми

Коли напруга на виході генератора трикутної напруги буде менше напруги на виході випрямляча, тобто. буде виконуватися умова $u_{ГТН} < u_{В1}$ на виході формувача імпульсів ФІ формуються імпульсу управління силовими транзисторами схеми перетворення І (рисунок 2.9 а, б), які, як і в попередній, розглянутій схемі управління, надходять на перші входи логічних елементів І1 і І2 (рисунок 2.9). На другі входи логічних елементів І1 та І2 надходить сигнал від сенсора полярності напруги СПН $u_{СПН}$ (рисунок 2.9, в).

На рисунку 2.10 приведена функціональна схема АІ, виконана на двох однофазних інверторах і однофазно-трёхфазному ТОМІ, а на рисунку 2.11 наведено діаграми напруг, що пояснюють принцип його роботи.

Принцип роботи АІ. Напруга джерела постійного струму U_1 прикладається до вхідних виводів двох однофазних автономних інверторів АІ1 і АІ2, виконаних на транзисторах VT1, VT2 і VT3, VT4 відповідно (рисунок 2.10).

Алгоритм роботи системи керування АІ. В якості опорного сигналу системи управління СУ застосовується сигнал трикутної форми $u_{ГТН}$, що виробляється генератором трикутної напруги ГТН.

Провідний сигнал $u_{В}$, пропорційний величині вихідної напруги АІ, виробляється трансформаторно-випрямляючим блоком ТВБ (рисунок 2.10). Ці сигнали надходять на формувач імпульсів ФІ1 через пристрій зсуву фаз ПЗФ і формувач імпульсів ФІ2 (рисунок 2.10). Коли $u_{ГТН} < u_{В}$ на виходах формувачів імпульсів формуються сигнали керування $u_{Ф1}$ та $u_{Ф2}$ (рисунок 2.11, а-г). При цьому керуючі імпульси $u_{Ф1}$ зсунуті відносно керуючих імпульсів $u_{Ф2}$ на кут φ_1 (рисунок 2.11, г).

Принцип стабілізації напруги АІ. Зміна напруги від номінальних значень фіксується вимірювачем відхилення напруги ВВН (рисунок 2.11). Наприклад, якщо напруга на виводах А, В і С перетворювача збільшилася, сигнал неузгодженості $u_{ВВН}$ від блоку ВВН надходить на пристрій зсуву фаз ПЗФ, який збільшує кут зсуву фаз між струмами, і відповідно магнітними потоками від φ_1 до φ_2 , створюваних первинними обмотками інверторів АІ1

та A_{I2} . І тут величина сумарного магнітного потоку зменшиться, тобто. $\Phi_{\Sigma 22} < \Phi_{\Sigma 11}$ (рисунок 2.11, д, е). В результаті напруга на виводах перетворювача А, В та З зменшиться до номінальних значень.

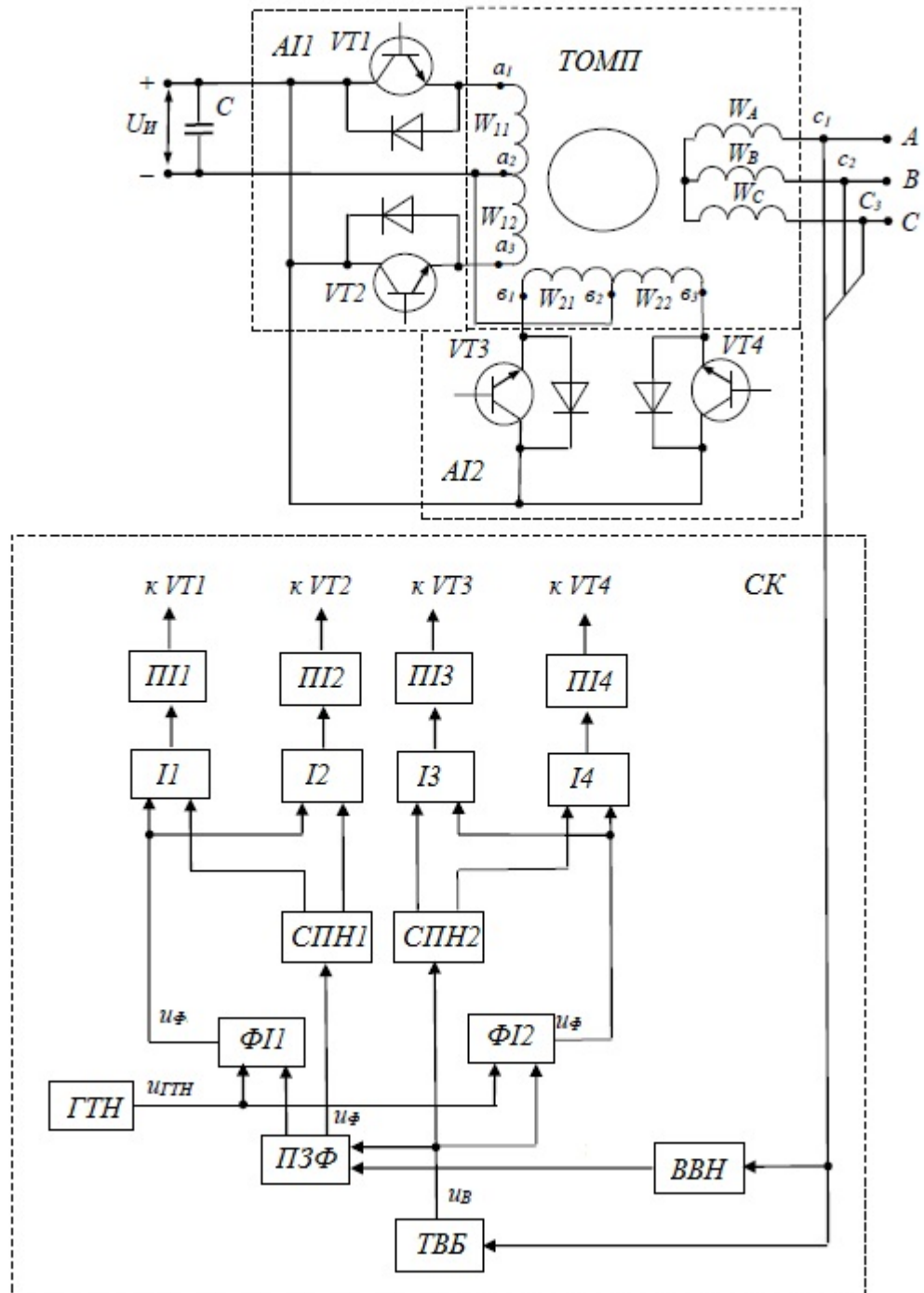


Рисунок 2.10 – Функціональна схема АІ на двох однофазних інверторах та ТОМП

Від формувача ФІ2 імпульс надходять на керуючі електроди транзисторів VT3 і VT4 відповідно через сенсор полярності напруги СПН2, логічні елементи І3 та І4, підсилювачі імпульсів ПІ3 та ПІ4.

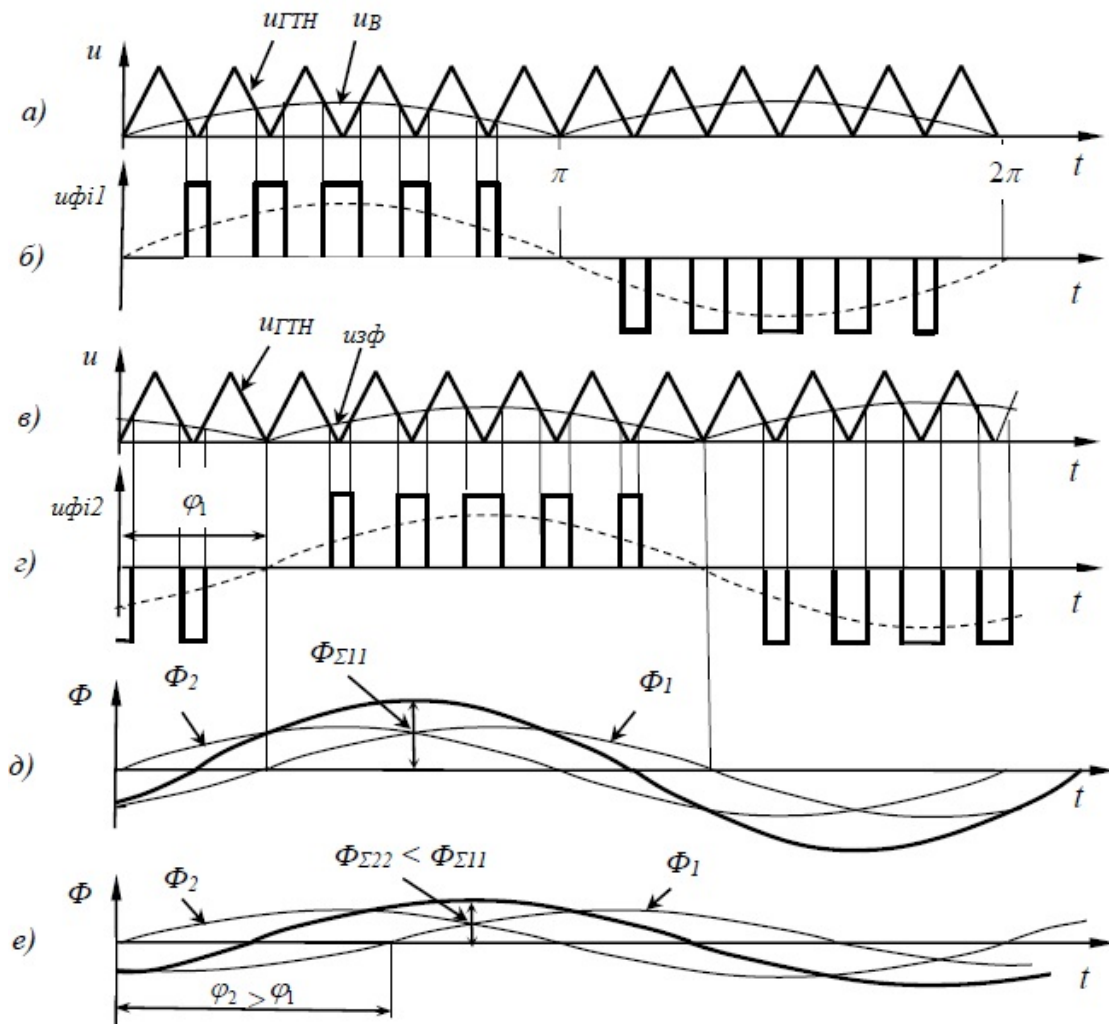


Рисунок 2.11 – Діаграми напруги схеми АІ на базі двох 1ф інверторів

Важливою особливістю розглянутих функціональних схем автономних сонячних інверторів на ТОМП є те, що вони можуть бути джерелом напруги змінного струму не тільки 50 Гц, а також 200 і 400 Гц. Для цього змінюється (вручну або автоматично) частота опорного сигналу генератора пилкоподібної напруги ГПН (рисунок 2.6), генератора, що задає синусоїдальної напруги ЗГ (рисунок 2.8) і генератора трикутної напруги ГТН (рисунок 2.10). Необхідно враховувати лише те, що зі збільшенням частоти струму на 200 і 400 Гц зменшиться загальна потужність автономного джерела електроенергії – СФЕУ, на 20-25 і 35-40 % відповідно.

Крім того, розглянуті системи управління АІ можуть генерувати напругу з частотою струму нижче за промислову з метою регулювання частоти обертання електроприводу. Це здійснюється при невеликій доробці системи управління, включивши до її структури елемент зворотного зв'язку, що контролюють частоту обертання електроприводу. Застосування АІ для регулювання частоти обертання електроприводом призведе до значного погіршення експлуатаційно-технічних характеристик перетворювача в порівнянні з випадком генерації струму підвищеної частоти.

2.4 Висновки:

На етапі проектування або вибору АІ доречно оцінювати їх ефективність за такими критеріями:

- ККД, який визначається за результатами розрахунку статичних динамічних втрат у силових електронних приладах та втрат у системі управління;
- масогабаритні показники, що включають показники розрахунку силової електронної схеми, трансформатора, вхідного та вихідного фільтрів;
- показники якості напруги, що оцінюються за величиною коефіцієнта гармонік;
- показники активної, реактивної та повної потужності.

Розглянуто існуючі схемні рішення АІ. Запропоновано функціональну схему АІ, виконану на однофазній бруківці і однофазно-трифазному ТОМП.

Розглянуто та проаналізовано функціональну схему АІ на ТОМП, де силова електронна схема перетворення виконана на двох однофазних інверторах, що містять по два напівпровідникових прилади, зсув напруг на виході яких, для отримання обертового магнітного поля здійснюється фазозсувним пристроєм системи управління.

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Розробка схеми електричної принципової та опис її роботи

Джерелом електроенергії автономного інвертора напруги є сонячна панель (батарея) з номінальною напругою постійного струму 48 В. В якості резервного джерела електроенергії застосовується акумуляторна батарея. Сонячна панель та акумуляторна панель підключаються до інвертора через контролер заряду, що дозволяє розподіляти їхній ресурс залежно від поточного режиму роботи (рисунок 3.1).

Принцип роботи. Постійна напруга від сонячних панелей прикладається до конденсатора С6, який виконує дві функції: вхідного фільтра, що забезпечує необхідну якість напруги постійного струму і згладжування пульсацій напруги під час комутації транзисторів польових силової електронної схеми інвертора. Напруга постійного струму перетворюється на напругу змінного струму двома незалежними інверторами, виконані за бруківкою на польових транзисторах VT2, VT3, VT6, VT7 і VT4, VT5, VT8, VT9 відповідно (рисунок 3.1).

З виходу інверторів напруга прикладається до первинних обмоток ТОМП W11 та W12 через фільтри Ф1 та Ф2. З вихідних обмоток ТОМП W21, W22 і W23 трифазна симетрична система напруги прикладається до шин А, В і С, до яких підключаються споживачі змінного струму (рисунок 3.1).

Центральним керуючим елементом принципової електричної схеми управління є 8-розрядний мікроконтролер DD1 типу PIC16F1827 (рисунок 3.1). Мікроконтролер здійснює керування польовими силовими транзисторами VT2-VT9 двох інверторів за допомогою високочастотних ШІМ-сигналів.

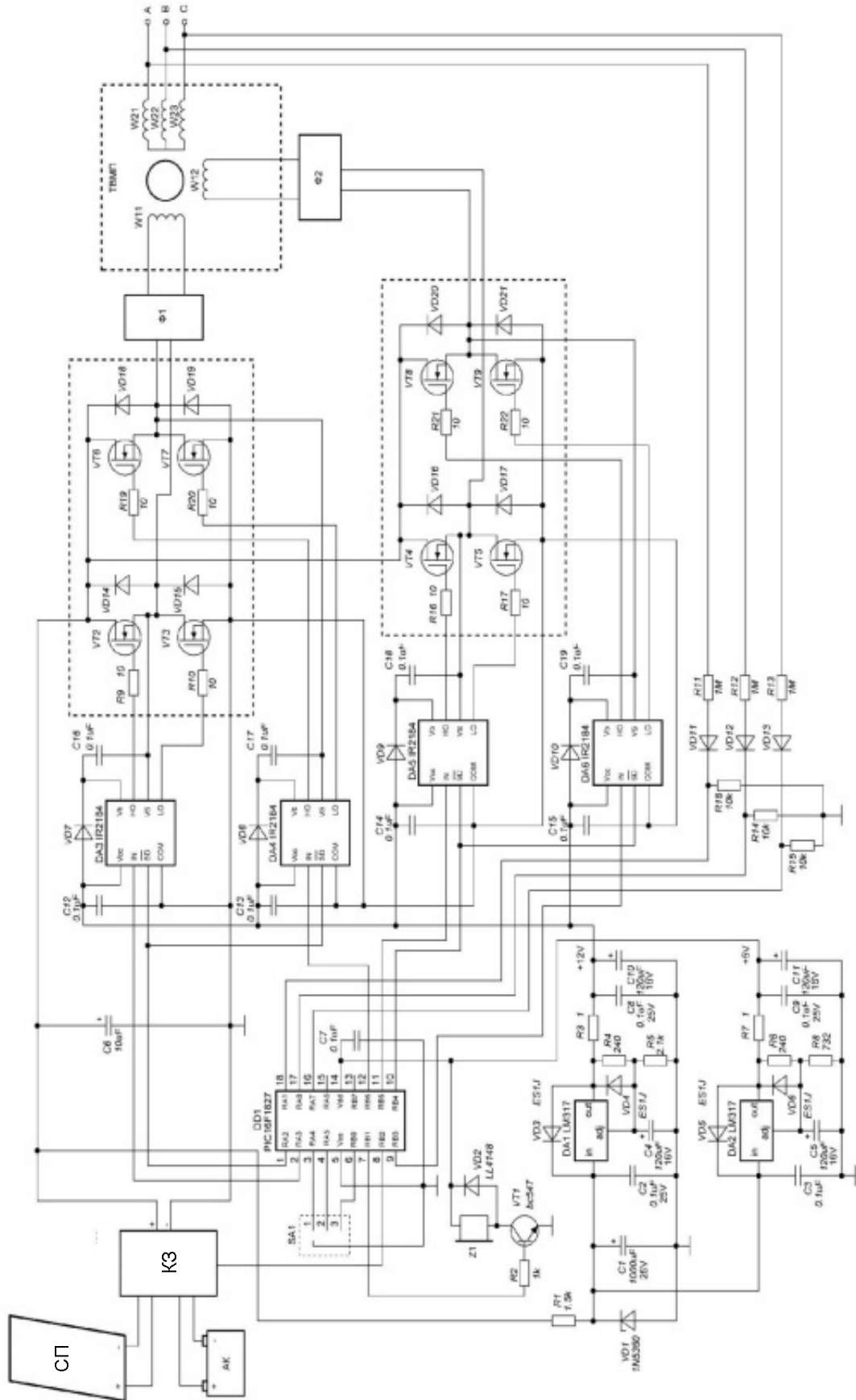


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема сонячної фотоектричної установки на базі AI з ТОМП

Керуючі виводи мікроконтролера підключені до силових транзисторів через спеціалізовані мікросхеми-драйвери DA3-DA6, що забезпечує високі регульовальні характеристики і якість управління. Діоди VD14-VD21 служать для обмеження стрибків ЕРС трансформатора з обертовим магнітним полем і захищають відповідно силові транзистори від пробою.

Для підвищення ефективності роботи автономних інверторів з різними видами навантажень у схемі передбачено перемикач режимів SA1. Наприклад, якщо у разі живлення трифазного навантаження (асинхронних електродвигунів з постійним моментом навантаження $M_c = \text{const}$) напруга на виході може регулюватися пропорційно до частоти (режим 1):

$$\frac{U}{f} = \text{const.} \quad (3.1)$$

При живленні електроприводу вентиляторів на виході інвертора може регулюватися пропорційно квадрату частоти (режим 2):

$$\frac{U}{f^2} = \text{const.} \quad (3.2)$$

У разі, коли момент навантаження обернено пропорційний швидкості, напруга на виході інвертора може регулюватися пропорційно до кореня квадратного з частоти (режим 3):

$$\frac{U}{\sqrt{f}} = \text{const.} \quad (3.3)$$

При кожному перемиканні режиму роботи схеми змінюється алгоритм роботи керуючого контролера і, відповідно, вихідні сигнали ШІМ драйверами DA3-DA6.

Зворотний зв'язок у принциповій електричній схемі (рисунок 3.1) реалізована з виходу ТОМП та за допомогою дільників напруги на резисторах R11-R13, R15, R14 та R18, сигнал подається на аналого-цифрові входи мікроконтролера DD1. При цьому мікроконтролер постійно контролює величину вихідної напруги інвертора та змінює шпаруватість керуючих

імпульсів ШІМ таким чином, щоб коливання напруги не виходили за встановлені межі. У випадку, коли напруга на виході інвертора виявляється недостатньою через обмежену потужність, що видається сонячною батареєю (похмурий день або ніч), контролер має додатковий вивід управління (8), що дозволяє перевести контролер заряду в форсований режим і перевести живлення навантаження через акумуляторний інвертор.

У схемі (рисунок 3.1) застосовуються два малопотужні стабілізатори напруги, один для мікроконтролера DD1, другий – для драйверів DA3-DA6. Стабілізатор напруги контролера виконаний на основі регульованої інтегральної схеми DA2 типу LM317 з вихідною напругою 5 В. Стабілізатор напруги драйверів вихідних транзисторів виконаний на основі інтегральної схеми DA1 з вихідною напругою 12 В.

Вхідна напруга двох стабілізаторів прикладається від первинного параметричного стабілізатора, виконаного на базі баластного резистора R1 та стабілітрона VD1. Даний ланцюжок забезпечує зниження напруги до 25 від первинного джерела живлення схеми і підключена до виходу контролера заряду. Зважаючи на малий струм та схему споживання розсіювана потужність на резисторі R1 мала і практично не впливає на загальний високий ККД інвертора напруги.

У схемі автономного інвертора напруги передбачена звукова сигналізація, виконана на основі звукового випромінювача Z1, яка спрацьовує у разі аварійного режиму роботи статичного перетворювача напруги або сигналізації при перемиканні різних режимів роботи інвертора.

Алгоритм роботи системи управління автономним інвертором наведений малюнку 3.2.

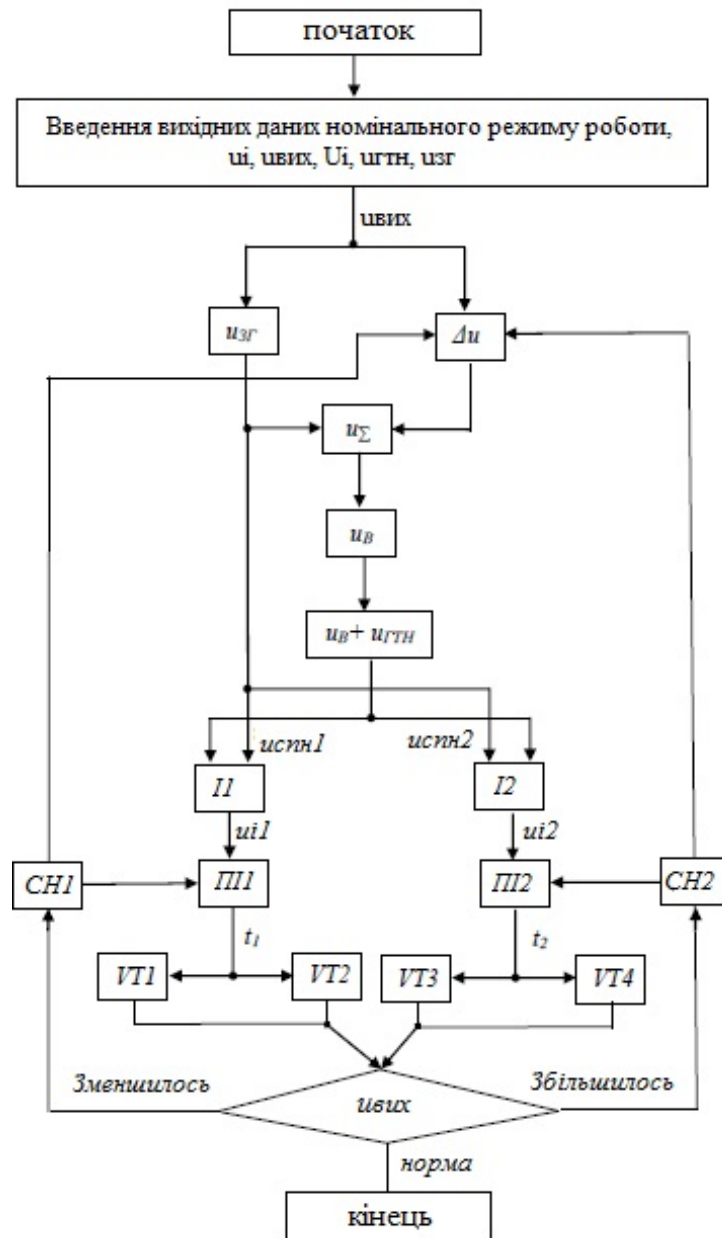


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи системи керування автономним інвертором

Оскільки силові електронні транзистори VT2-VT9 працюють у ключовому режимі та мають дуже малий опір у відкритому стані, втрати на них невеликі, тому інвертор має високий ККД у будь-яких режимах експлуатації. Застосування мікроконтролера дозволяє гнучко керувати характеристиками інвертора, а також мати високі експлуатаційні характеристики. Для розробки програми роботи мікропроцесора, який здійснює управління роботою силових електронних приладів сонячного інвертора, розроблено алгоритм, приведений на рисунку 3.2.

На рисунку 3.2 позначення функціональних елементів та їх вихідних параметрів розкриваються при поясненні принципу роботи системи управління, наведеної на малюнку 2.6. Позначення t_1 і t_2 , що застосовуються в алгоритмі, - час відкритого стану польових транзисторів VT1, VT2 і VT3, VT4 відповідно, ДН1 і ДН2 - датчики напруги, що фіксують перевищення норми відхилення напруги. Після спрацьовування датчиків ДН1 або ДН2 припиняється подача імпульсів керування на електронні силові прилади інвертора - транзистори VT1-VT4.

Для зміни величини частоти струму на виході АІ необхідно змінити частоту напруги генератора, що задає изг (рисунок 3.2). При цьому, розрахунки показали, що зі збільшенням частоти рівня 200 Гц, ККД автономного інвертора зменшиться на 5– 8 %.

3.2 Висновок:

Розроблено принципову електричну схему автономного інвертора, виконану на базі польових транзисторів і однофазно-трьохфазного трансформатора з обертовим магнітним полем з використанням мікропроцесорної техніки та алгоритм роботи системи управління з перетворення та стабілізації напруги для розробки програми роботи мікропроцесора, який здійснює управління роботою силових електронних приладів сонячного інвертора.

4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

4.1 Особливості математичного моделювання інверторів та трансформаторів автономних систем електропостачання

Відомо, що дослідження електромагнітних процесів, які у системах електропостачання на фізичних моделях, пов'язані з великими витратами і трудомісткістю проведення експериментальних досліджень. Проте, розроблений сьогодні математичний апарат, зокрема програмне забезпечення, дозволяють із високою ефективністю проводити дослідження окремих функціональних елементів, зокрема автономних інверторів СФЕУ. Силові схеми статичних перетворювачів електроенергії в електротехніці є електричними схемами заміщення. Важливими факторами, що визначають точність математичного моделювання, є прийняті припущення при складанні схеми заміщення [14-18].

Основним припущенням при математичному моделюванні фізичних процесів, що протікають у силових схемах заміщення статичних перетворювачів електроенергії, приймається лінійний характер вольтамперних характеристик електронних приладів та реактивних елементів.

Заміна нелінійної вольт-амперної характеристики на лінійну ґрунтується на тому, що силовий електронний прилад знаходиться або у закритому стані, або у відкритому. При цьому, як правило, щодо транзисторів, на нелінійній ділянці прилад знаходиться протягом короткого часу. Тому, загалом, це впливає на точність розрахунків, визначених точністю відтворення основних характеристик транзисторів силової схеми автономного інвертора [16-18].

Крім того, при математичному моделюванні силових електронних приладів приймають припущення, що комутація приладів відбувається

миттєво, струм, що протікає через напівпровідниковий прилад і напруга на приладі змінюються стрибком.

Для спрощення опису електромагнітних процесів у трансформаторі реальний трансформатор, замінюють трансформатором, у якого число витків первинної обмотки дорівнює числу витків вторинної обмотки.

І тому проводиться перерахунок параметрів вторинної обмотки трансформатора. Таким чином, у схемі заміщення інвертора замість реального трансформатора, що підвищує, отримують еквівалентний трансформатор з коефіцієнтом трансформації рівним одиниці. Причому всі величини наведеної вторинної обмотки виражаються таким чином, щоб електромагнітні процеси в трансформаторі не змінювалися, тобто потужність кожної обмотки та фазові зрушення між струмами та напругами у вторинній обмотці наведеного трансформатора залишаються такими ж, як і в реальному трансформаторі.

4.2 Розробка електричної схеми заміщення та блок-схеми комп'ютерної моделі

Моделювання режимів роботи автономного інвертора на ТОМП проводиться для функціональної схеми, наведеної малюнку 3.1. На рисунку 4.1 наведена принципова електрична схема заміщення автономного інвертора, його вхідного і вихідного фільтра, з підключеним джерелом електроенергії постійного струму U_I , і схема заміщення первинної обмотки ТОМП, а на малюнку 4.2 – принципова електрична схема заміщення вторинної обмотки ТОМП і навантаження.

На рисунку 4.1: U_I – джерело напруги постійного струму; C_1 – конденсатор вхідного інфільтратора фільтра; R_1, R_2, R_3 та R_4 – опори емітерно-колекторного переходу транзисторів інвертора; L_Φ та C_Φ – індуктивність та ємність вихідного фільтра; R_{11}, R_{12} та L_{11}, L_{12} – активні опори та індуктивності первинних обмоток ТОМП; C_2 – фазозсувний

конденсатор трансформатора; R_m і L_m – опір та індуктивність контуру намагнічення.

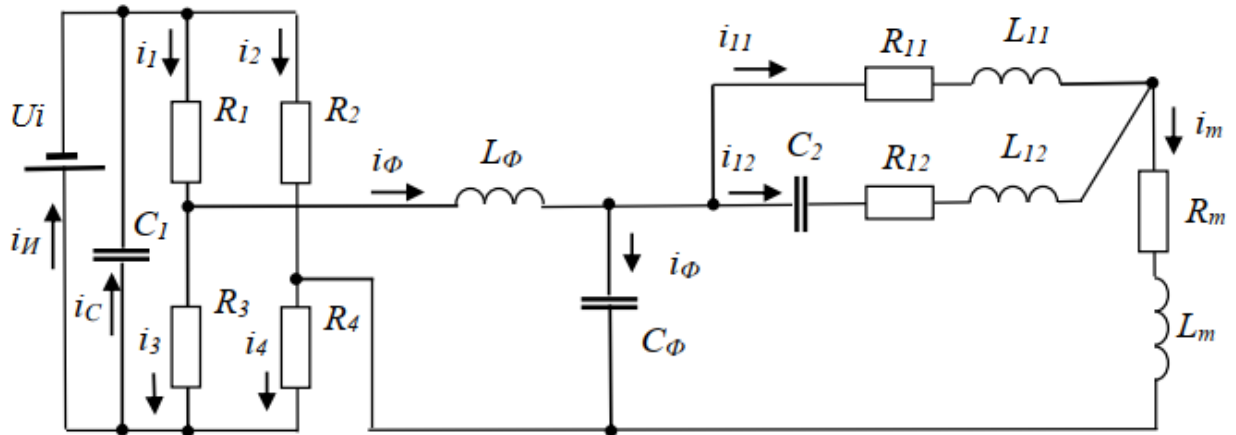


Рисунок 4.1 – Принципова електрична схема заміщення інвертора та первинної обмотки ТОМП

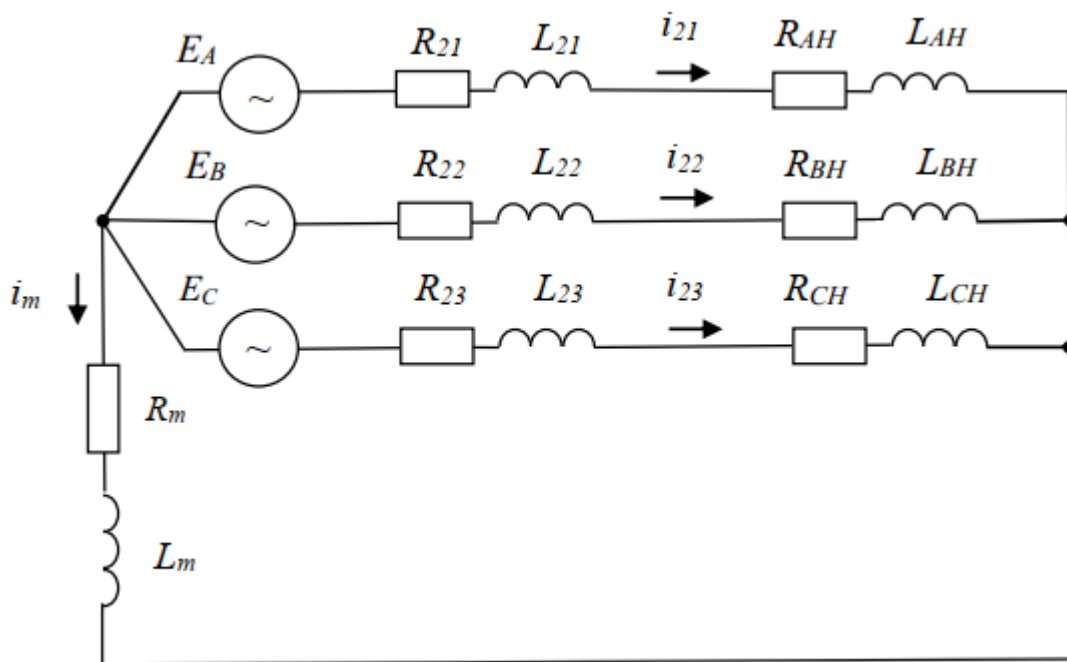


Рисунок 4.2 – Принципова електрична схема заміщення вторинної обмотки ТОМП та трифазного навантаження

На рисунку 4.2: E_A , E_B і E_C – джерела ЕРС трифазної системи напруг; R_{21} , R_{22} , R_{23} і L_{21} , L_{22} , L_{23} – активні опори та індуктивності вторинних обмоток ТОМП; R_{1A} , R_{1B} , R_{1C} і L_{1A} , L_{1B} , L_{1C} – активні опори та індуктивності навантаження.

На рисунку 4.3 приведено блок-схему комп'ютерної моделі принципової електричної схеми заміщення інвертора та первинної обмотки ТОМП, наведеної на рисунку 4.1, а на рисунку 4.4 – блок-схема комп'ютерної моделі принципової електричної схеми заміщення вторинної обмотки ТОМП та трьохфазного навантаження. Блок-схеми розроблені з використанням мови програмування ППП MATLAB Simulink.

Основним завданням комп'ютерного моделювання є отримання динамічних характеристик амплітудних значень струмів і напруг на елементах схеми заміщення, а також визначення часу перехідних процесів під час комутації силових електронних приладів АІ в нормальних режимах, стабілізації напруги та в аварійних режимах.

Для дослідження режимів роботи АІ на ТОМП необхідно визначити параметри схем заміщення.

На рисунку 4.3 прийнято такі позначення функціональних блоків:

1 – графічний інтерфейс користувача; 2 - 2-х рівневий ШІМ генератор; 3 – універсальний міст; 4, 5 - RL-коло; 6 - RLC-коло; 7, 8 – датчики напруги; 9–13 – сенсори струму; 14–20 – осцилограф; 21-23 – блок екстраполятора нульового порядку; 24-26 – аналізатор спектру; 27–30 – фільтр низьких частот; 31 – джерело постійної ЕРС.

На рисунку 4.4 прийнято такі позначення функціональних блоків:

1 – графічний інтерфейс користувача; 2-4 – трифазна система напруг; 5-8, 16-18 – RL-кола; 9-12 – сенсори струму; 13-15 – сенсори напруги; 19-21 – осцилограф; 22-24 – фільтр низьких частот; 25-28 – блок екстраполятора нульового порядку; 29-32 – аналізатор спектру.

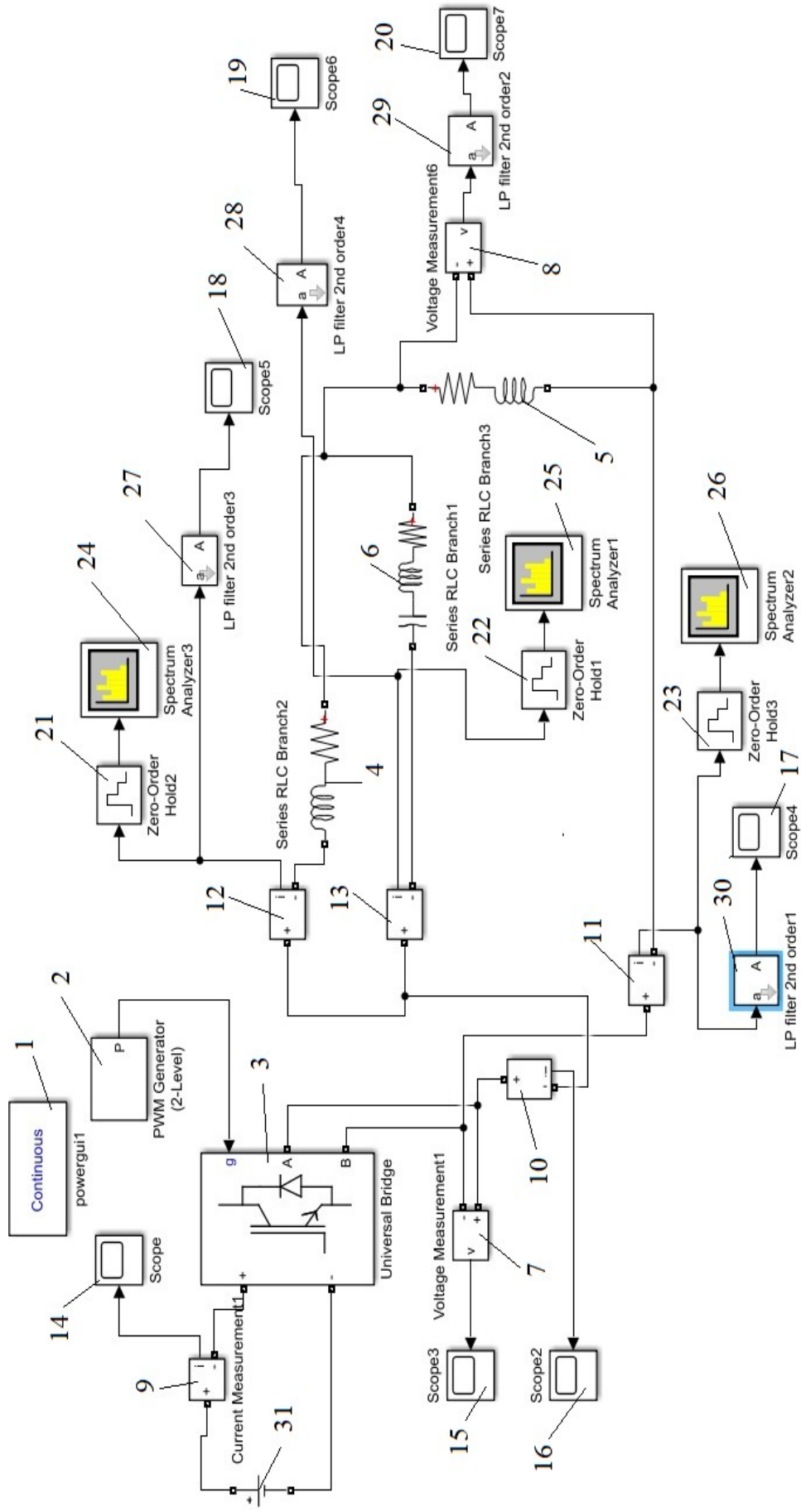


Рисунок 4.3 – Блок-схема комп'ютерної моделі інвертора (рисунок 4.1):

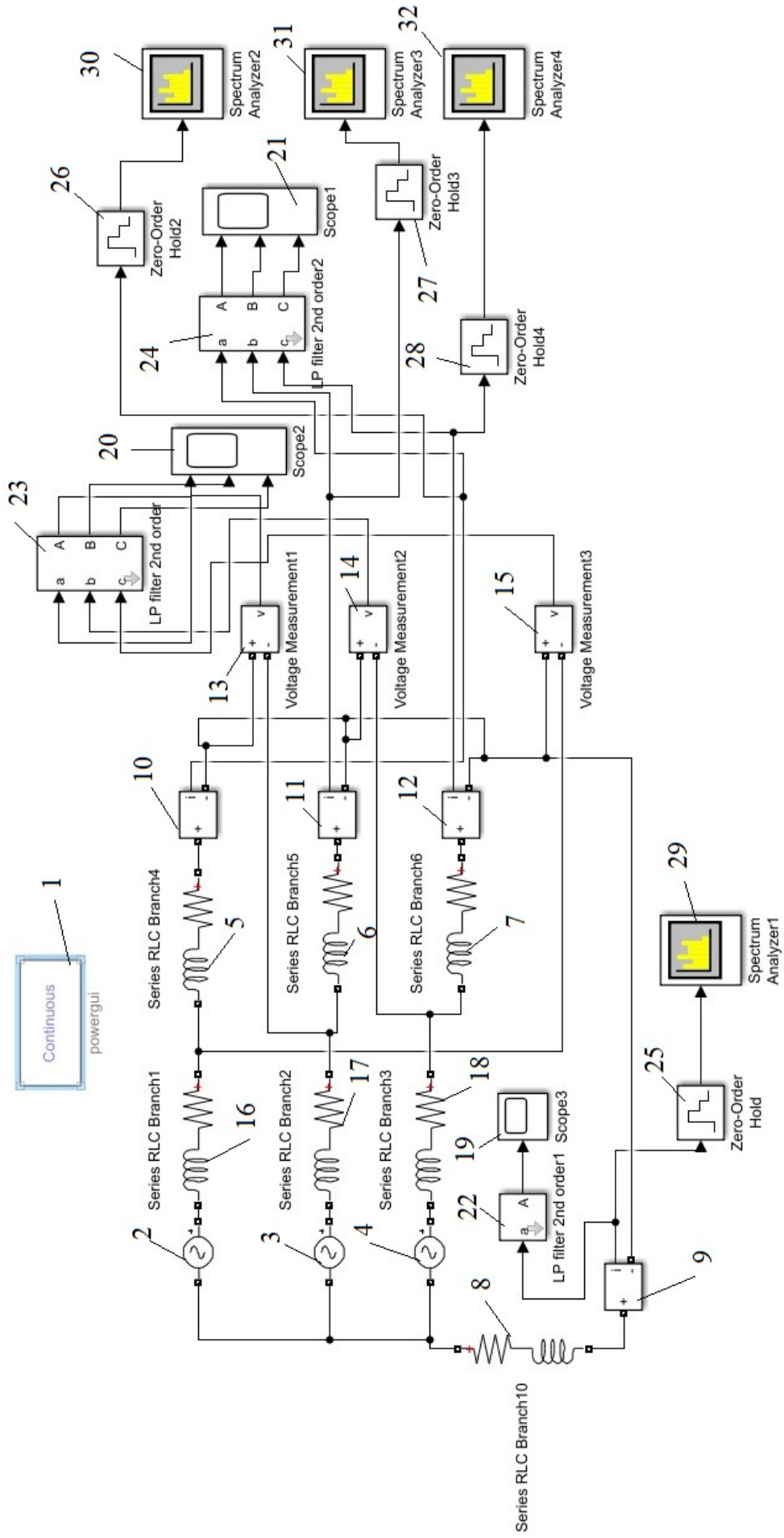


Рисунок 4.4 – Блок-схема комп'ютерної моделі ТОМП (рисунок 4.2)

4.3 Розрахунок параметрів електричної схеми заміщення

В основу розрахунку методики параметрів електричних схем заміщення АІ та ТОМП (рисунок 4.1 та малюнок 4.2), використовувалися методики розрахунку електричних параметрів мостових схем автономних інверторів, розрахунок параметрів схем заміщення трансформаторів та асинхронних двигунів з фаз.

Напругу джерела живлення U_1 вибираємо рівною 24 В, що відповідає номінальній напрузі сонячних батарей. Фазна напруга навантаження $U_\phi = 220$ В, номінальна потужність навантаження $S_H = 5$ кВт, коефіцієнт потужності навантаження $\cos\varphi_H = 0,8$.

Опір резисторів R_1 , R_2 , R_3 та R_4 мають два значення: для відкритого стану 0,1 Ом, а для закритого – 10^5 Ом.

Параметри активних опорів первинних і вторинних обмоток схеми заміщення однофазно-трифазного ТОМП R_{11} , R_{12} і R_{21} , R_{22} , R_{23} , а також ємність фазозсувного конденсатора C_2 визначаються за формулами, розглянутими в [16-18].

З урахуванням, що повна потужність вторинних обмоток ТОМП S_2 дорівнює номінальній потужності навантаження S_H , то повна потужність первинних обмоток

$$S_1 = S_2 / \eta_T, \quad (4.1)$$

де η_T – ККД трансформатора, що визначається на підставі досвіду експлуатації асинхронних електричних машин із фазним ротором, але за відсутності повітряного зазору.

Активна потужність первинних обмоток

$$P_1 = S_1 \cos\varphi_H \quad (4.2)$$

Індуктивні опори розсіювання первинних обмоток ТОМП визначаються з урахуванням формули

$$x_{11} = x_{12} \approx 0,05 \cdot \frac{U_i}{S_1} \quad (4.3)$$

Індуктивність первинних обмоток

$$L_{11} = L_{12} = x_{11} / 2\pi f \quad (4.4)$$

Струм холостого ходу трансформатора

$$I_o = (0,1 \div 0,02) I_{11} \quad (4.5)$$

Коефіцієнт потужності трансформатора на холостому ходу змінюється не більше $\cos\varphi_o = 0,08 \div 0,09$. Втрати в ТОМП на неодруженому ходу

$$P_o = U_1 I_o \varphi_o \quad (4.6)$$

Повний опір гілки намагнічування

$$Z_m \approx U_i I_o \quad (4.7)$$

Активний опір гілки намагнічування

$$R_m = P_o I_o^2 = Z_m \varphi_o \quad (4.8)$$

Індуктивний опір гілки намагнічування

$$x_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} \quad (4.9)$$

Індуктивність гілки намагнічування

$$L_m = x_m / 2\pi f \quad (4.10)$$

Струм у вторинній обмотці трансформатора

$$I_{21} = I_{11} / k, \quad (4.11)$$

де k – коефіцієнт трансформації.

Як відомо при розрахунках параметрів схеми заміщення, параметри схеми заміщення вторинної обмотки трансформатора наводяться по напрузі до параметрів первинної обмотки.

Наведені значення струму та напруги у вторинних обмотках

$$I'_2 = I_2/k, U'_2 = U_2/k \quad (4.12)$$

Наведені значення активного та індуктивного опору вторинних обмоток ТОМП

$$R'_{21} = R_{11}, x'_{21} = x_{11} \quad (4.13)$$

Тоді, активний та індуктивний опір вторинних обмоток трансформатора

$$R_{21} = R'_{21}/k^2, x_{21} = x'_{21}/k^2 \quad (4.14)$$

Індуктивність вторинної обмотки

$$L_{21} = x_{21} \pi f \quad (4.15)$$

Для підвищення якості вихідної напруги АІ та зменшення впливу комутаційних перенапруг, що виникають під час роботи силових електронних приладів, на джерела електроенергії важливо точно визначити параметри вихідного та вхідного фільтра.

Аналітично складно описати гармонійний склад вихідної напруги АІ із широтною імпульсною його модуляцією. Що ускладнює розробку точних методів розрахунку вихідного фільтра перетворювача.

Однак, якщо врахувати дискретність параметрів реальних елементів пасивного Г-подібного LC-фільтра, практична точність таких методів невисока. Тому в основу методик розрахунку пасивних фільтрів інверторів покладено питання оптимізації показників їх ефективності, якими є ККД та масогабаритні показники.

Практика проектування ІН показала, що, як правило, що менше маса фільтрів, то вище їх ККД. Тому пропонується методика спрощеного розрахунку параметрів LC-фільтрів ІН, в основу якої покладено критерій мінімуму маси та габаритів.

Розрахунок параметрів вихідного фільтра починається з визначення шпаруватості імпульсів при ШІМ вихідної напруги

$$\lambda = \frac{t}{T_k}, \quad (4.16)$$

де t – сумарна тривалість всіх імпульсів за період формування вихідної напруги;

T_k – період комутації, включаючи проміжок часу тривалості імпульсів та пауз.

Основною вимогою, що висуваються до вихідних фільтрів інверторів, є забезпечення заданого значення коефіцієнта гармонік K_Γ значення якого можна визначити за формулою

$$K_\Gamma = \frac{(R + R_H) \cdot T_k^2}{64 \cdot R_H LC}, \quad (4.17)$$

де R – опір, що враховує загальні втрати у фільтрі;

R_H – опір навантаження;

L і C – індуктивність та ємність фільтра відповідно.

Розрахунок параметрів трифазного навантаження, включеного за схемою «зірка», починається з визначення загального активного опору однієї фази

$$R_{AH} = P_2 / 3 \cdot I_{21}^2, \quad (4.18)$$

де P_2 – активна потужність навантаження.

$$P_2 = 3U_\phi I_\phi \cos\phi_H, \quad (4.19)$$

де $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ – фазна напруга;

I_{ϕ} – фазний струм, визначається з урахуванням повної потужності S_2 ;

$\cos \varphi = 0,8$ – коефіцієнт потужності навантаження.

Реактивна потужність навантаження

$$Q_H = S_2 \varphi_H \quad (4.20)$$

Індуктивний опір однієї фази навантаження

$$x_H = Q_H / 3 \cdot I_H^2. \quad (4.21)$$

Індуктивність однієї фази навантаження

$$L_H = x_H / 2\pi f. \quad (4.22)$$

Повний опір однієї фази навантаження

$$Z_1 = \sqrt{x_H^2 - R_H^2}. \quad (4.23)$$

Наведені значення параметрів навантаження визначаються за формулами

$$Z_1' = Z_1 \cdot k^2, R_1' = R_1 \cdot k^2, x_1' = x_1 \cdot k^2 \quad (4.24)$$

Особливістю запропонованої методики спрощеного розрахунку параметрів схеми заміщення автономного інвертора на ТОМП є те, що при їх розрахунку не враховуються втрати на вихрові струми в трансформаторі, крім того, конструкція активної частини трансформатора, виконаного на асинхронному двигуні з фазним ротором, виключений повітря цьому, відхилення основних показників оцінки ефективності (масогобаритних показників та ККД) порівняно з відомими методиками розрахунку інверторів та електричних машин не перевищує 3 %.

4.4 Результати комп'ютерного моделювання режимів роботи інвертора

Основною метою комп'ютерного моделювання було на підставі аналізу отриманих результатів розробити рекомендації щодо проектування енергоефективних АІ на ТОМП.

Основні завдання комп'ютерного моделювання:

- отримати амплітудні значення напруги та струмів на елементах схеми заміщення та на навантаженні в нормальних та аварійних режимах роботи;
- визначити тривалість перехідних процесів у нормальних та аварійних режимах роботи;
- визначити гармонійний склад вихідної напруги інвертора при ШІМ вихідної напруги з різною кількістю імпульсів моделювання.

У процесі моделювання були отримані сімейства динамічних характеристик різних режимів роботи АІ.

На рисунку 4.5 наведено графіки ШІМ вихідної напруги інвертора при модуляції з 5 та 9 імпульсами.

На рисунку 4.6 наведено графік спектрального складу вихідної напруги інвертора. Як видно з графіків, при модуляції вихідної напруги, використовуючи 9 імпульсів, спектральний склад вихідної напруги значно кращий, ніж при модуляції вихідної напруги, використовуючи 5 імпульсів.

На рисунку 4.7 наведено форму струму на виході однофазного інвертора без підключеного вихідного фільтра.

На рисунках 4.8 та 4.9 відповідно наведені графіки струмів в трифазному симетричному навантаженні та часові діаграми фазних струмів та напруг в навантаженні.

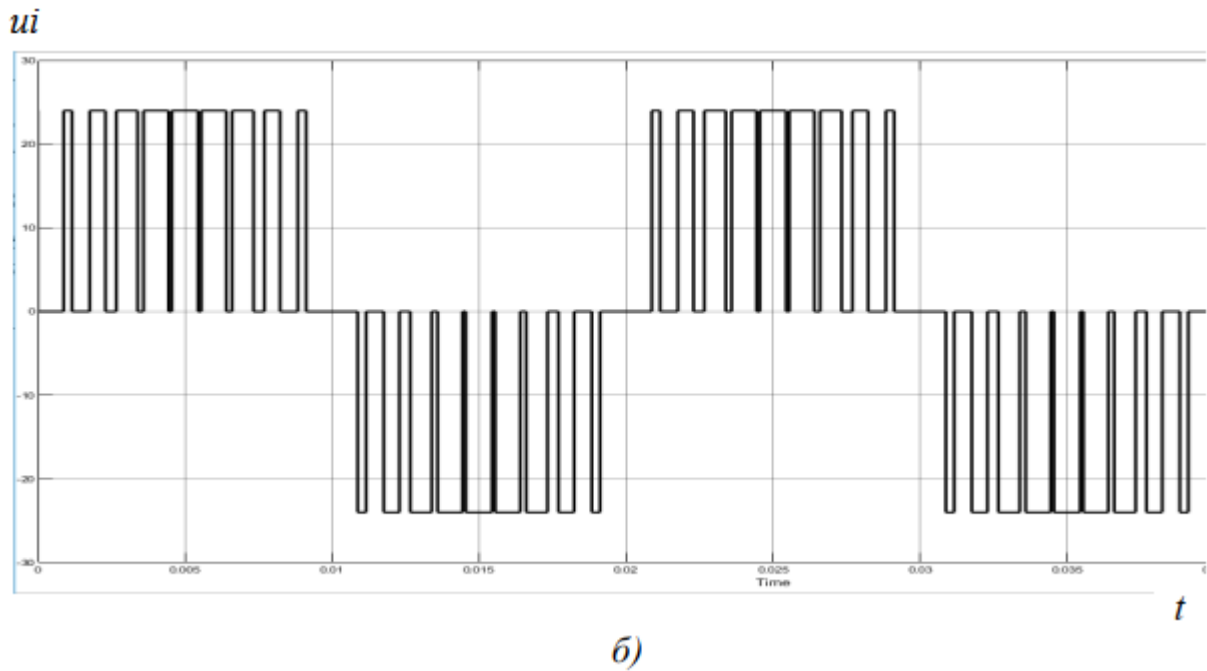
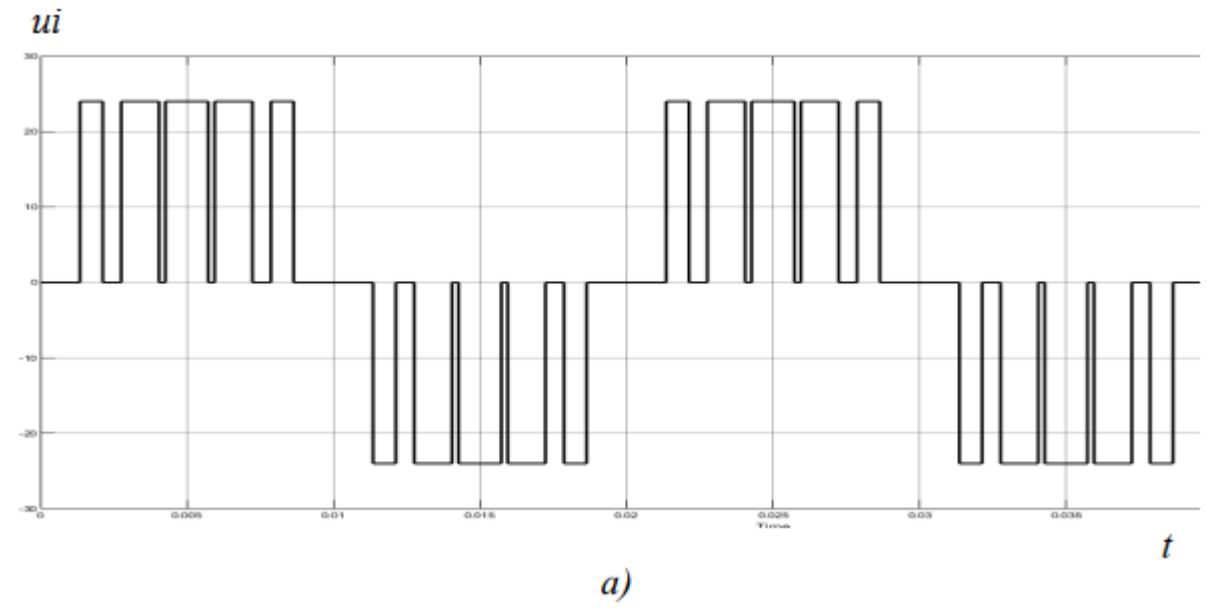
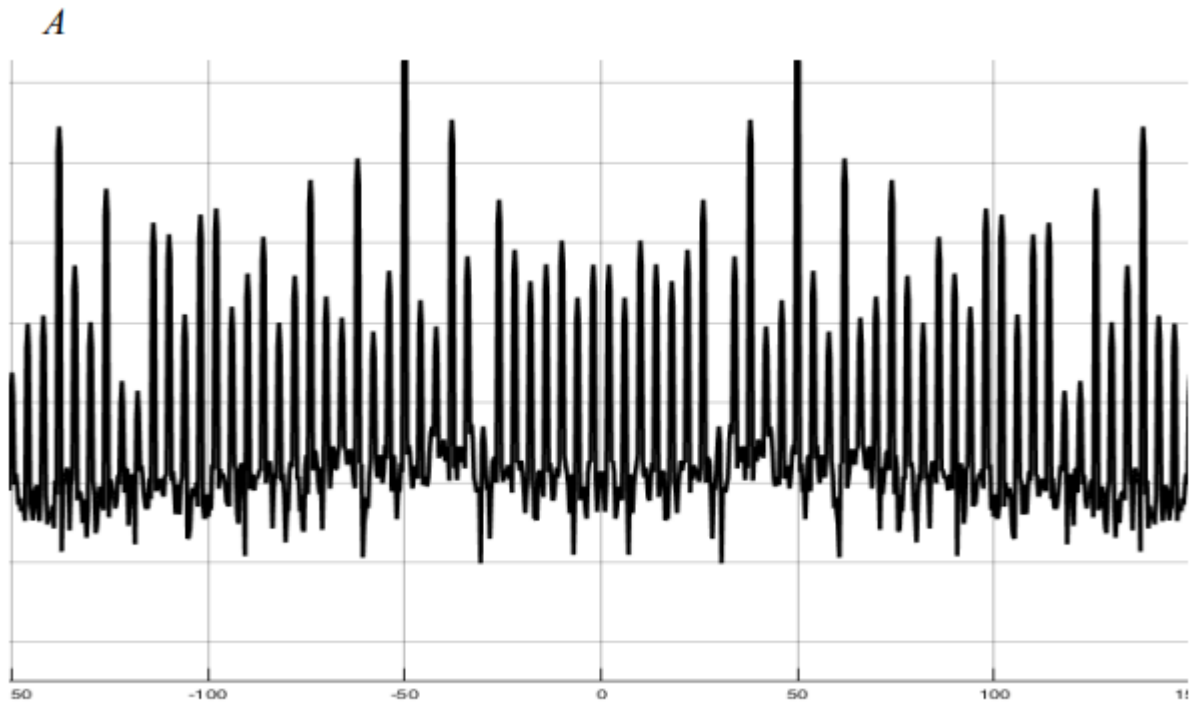


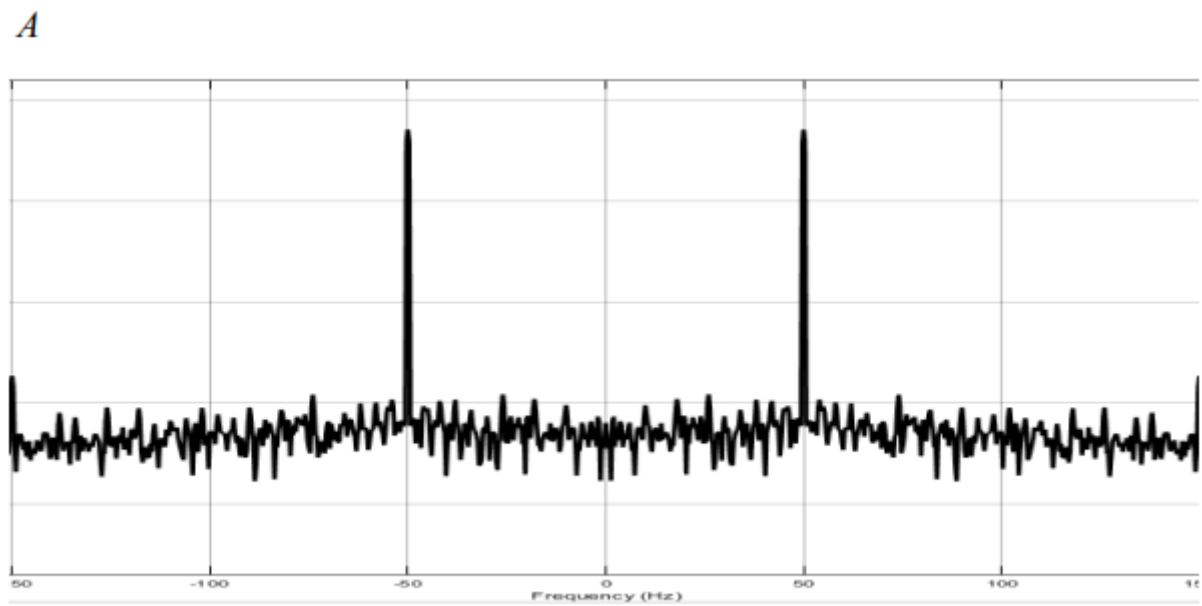
Рисунок 4.5 – ШІМ вихідної напруги однофазного інвертора:

а) 5 імпульсів;

б) 9 імпульсів



a)



б)

Рисунок 4.6 – Графік спектрального аналізу вихідної напруги інвертора:

а) ШІМ з 5 модулюючих імпульсів;

б) ШІМ з 9 модулюючих імпульсів

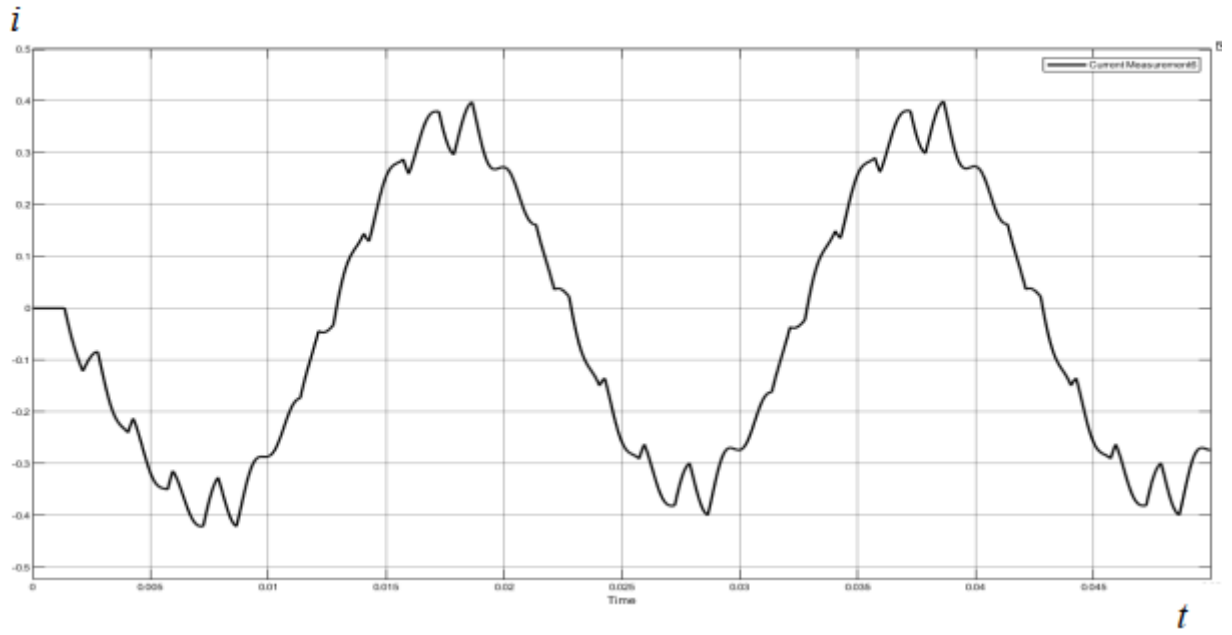


Рисунок 4.7 – Форма струму на виході однофазної схеми інвертора

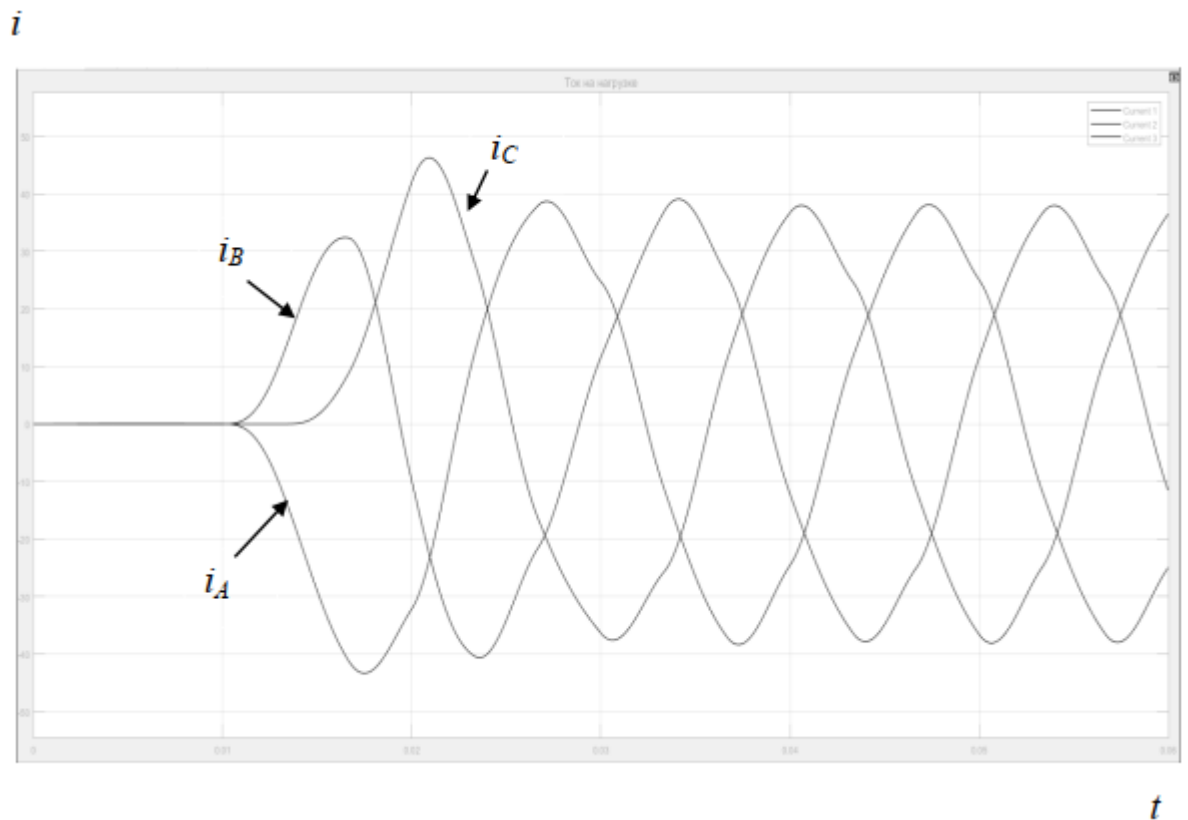


Рисунок 4.8 – Струми в трифазному симетричному навантаженні

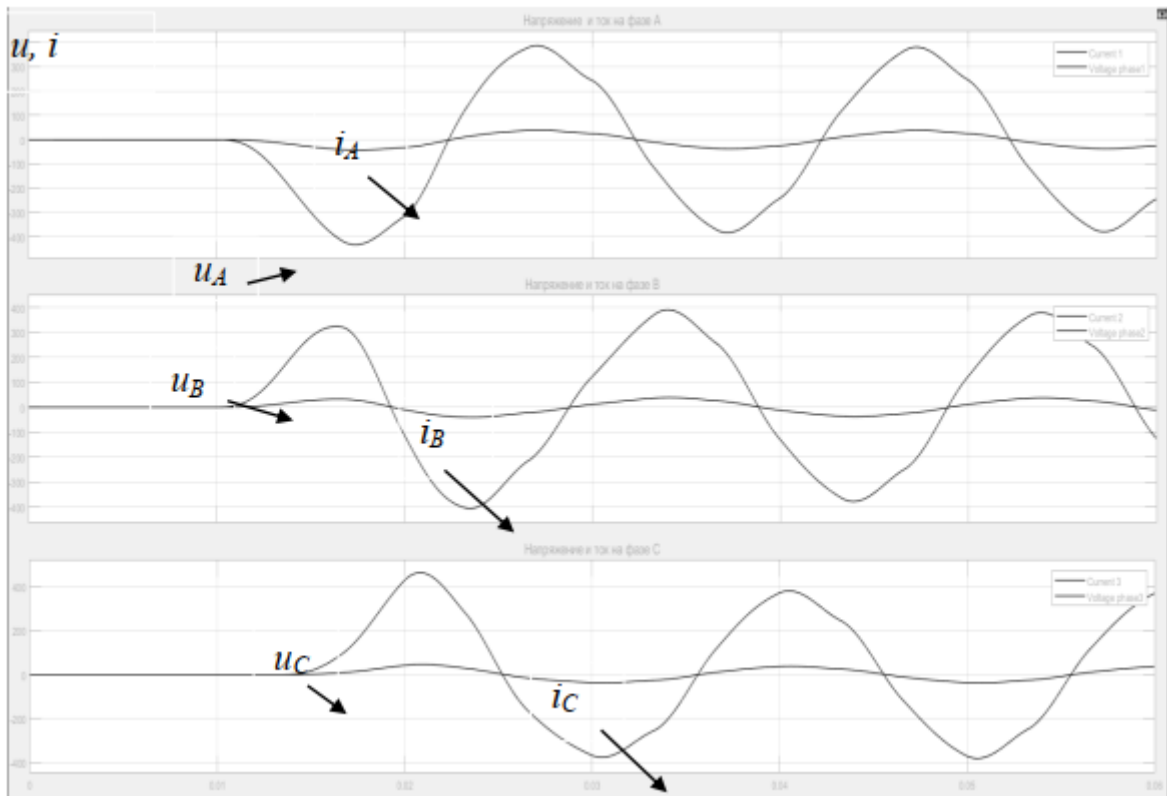


Рисунок 4.9 – Часові діаграми фазних струмів та напруг в навантаженні

Результати комп'ютерного моделювання показали, що з проектуванні АІ на ТВМП необхідно враховувати такі чинники, які впливають у цілому експлуатаційно-технічні, зокрема і енергетичні характеристики перетворювача:

1) поліпшити характеристики фільтра інвертора можна за рахунок поліпшення спектрального складу вихідної напруги електронної схеми перетворення постійного струму в змінний, при цьому модулюючих імпульсів при ШІМ вихідної напруги має бути не менше дев'яти;

2) необхідної його якості можна при зміні модулюючих імпульсів від 9 до 13 при формуванні однієї напівхвилі;

3) тривалість перехідних процесів на виході інвертора залежить від параметрів вихідного фільтра, з урахуванням забезпечення необхідної якості напруги та мінімальної тривалості перехідних процесів параметри Г-подібного фільтра повинні змінюватися в межах: ємність $C \cdot B$ від 0,9 до 1,4, індуктивність від 3 до 5;

4) тривалість перехідних процесів залежить від кількості модулюючих імпульсів, а переважно визначається характером навантаження. Так за значення коефіцієнта потужності $\cos = \varphi 0,8$ тривалість перехідних процесів у нормальному режимі роботи не перевищує 0,03 с;

5) при КЗ в первинних обмотках ТВМП необхідно передбачити захист, який знімав би керуючі сигнали з транзисторів інвертора, тим самим, забезпечуючи розрив зв'язку між сонячними батареями і трансформатором;

6) Для захисту АІ від аварійних режимів роботи в навантаженні достатньо застосовувати автоматичні вимикачі або плавкі запобіжники, що швидко діють.

4.5 Висновки:

Для дослідження роботи АІ на однофазно-трифазному ТОМП розроблено принципову електричну схему заміщення, що складається з двох блоків: джерело напруги постійного струму, вхідний фільтр, силова схема перетворення, вихідний фільтр, первинні обмотки ТОМП, які є навантаженням для автономного інвертора; вторинні обмотки ТОМП, трифазне навантаження. Запропоновано методику розрахунку параметрів схеми заміщення АІ на ТОМП з підключеним джерелом та навантаженням.

Розроблено комп'ютерну блок-схему АІ на однофазно-трифазному ТОМП з використанням можливостей ППП MATLAB Simulink. У процесі моделювання отримані сімейства динамічних характеристик для різних режимів роботи АІ, що характеризують амплітудні значення струмів та напруг, перехідні процеси та спектральний склад вихідної напруги електронної схеми перетворювача.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Технічне обґрунтування вибору складових системи СЕП СФЕС

Сонячна енергія знаходить застосування у самих різноманітних сферах діяльності людини:

- промислові тепло- і електростанції;
- станції постачання тепловою та електричною енергією різного роду будівель та приміщень;
- економічновигідні установки для приватних будинків;
- застосування еластичних сонячних батарей в якості будівельного матеріалу;
- резервні джерела живлення в товарах масового споживання: калькулятори, годинник, ноутбуки, ліхтарі, акумулятори та ін .;
- резервні джерела живлення транспортних засобів;
- висвітлення в темний час добидорожніх знаків та іншого за рахунок накопиченої енергії сонця.

Однією з головних особливостей проектованої та досліджуваної сонячної фотоелектричної станції із слідкуючим електроприводом (СФЕС з СЕП) є її здатність забезпечити гарантоване електропостачання автономного споживача і дати йому можливість користуватися домашніми побутовими приладами.

Серед техніко-економічних вимог, що пред'являються до СЕП СФЕС, необхідно виділити наступні:

- високі значення потужності і моменту на валу виконавчого двигуна при мінімальних масі і габаритах;
- підвищена перевантажувальна здатність приводу в короткочасному і повторно-короткочасному режимах роботи приводу;
- висока ремонтпридатність;
- мала енергоємність;
- уніфікація вузлів і елементів;

- економічність і низька вартість.

Оскільки повне поєднання всіх вимог в одному пристрої практично неможливо, тому при розробці конкретного СЕП СФЕС врахування одних вимог досягається за рахунок нехтування інших. Технічні вимоги СЕП СФЕС підтверджують необхідність побудови високодинамічних систем [24,25]:

- діапазон потужностей виконавчого електродвигуна 0,1-30кВт;
- діапазон зміни швидкості в межах до 50: 1 - 1000: 1;
- смуга пропускання частот 30-1000 Гц;
- короткочасне перевантаження по моменту кратністю до 2,5-3,0 і вище

Ситуація із вибором фотоелектричних панелей для сонячної електростанції є відносно проста. Вибір робимо на користь полікристалічних панелей, які мають помірний показник ефективності, що знаходиться на рівні 18%.

Потужність досліджуваної СФЕС становить 10 кВт.

5.2 Економічне обґрунтування вибору складових СЕП СФЕС

5.2.1 Визначення капітальних вкладень

Для визначення капітальних вкладень потрібно до загальної вартості обладнання додати також і вартість його доставки, монтаж цього обладнання та витрати на будівництво. А також потрібно розрахувати амортизаційні відрахування. Вартість доставки обладнання розраховуються в залежності від відстані, маси вантажу та тарифу залізничного перевезення на відстань одного кілометра тони вантажу. Монтажні роботи розраховуються відповідно до нормативів вартості монтажних робіт.

У разі, якщо СФЕС працює як автономне джерело живлення, що виробляє постійний струм з подальшим перетворенням його в змінний, то необхідно враховувати не тільки ККД тиристорного перетворювача, але і ККД інвертора. Крім того, в СФЕС потужність використовуваних двигунів, як правило, не перевищує 1 кВт, а часто буває навіть менше 100 Вт.

Вартість кожного із елементів системи СЕП СФЕС представлені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Кошторис капіталовкладень

Елементи електротехнічного комплексу	Ціна, грн.
Фотогальванічні панелі REC270PEBLACK (37 шт.)	115100
Металоконструкції для монтажу панелей, кріплення	26700
AGM аккумулятори EverExceed DP-12200 (4 шт. – 9,6 кВт)	56396
Інвертор Diehl Platinum 10000TL	38120
Слідкуючий електропривод на базі ПЧ із потужністю приводного двигуна до Pсл. = 1 кВт.	18500
Додаткові пристрої, апарати та пристосування СФЕС	10400
Периферійні пристрої, комутаційні апарати, апарати захисту	4600
Кабель для ФЕС TUV SolarCable 4 мм (100м.)	2800
Загальна вартість (C_Σ)	272616
Транспортні витрати та монтажні витрати (13%)	35440,1
Витрати на будівельні роботи (10%)	27261,6
Капітальні витрати (інвестиції)	335318

Спрощуючи розрахунок, вартість доставки та монтажних робіт, можна прийняти рівними 13% від загальної вартості обладнання:

$$C_{\text{дм}} = C_{\Sigma} \cdot 0,13 \text{ (грн.)}, \quad (5.2)$$

$$C_{\text{дм}} = 272616 \cdot 0,13 = 35440 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на будівельні роботи (влаштування фундаментів) розраховують виходячи із нормативів витрат на будівництво. Даний норматив для укрупнення розрахунку приймається рівним 10% від вартості обладнання:

$$C_B = C_\Sigma \cdot 0,1 \text{ (грн.)}, \quad (5.3)$$

$$C_B = 272616 \cdot 0,1 = 27261,6 \text{ (грн.)}.$$

Амортизаційні відрахування знаходяться із добутку норми амортизації на первісну вартість об'єкту основних фондів:

$$A_p = \frac{C_\Sigma \cdot H_A}{100\%}, \quad (5.4)$$

де H_A – норма амортизації (при умові, що термін експлуатації СФЕС приймемо за 20 років норма амортизації буде рівною 5%)

$$A_p = \frac{272616 \cdot 5\%}{100\%} = 13630,8 \text{ (грн.)}.$$

5.3 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Відповідно до правил улаштування електроустановок обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого а група допуску по електробезпеці не нижче третьої.

Розрахунок витрат на заробітну плату обслуговуючого персоналу виконується за наступною формулою:

$$C_3 = C_{30} + C_{3д}, \quad (5.5)$$

де C_{30} – основна заробітна плата по тарифу;

$C_{3д}$ – додаткова заробітна плата.

$$C_{30} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_C \cdot \beta, \quad (5.6)$$

де N – кількість робітників які обслуговують СЕП СФЕС ($N = 1$ чол.);

T_1 – година тарифна ставка робітника першого розряду. В розрахунку на те, що мінімальна заробітна платня станом на 2023 р. не змінилася і становить 6700 грн., тому розмір годинної тарифної ставки робітника першого розряду приймаємо рівним $T_1 = 40$ грн.;

K – тарифний коефіцієнт (для робітника четвертого розряду: $K = 2,03$. з таблиці 7.2);

K_C – коефіцієнт співвідношень, що встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_C = 1$);

β – відношення часу, затраченого робітником, на обслуговування установки відносно загального часу своєї роботи ($\beta = 1$);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу обслуговування системи КАСЕП:

$$\Phi_{\text{еф}} = \varepsilon \cdot Z_{\text{РД}} \cdot Z_{\text{РЗ}} \cdot t_{\text{РЗ}}, \quad (5.7)$$

де ε – відносна тривалість увімкнення/функціонування ($\varepsilon = 0,5$);

$Z_{\text{РД}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{РД}} = 250$ днів/рік);

$Z_{\text{РЗ}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{РЗ}} = 1$);

$t_{\text{РЗ}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{РЗ}} = 1$).

Таблиця 7.5 – Тарифна сітка працівників погодинної оплати праці

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Розраховуємо ефективний фонд часу обслуговування системи КАСЕП та основну заробітну плату по тарифу:

$$\Phi_{\text{еф}} = 0,5 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 1 = 125 (\text{год.} / \text{рік}).$$

$$C_{30} = 1 \cdot 40 \cdot 2,03 \cdot 125 \cdot 1 \cdot 1 = 10150 (\text{грн.} / \text{рік}).$$

5.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування проводиться на місці її встановлення із відключенням і зупинкою ремонтним персоналом.

Грошові витрати для проведення ремонтних робіт містять в собі витрати на комплектуючі, запасні частини та інші елементи, що потребують

заміни, а також витрати на оплату праці працівників, що проводять ремонтні роботи. Найбільш складним з точки зору ремонтних робіт є обслуговування структурних вузлів фотоелектричної станції (ФЕС), оскільки вона складається із самодостатніх фотоелектричних модулів (37 шт.), кожен з яких, в разі потреби, доведеться демонтувати через несправність.

Графік планових попереджувальних ремонтних робіт представлено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Графік планових ремонтних робіт

Найменування обладнання	Види ремонтних робіт по місяцях												Труд-ть, люд-год.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сонячні панелі				3				3				5	11
Контролери заряду та АКБ			2				2				4		8
СЕС				3				3				4	10
Кабельні мережі			2				2				3		7
Інвертори				3				3				5	11
	Загальна трудомісткість												58

Виконання даних ремонтних робіт, будемо вважати, проводитиметься електромонтером шостого розряду. Відповідно до того, що є відомими кількість годин виділених на проведення ремонтних робіт основна заробітна плата працівника знаходитиметься із наступної формули:

$$C_{\text{ЗОР}} = T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{ефр}} \text{ (грн.)}, \quad (5.8)$$

$$C_{\text{ЗОР}} = 40 \cdot 2,7 \cdot 58 = 6264 \text{ (грн./рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

$$\Phi_0 = \Phi(1+0,05+0,01+\alpha), \quad (5.9)$$

де Φ – тарифний фонд Φ_e експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати Φ_p ремонтного персоналу, грн./рік;

0,01 – частка доплат за роботу у святкові дні;

0,05 – частка доплат за роботу в нічний час;

α – частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{OE} = 10150 (1+0,05+0,01+0,2) = 12789 \text{ грн./рік.}$$

І для ремонтних:

$$\Phi_{OP} = 6264 (1+0,05+0,01+0,25) = 8206 \text{ грн./рік.}$$

Величина додаткової заробітної плати визначається в розмірі 15% від фонду основної заробітної плати. Тому сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, грн./рік:

$$\Phi_{од} = \Phi_o \cdot 1,15 \quad (5.10)$$

Відповідно для обслуговуючого та ремонтного персоналу:

$$\Phi_{OED} = \Phi_{OE} \cdot 1,15 = 12789 \cdot 1,15 = 14707 \text{ грн./рік.}$$

$$\Phi_{OPD} = \Phi_{OP} \cdot 1,15 = 8206 \cdot 1,15 = 9437 \text{ грн./рік.}$$

Для формування фонду соціального страхування розраховується заробітна плата. З цього фонду витрачаються кошти на оплату тимчасової втрати працездатності, оплату декретної відпустки, санаторно-курортне лікування та відпочинок працівників, оздоровчу діяльність дітей працівників тощо.

Крім того, на заробітну плату здійснюються нарахування в пенсійний фонд та фонд зайнятості. Отже, витрати по заробітній платі ($C_{зп}$) розраховуються так, грн./рік:

$$C_{зп} = \Phi_{об} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{п} + \beta_{з} + \beta_{с}}{100} \right) (\text{грн./рік.}) \quad (5.11)$$

де $\beta_{п}$ – нарахування в пенсійний фонд, $\beta_{п} = 32\%$;

$\beta_{з}$ – нарахування у фонд зайнятості, $\beta_{з} = 1,5\%$;

$\beta_{с}$ – нарахування на соціальне страхування, $\beta_{с} = 1,5\%$.

Відповідно розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{зп} = 14707 \cdot \left(1 + \frac{32 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 19855 (\text{грн./ рік.})$$

$$C_{зпр} = 9437 \cdot \left(1 + \frac{32 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 12740 (\text{грн./ рік.})$$

Таблиця 5.4 – Зобрахунок витрат по заробітній платі

Показник		Заробітна плата
Φ_{ϵ}	Заробітна плата експлуатаційного персоналу	10150
$\Phi_{р}$	Заробітна плата ремонтного персоналу	6264
$\Phi_{\text{оє}}$	Величина основної ЗП експлуатаційного персоналу	12789
$\Phi_{\text{ор}}$	Величина основної ЗП ремонтного персоналу	8206
$\Phi_{\text{оєд}}$	Основний фонд ЗП експлуатаційного персоналу	14707
$\Phi_{\text{орд}}$	Основний фонд ЗП ремонтного персоналу	9437
$C_{\text{зпе}}$	Витрати по ЗП експлуатаційного персоналу	19855
$C_{\text{зпр}}$	Витрати по ЗП ремонтного персоналу	12740

5.5 Розрахунок терміну окупності системи КСАЕП

Виріток електричної енергії ФЕС (10 кВт)

Результати розрахунків по виробітку сонячної енергії зведені в таблиці 5.5.

Якщо СФЕС функціонує як стаціонарна установка і є нерухомою з орієнтацією виключно на південь у напрямку на Сонце, то вона втрачає близько 40% в порівнянні з рухомою СФЕС за умови, що часовий кут сходу та заходу становить відповідно 0° до 180° та весь світловий день доступна пряма сонячна радіація.

Оскільки в МКР виконується розрахунок та дослідження саме слідкуючого ЕП СФЕС для ефективного відслідковування сонячної енергії протягом дня, тому врахуємо збільшення ефективності виробітку в таблиці.

Таблиця 5.5 – Фінансові показники ФЕС (10 кВт) по місяцям

Місяць	Виробіток стац. ФЕС, (кВт год)	Виробіток ФЕС із СЕП (+40%), (кВт год)	Власне спож-я (кВт год)	Об'єм продажу в мережу (кВт год)	Дохід від продажу, грн.
Січень	436	610,4	50	560,4	3564,54
Лютий	611	855,4	50	805,4	5122,91
Березень	1215	1701	50	1651	10501,52
Квітень	1495	2093	50	2043	12994,91
Травень	1742	2438,8	50	2388,8	15194,44
Червень	1677	2347,8	50	2297,8	14615,62
Липень	1816	2542,4	50	2492,4	15853,41
Серпень	1703	2384,2	50	2334,2	14847,15
Вересень	1297	1815,8	50	1765,8	11231,72
Жовтень	1008	1411,2	50	1361,2	8658,18
Листопад	530	742	50	692	4401,60
Грудень	384	537,6	50	487,6	3101,48
За рік:	13914	19479,6	50	18879,6	120087,47
Податок					23417,06
Прибуток від продажу					96670,41

Основні вхідні дані, прийняті для розрахунку:

Потужність ФЕС (PV-модулів) – 10 кВт.

Власне споживання – 50 кВт год/міс.

Вартість електроенергії (споживаної) – 2,64 грн./ кВт год.

Відповідно до Постанови від 31 березня 2023 р. № 594 «Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств» величина «Зеленого» тарифу» на електричну енергію, вироблену з енергії сонячного випромінювання генеруючими установками приватних домогосподарств, встановлена потужність яких не перевищує 30 кВт та які введені в експлуатацію в період з 01 січня 2020 року по 31 грудня 2024 року, складає 635,07 коп/кВт·год (без ПДВ).

Ставка оподаткування – 19,5 %.

Таким чином, в результаті проведеного розрахунку, було отримано величину прибутку від реалізації сонячної енергії, який складає:

$$Ц_{рФЕС} = 96670,41 \text{ (грн.)}$$

5.5.1 Термін окупності системи КАСЕП

Термін окупності розраховуємо за виразом:

$$T_{ок} = \frac{C_{\Sigma} + C_{дм} + C_{б}}{Ц_{рфес} - C_{пЕ} - C_{пр} - A_p} \quad (5.14)$$

$$T_{ок} = \frac{272616 + 35440,1 + 27261,6}{96670,41 - 19855 - 12740 - 13630,8} = 6,65 \text{ (роки)}$$

Висновок: Підводячи підсумок можна сказати, що досліджувана система СЕП СФЕС в комплексі із врахуванням виконанням усіх робіт по її встановленню при величині природного потенціалу сонячної енергії та відслідковування сонячної освітленості окупить себе за 6,65 роки. Даний показник є достатньо привабливим, оскільки середній термін окупності традиційних СФЕС на ринку ВДЕ складає від 10 років.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуті заходи з підвищення ефективності сонячних фотоелектричних станцій. При виконанні робіт з монтажу та обслуговування електропривода сонячних фотоелектричних станцій передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці і виробництва продовольчих товарів. Усі металеві неструмоведучі частини (корпуса електродвигунів, шаф, світильників, тощо), які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового проводу живлячої мережі.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які за ГОСТ 12.0.003-74 впливають на оперативно-ремонтний персонал, який обслуговує електропривод сонячних фотоелектричних станцій [24]:

фізичні:

- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
- рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого

обладнання;

- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якої може відбутися через тіло людини;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена вологість повітря;

психофізіологічні небезпечних та шкідливих виробничих фактори:

- фізичні перевантаження (динамічні);

- нервово - психічні перевантаження (монотонність праці).

Висота робочої поверхні столу для відеотерміналу має бути в межах 680-800 мм, а ширина – забезпечувати можливість, виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм.

Робочий стіл для відеотерміналу повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм. Робочий стіл для відеотерміналу, як правило, має бути обладнаним підставкою для ніг шириною не менше 300 мм та глибиною не менше 400 мм, з можливістю регулювання по висоті в межах 150 мм та кута нахилу опорної поверхні - в межах 20 град.

Застосування підставки для ніг тими, у кого ноги не дістають до підлоги, коли робоче сидіння знаходиться на висоті, потрібній для забезпечення оптимальної робочої пози, є обов'язковим. Робоче сидіння (сидіння, стілець, крісло) оператора комп'ютера повинно мати такі основні елементи: сидіння, спинку та стаціонарні або знімні підлокітники. У конструкцію сидіння можуть бути введені додаткові елементи, що не є обов'язковими: підголовник та підставка для ніг. Робоче сидіння оператора комп'ютера повинно бути підйомно-поворотним, таким, що регулюється за висотою, кутом нахилу сидіння та спинки, за відстанню спинки до переднього краю сидіння, висотою підлокітників.

Регулювання кожного параметра має бути незалежним, плавним або ступінчатим, мати надійну фіксацію. Хід ступінчатого регулювання елементів сидіння має становити для лінійних розмірів 15-20 мм; для кутових – 2-5 град. Зусилля під час регулювання не повинні перевищувати 20 Н. Ширина та глибина сидіння повинні бути не меншими за 400 мм. Висота поверхні сидіння має регулюватися в межах 400-500 мм, а кут нахилу поверхні – від 15 град, вперед до 5 град, назад. Поверхня сидіння має бути плоскою, передній край – заокругленим. Висота спинки сидіння має

становити 300 мм, ширина – не менше 380 мм, радіус кривизни в горизонтальній площині – 400 мм. Кут нахилу спинки повинен регулюватися в межах 0-30 град, відносно вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння повинна регулюватись у межах 260-400 мм.

6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

6.1.1 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В) [25].

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється [24].

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

6.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електродвигуна або до обертових частин електродвигуна, який приводить в рух механізм, необхідно зупинити електродвигун та на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ" [24].

При роботах за межами КРУ на відхідних ПЛ або КЛ на підключеному до них обладнанні візок з вимикачем необхідно викотити з шафи; верхню заслінку або дверці закрити на замок та вивісити плакати "НЕ ВМИКАТИ!" або "НЕ ВМИКАТИ! РОБОТА НА ЛІНІЇ".

При накладенні заземлювачів у шафах КРУ у випадку роботи на відходячих ПЛ необхідно враховувати слідуєчі вимоги: ПЛ напругою вище 1000 В заземлюються в усіх РУ і у секційних комутаційних апаратах, де відключена лінія.

Якщо дозволяє конструктивне виконання апаратів та характер роботи, перераховані вище міри можуть бути замінені розшиновкою або від'єднанням кінців кабелю проводів від комутаційного апарату або обладнання, на якому повинна проводитись робота.

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами.

В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає наряд (розпорядження) [25].

Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливо обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, повинні бути закриті та заперті на замок засувки цих механізмів, а також прийняті заходи для гальмування ротора електродвигунів.

Випробування електроприводів разом з виконуючим механізмом потрібно проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

При видачі робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а отриманні цього дозволу - в оперативному журналі цеху (ділянки), який проводить випробування.

Ремонт і наладку електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконуючим механізмом, регулюючих органів та запірної арматури, можна проводити по розпорядженню. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на вивід електропривода в ремонт, наладку. Про це повинен бути зроблений запис при оформленні розпорядження.

При роботі на електродвигуні заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднанні в РУ.

Вмикання електродвигуна для перевірки до повного закінчення роботи проводиться після виводу бригади з робочого місця.

Після випробування проводиться повторний допуск з оформленням в наряді. При виконанні роботи по розпорядженню на повторний допуск розпорядження дається заново.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [24] встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 6.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

6.2.2 Виробниче освітлення

Вплив світла на життєдіяльність людини вивчений досить добре. Воно впливає не лише на функцію зору, а й на діяльність організму в цілому: посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу. Відомий сприятливий вплив природного освітлення на скелетну мускулатуру. Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків.

Раціональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає

передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

У приміщенні використовується штучне та природне освітлення.

Система штучного освітлення – комбінована, оскільки поряд із загальним освітленням (тип джерела освітлення – лампи світлодіодні) використовуються індивідуальні джерела світла (настільні світильники з лампами світлодіодними).

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та суміщеному освітленні (відповідно до ДБН В.2.5-28-2018, характеристика зорової роботи – дуже високої точності, розряд зорової роботи – II, підрозряд– в) зазначені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,15 до 0,3 включно	II	в	малий середній великий	світлий середній темний	1500	200	-	4,2

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними

перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

6.2.3 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{U}{U_0} \right), \quad (6.2)$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість, $5 \cdot 10^{-8}$ м/с;

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 6.3 –Рівеньзвукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зсередньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати малошумові вентилятори.

6.2.4 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судиної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу - За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot s^{-2}$	ДБ	$m \cdot s^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;

- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

6.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах і т. ін.) від 10% до 25% часу зміни; знаходження в позі стоячи від 60% до 80% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 1500

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: 101 –300

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 12

По вертикалі: до 8

Інтелектуальні навантаження: Рішення складних завдань з вибором за відомим алгоритмом (робота за серією інструкцій)

Зміст роботи: Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальним значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів, Обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання, Робота в умовах дефіциту часу

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) 51 -75

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи 176–300

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження 11-25

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) 3-4

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 70% до 50%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) 20-25

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за функціональну якість основної роботи (завдань). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади та ін.)

Ступінь ризику для власного життя

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (приймів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово 5-2

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) 24-2

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) 91-95

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 10– 12

Змінність роботи Тризмінна робота (робота у нічну зміну)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви нерегламентовані або недостатньої тривалості до 3% часу зміни.

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи сонячних фотоелектричних станцій в умовах дії загрозливих чинників НС

Всі електричні станції мають свої слабкі ланки до і є досить вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. Сонячна фотоелектрична станція є особливо уразлива через велику територію та безліч елементів можливого впливу чинників НС. Електропостачання багатьох об'єктів є стратегічним елементом, тому і важливим є питання забезпечення високої стійкості роботи вітроенергетичної установки.

Вплив радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища тощо. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання є електронне обладнання систем управління вітроенергетичної установки. Серед елементів є напівпровідники, блок живлення, блок керування та силові елементи, транзистори, діоди. Через впливи на ізоляцію в трансформаторах можливі замикання обмоток, а відповідно і вигорання обмоток чи загорання трансформаторів.

Після опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Особливо велику загрозу для систем управління вітроенергетичної установки має вплив електромагнітного імпульсу, який може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також внести серйозні порушення в роботу цифрових і контрольних пристроїв. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем,

викликає коротке замикання. Дія електромагнітного імпульсу також може призвести до загоряння чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання. Ці наслідки в подальшому призводять до пожеж на підприємстві та вибухів. Саме тому є необхідність запобіганню дії цього фактору на електричне та електронне обладнання вітроенергетичної установки.

6.3.1 Дослідження безпеки роботи сонячних фотоелектричних станцій в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи електротехнічного комплексу вітроенергетичної установки в цих умовах приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази, при якому в елементній базі можуть виникнути зміни, але РЕС ще буде працювати з необхідною якістю.

Максимально допустимі значення потужності дози елементів електротехнічного комплексу наведені в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Максимально допустимі значення потужностей дози.

№	Блок	Елементи комплексу гібридної вітроелектричної установки	$P_{гр,i}$ (Р/год)	$P_{гр}$ (Р/год)
1	БЖ	Транзистори КТ3102В	10^5	10^4
		Діоди загального призначення S1M	10^5	
2	БП	Конденсатори SMD1206 1nf, 16V	10^6	
		Резистори SMD1206 0,125 - 10кОм	10^6	
3	БКП	Мікросхеми PIC16F877	10^4	
		Діелектрики GTP15	10^4	

1. За мінімальним значенням $p_{гр}$ (див. табл. 6.6) межа стійкості $p_{гр}$ роботи комплексу складає $p_{гр} = 10^4$ (Р/год).

2. Для оцінки безпеки роботи електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ($P_{гр}$) за наступною формулою:

$$P_{гр} = K \times p_{гр} \times K_{нос}, \quad (6.3)$$

де K – коефіцієнт надійності, $K = 0,9..0,95$;

$p_{гр}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;

$K_{нос}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{нос} = 7$),

$$P_{гр} = 0,9 \times 10^4 \times 7 = 6,3 \times 10^4 \text{ (Р/год)},$$

1. З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що безпека в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме $P_{гр} = 6,3 \times 10^4$ (Р/год).

2. Розрахуємо допустимо максимальний час перебування електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки на території в умовах дії іонізуючих випромінювань та ЕМІ:

$$D_m = \frac{2P_{гр} (\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{1}, \quad (6.4)$$

де $\sqrt{t_{II}^2}$, дорівнює 1;

D_m – дорівнює 10^3 ;

$t_{доп} = 12,6 \times 10^3$ (год).

Отже електротехнічний комплекс гібридної вітроелектричної установки буде працювати безпечно в умовах дії іонізуючих випромінювань.

6.3.2 Дослідження стійкості роботи слідкуючого електропривода сонячних фотоелектричних станцій в умовах дії електромагнітного імпульсу

В якості показника безпеки елементів комплексу до дії електромагнітного імпульсу використовують коефіцієнт безпеки [24]:

$$K_{\phi} = 20 \lg \frac{U_{\phi}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 \text{дБ}, \quad (6.5)$$

де U_{ϕ} - допустиме коливання напруги живлення;

$U_{B(\Gamma)}$ - напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних системах.

Спочатку визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\phi} = U_{\text{жс}} + \frac{U_{\text{жс}}}{100} \cdot N, \quad (6.6)$$

де N - допустимі коливання (приймається $N = 5\%$)

Шляхом підстановки числових даних в (7.3) отримується:

$$U_{\phi} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{В}.$$

Визначається максимально очікувана напруга в горизонтальних лініях[20]:

$$U_B = \frac{U_{\phi}}{10^{\frac{K}{20}}} \quad (6.7)$$

Після підстановки числових даних:

$$U_B = \frac{12,6}{\frac{40}{10^{20}}} = 0,126(B).$$

З формули визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля[20]:

$$U_B = E_{\Gamma} \cdot l_B. \quad (6.8)$$

Отже, E_{Γ} визначається:

$$E_{\Gamma} = \frac{U_B}{l_B}. \quad (6.9)$$

Після підстановки числових даних в формулу (6.6):

$$E_{\Gamma} = \frac{0,126}{5} = 0,0252(B/m).$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається з формули [20]:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B. \quad (6.10)$$

Тоді E_B буде:

$$E_B = 0,0252 \cdot 1000 = 25,2(B/m).$$

6.4 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи електротехнічного комплексу в умовах надзвичайних ситуацій

Дія підвищення безпеки роботи необхідно використовувати екранування РЕА. Для цього визначимо перехідне гасіння енергії електричного поля сталевим екраном.

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (6.11)$$

де f - найбільш характерна частота, ($f = 15$ кГц).

Для двоканального електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки :

$$t_1 = \frac{40 - 38.72}{5.2 \cdot \sqrt{15000}} = 0.0025 \text{ (см)};$$

Обираємо товщину стінки на порядок вище, для того щоб забезпечити необхідний захист обладнання. Прийmemo $t=0,1$ см.

$$A = 5,2 * 0,102 * \sqrt{15000} = 65 \text{ (дБ)}$$

Отже нам потрібно взяти сталевий екран товщиною 1 мм, який забезпечує згасання енергії електричного поля 65 дБ.

Висновки. Також в результаті проведених розрахунків визначено, що безпека роботи сонячних фотоелектричних станцій забезпечується при рівні радіації до $6,3 \times 10^4$ (Р/год). До дії ЕМІ двоканальний електротехнічний комплекс гібридної вітроелектричної установки необхідно застосовувати екранування РЕА і це суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу. В результаті застосування екранів підсилювач буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 25,2 В/м. Ще одним варіантом підвищення безпеки роботи електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки до дії випромінювання є зменшення струмопровідних провідників шляхом вдосконалення схемоустаткування пристрою.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Оптимізація режимів роботи автономного інвертора сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств» були запропоновані рішення щодо підвищення ефективності функціонування сонячних фотоелектричних станцій за рахунок оптимізації режимів роботи автономного інвертора напруги, зокрема:

1. Важливим функціональним елементом СФЕУ є сонячний АІ, який здійснює перетворення напруги постійного струму в змінну. Експлуатаційні характеристики АІ істотно впливають на характеристики СФЕУ в комплексі. Розкрито недоліки експлуатованих АІ та напрями покращення їх експлуатаційно-технічних характеристик.

2. Запропоновано критерії оцінки ефективності автономних інверторів СФЕУ, які включають оцінку ККД, масогабаритних показників, показників якості напруги, а також показників активної, реактивної та повної потужності.

3. Запропоновано функціональні схеми трифазних АІ, виконані на однофазній мостовій силовій електронній схемі та однофазно-трифазному ТОМП з покращеними експлуатаційно-технічними та енергетичними характеристиками. Розкрито особливості їх роботи, переваги та недоліки.

4. Запропоновано принципову електричну схему АІ на однофазно-трифазному ТОМП, виконану з використанням мікропроцесорної техніки, та алгоритм роботи системи управління з перетворення та стабілізації напруги для розробки програми керування мікропроцесорним пристроєм.

5. Розроблено комп'ютерну блок-схему АІ на однофазно-трифазному ТОМП із використанням ППП MATLAB Simulink. Результати моделювання показали, що при проектуванні АІ на однофазно-трифазному ТОМП необхідно враховувати тривалість перехідних процесів на виході інвертора, які залежать від параметрів вихідного фільтра, з урахуванням забезпечення необхідної якості напруги та мінімальної тривалості перехідних процесів.

6. Визначено основні положення щодо безпечної експлуатації комплексу на базі сонячної фотоелектричної станції з використанням автономного інвертора напруги в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Marti A. Next Generation Photovoltaics / A. Marti, A. Luque eds. – Bristol: Institute of Physics Publ., 2004 – 344 с.
2. Абрамова О. Види та типи: схеми сонячних електростанцій / О. Абрамова // Матеріали сайта. – 2016. – Режим доступу: <http://ukrenerho.com/vidi-ta-tipishemi-sonyachnih-elektrostantsij/>
3. Chapin D. M., Fuller C. S., Pearson G. L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power // Journal of Applied Physics. – 1954. – Т. 25, №. 5. – P. 676–677
4. Ginley D. S. Fundamentals of materials for energy and environmental sustainability / D. S. Ginley, D. Cahen (ed.). – Cambridge university press, 2011. – 754 p.
5. Wei C. Y. Efficiency improvement of HIT solar cells on p-type Si wafers / C.Y. Wei et al. // Materials. – 2013. – Vol. 6, №. 11. – P. 5440–5446.
6. Green M. A. Third generation photovoltaics: advanced solar electricity generation / M. A. Green. – Springer-Verlag, Berlin. – 2003. – 160 p.
7. Бабак В.П., Білецький А.Я., Гуржій А.М. Сигнали і спектри. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 492 с
8. Електроніка і мікросхемотехніка : Підручник для вищ. навч. закл. освіти : У 4-х т./ В.І. Сенько, М.В. Панасенко , Є.В. Сенько та ін.; Під ред. В.І. Сенька. – К.: ТВО "Видавництво Обереги", 2000. – Т.1. Елементна база електронних пристроїв. – 309 с.
9. Михальський В.М., Соболев В.М., Чехет Е.М. Векторна широтноімпульсна модуляція в матричних перетворювачах. Навчальний посібник. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2003. – 74с.
10. Сосков А. Г. Промислова електроніка : підручник / А. Г. Сосков, Ю. П. Колонтаєвський ; за ред. А. Г. Соскова. – Київ : Каравела, 2015. – 536 с.

11. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник для студентів вузів / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков ; за ред. д-ра техн. наук, проф. А. Г. Соскова. – [2-ге вид.]. – Київ : Каравела, 2009. – 416 с.

12. Солнечная энергетика : учебн. пособие / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецова, Н. К. Малинин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.

13. Тугай Д. В. Моделювання режимів роботи сонячної електростанції в SMART GRID системі електропостачання / Д. В. Тугай, Ю. П. Колонтаєвський, С. В. Котелевець, Е. С. Савчук // : Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI міжнар. наук.-техн. конф. – Харків, 4–6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – С. 132–133.

14. Сонячна батарея JA Solar JAP6-270 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ecoenerhiia.ua/sonjachni-batarei/sonjachna-batareja-ja-solar-jap6-270-poly.html>.

15. Roberts, P. Performance of Rotors in a Brushless Doubly-Fed Induction Machine (BDFM) [Электронный ресурс] / P. C. Roberts, R. A. McMahon, P.J. Tavner, J. M. Maciejowski, T. J. Flack, X. Wang // International Conference of Electrical Machines, 2004, Cracow, Poland. URL : <http://www.ime.pw.edu.pl/zme/pryw/bienpdf/dfim2.pdf>

16. Лежнюк П.Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЕС. / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько - УДК 621.316.

17. Лежнюк П. Д. Вплив інверторів сес на показники якості електричної енергії в лес / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2015. - № 2. - С. 134-145. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2015_2_28.

18. Лежнюк П.Д. Оперативне діагностування високовольного обладнання в задачах оптимального керування режимами

електроенергетичних систем / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 35–36.

19. Будівництво промислових СЕС [Електронний ресурс] / Інжинірингова компанія – Нові енергетичні технології. – Режим доступу : <http://iknet.com.ua/uk/presentation/full/ses>

20. Solar PV industry. Market and industry trends. Global status report. Renewables. Steering committee. Ren. 21. 2014. P. 48–50. URL: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

21. Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.

22. Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)», Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 3 с.

23. Демов О. Д., Бірюков О. О., Мельничук Л. М., Демов А. Д., Бірюков А. А., Мельничук Л. М., Demov O. D., Biryukov A. A., Melnychuk L. M.. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві. Демов О. Д. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві [Текст] : навчальний посібник / О. Д. Демов, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 92 с.

24. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с. управління моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.

25. ДСТУБ В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

«07» 11 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА
СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ФЕРМЕРСЬКИХ
ГОСПОДАРСТВ**

08-24.МКР.008.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

 Василь КУТІН

«07» 11 2023 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-21м

 Владислав ЖУК

«07» 11 2023 р.

Вінниця ВНТУ 2023

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії».

Скорочене найменування розробки – «Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання на базі електроустановок з відновлюваними джерелами енергії».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Основним функціональним елементом СФЕУ є сонячний автономний інвертор (АІ), основна функція якого – здійснювати перетворення напруги постійного струму на підвищену напругу змінного струму, необхідного для споживачів електроенергії. Величина напруги постійного струму – це, як правило, 12, 24 або 48, а змінного струму 220 В - в однофазному і 380 В - в трифазному виконанні [10].

4 Вимоги до розробки

Система електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії (СФЕС) повинна забезпечувати споживача електроенергією а також запасати її в акумуляторних батареях для живлення споживача в умовах відключення основної мережі електропостачання. Топологія СФЕС повина мати можливість варіювання з використанням засобів силової електроніки

(узгоджувальних DC/DC перетворювачів) з метою мінімізації габаритів і кількості компонентних блоків, в залежності від необхідності нарощування або скорочення генеруючих потужностей.

5 Комплектація розробки

Центральним керуючим елементом схеми управління є 8-розрядний мікроконтролер DD1 типу PIC16F1827 (рисунок 3.1). Мікроконтролер здійснює керування польовими силовими транзисторами VT2-VT9 двох інверторів за допомогою високочастотних ШІМ-сигналів. З виходу інверторів напруга прикладається до первинних обмоток ТОМП W11 та W12 через фільтри Ф1 та Ф2. З вихідних обмоток ТОМП W21, W22 і W23 трифазна симетрична система напруги прикладається до шин А, В і С, до яких підключаються споживачі змінного струму. Керуючі виводи мікроконтролера підключені до силових транзисторів через спеціалізовані мікросхеми-драйвери DA3-DA6, що забезпечує високі регульовальні характеристики і якість управління. Діоди VD14-VD21 служать для обмеження стрибків ЕРС трансформатора з обертовим магнітним полем і захищають відповідно силові транзистори від пробую.

6 Джерела розробки

1. Marti A. Next Generation Photovoltaics / A. Marti, A. Luque eds. – Bristol: Institute of Physics Publ., 2004 – 344 с.
2. Абрамова О. Види та типи: схеми сонячних електростанцій / О. Абрамова // Матеріали сайта. – 2016. – Режим доступу: <http://ukrenerho.com/vidi-ta-tipishemi-sonyachnih-elektrostantsij/>
3. Chapin D. M., Fuller C. S., Pearson G. L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power // Journal of Applied Physics. – 1954. – Т. 25, №. 5. – Р. 676–677
4. Ginley D. S. Fundamentals of materials for energy and environmental sustainability / D. S. Ginley, D. Cahen (ed.). – Cambridge university press, 2011. – 754 p.

7 Технічні характеристики

Вибір АІ доречно оцінювати їх ефективність за такими критеріями:

- ККД, який визначається за результатами розрахунку статичних динамічних втрат у силових електронних приладах та втрат у системі управління;
- масогабаритні показники, що включають показники розрахунку силової електронної схеми, трансформатора, вхідного та вихідного фільтрів;
- показники якості напруги, що оцінюються за величиною коефіцієнта гармонік;
- показники активної, реактивної та повної потужності.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементна база

Конденсатор С6, який виконує дві функції: вхідного фільтра, що забезпечує необхідну якість напруги постійного струму і згладжування пульсацій напруги під час комутації транзисторів польових силової електронної схеми інвертора. Напруга постійного струму перетворюється на напругу змінного струму двома незалежними інверторами, виконані за бруківкою на польових транзисторах VT2, VT3, VT6, VT7 і VT4, VT5, VT8, VT9 відповідно; фільтри Ф1 та Ф2; 8-розрядний мікроконтролер DD1 типу PIC16F1827; польові силові транзистори VT2-VT9; мікросхеми-драйвери DA3-DA6.

10 Конструктивне виконання

Система керування виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пиловологозахищеному виконанні.

11 Технічне обслуговування і ремонт

До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

12 Живлення системи

Живлення електротехнічного комплексу повинно бути виконано: величина напруги постійного струму – це, як правило, 12, 24 або 48, а змінного струму 220 В - в однофазному і 380 В - в трифазному виконанні.

13 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ АВТОНОМНОГО
ІНВЕРТОРА СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ
УСТАНОВКИ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ**

Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження

Об'єктом є автономні фотоелектричні енергетичні установки на базі є автономних інверторів напруги.

Предметом дослідження є показники оцінки ефективності автономного інвертора, результати комп'ютерного моделювання та досліджень.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оптимізація режимів роботи сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств за рахунок покращення експлуатаційно-технічних характеристик та функціональних можливостей автономного інвертора сонячної фотоенергетичної установки.

До **задач** магістерської кваліфікаційної роботи можна віднести:

- дослідити структури автономних інверторів енергетичних установок на основі фотоелектричних перетворювачів;
- провести аналіз методів розрахунку технічних параметрів автономних інверторів фотоелектричних енергетичних установок;
- розробити функціональну та принципову електричну схеми сонячного автономного інвертора з поліпшеними експлуатаційно-технічними характеристиками;
- розробити алгоритм роботи системи управління автономним інвертором на однофазно-трьохфазному трансформаторі з перетворенням і стабілізацією напруги;
- провести дослідження комп'ютерної моделі інвертора та експериментальні дослідження однофазно-трьохфазного трансформатора і провести оцінку достовірності комп'ютерного моделювання в ППП MatLab Simulink..

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

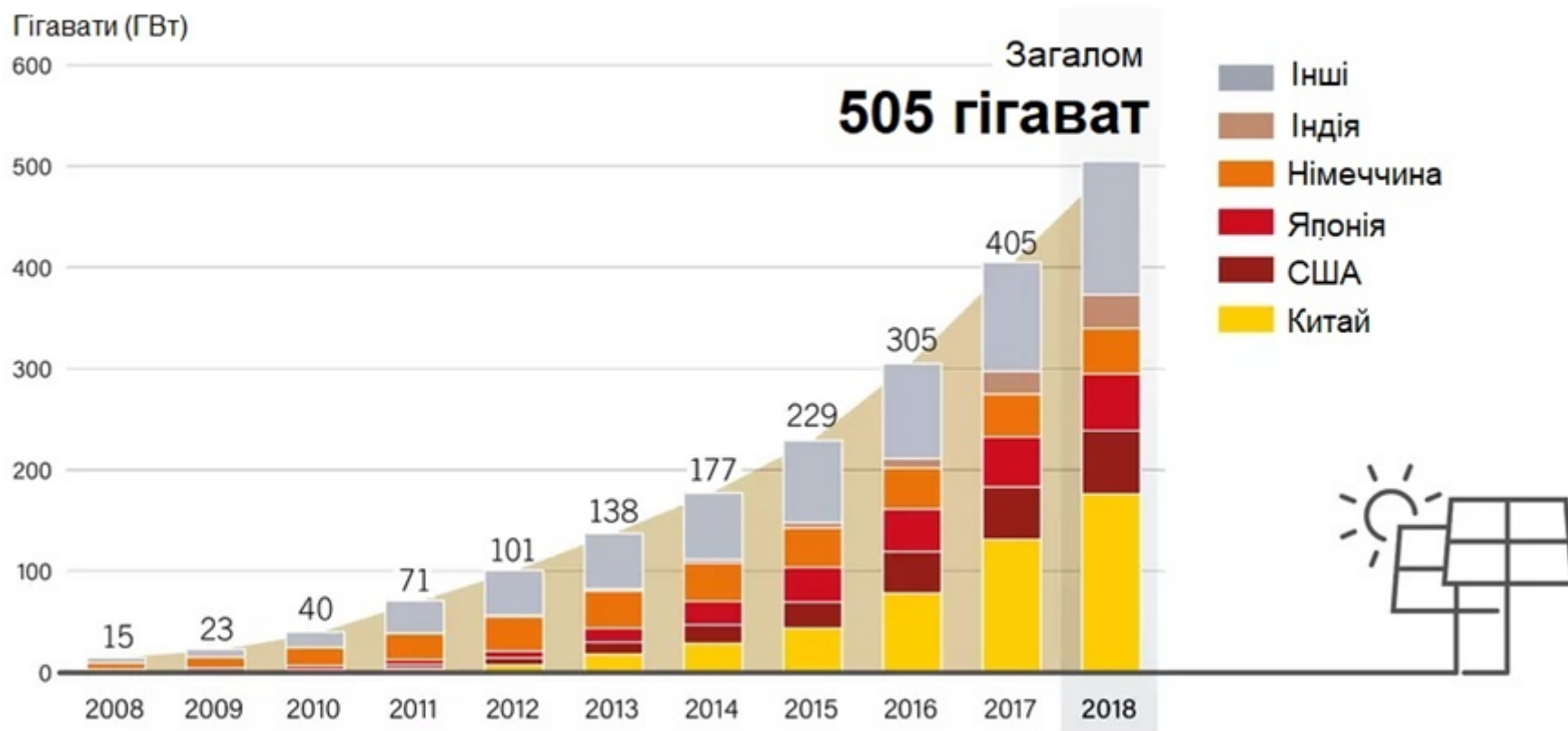


Рисунок 1 – Діаграма впровадження потужностей сонячної генерації електричної енергії в Світі

СТРУКТУРНІ СХЕМИ АВТОНОМНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК (АФЕУ)

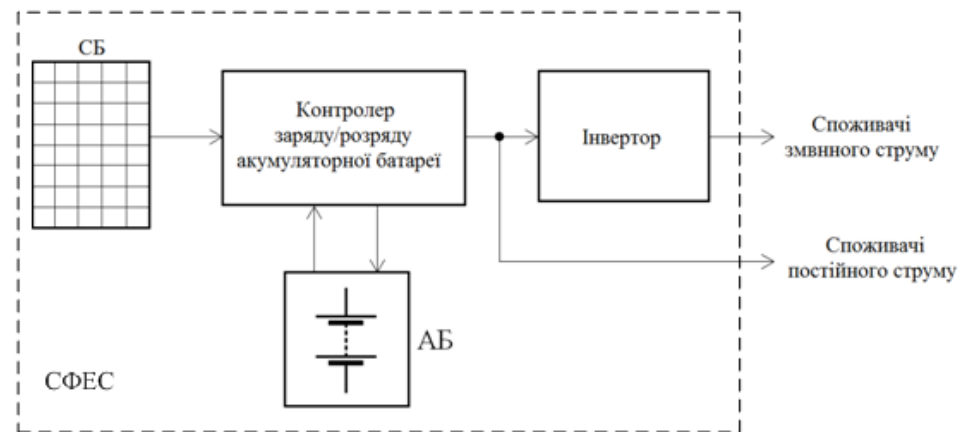


Рисунок 2 – Структурна схема автономної фотоелектричної енергетичної станції



Рисунок 3 – Мобільні автономні СФЕС

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ СБ СФЕС

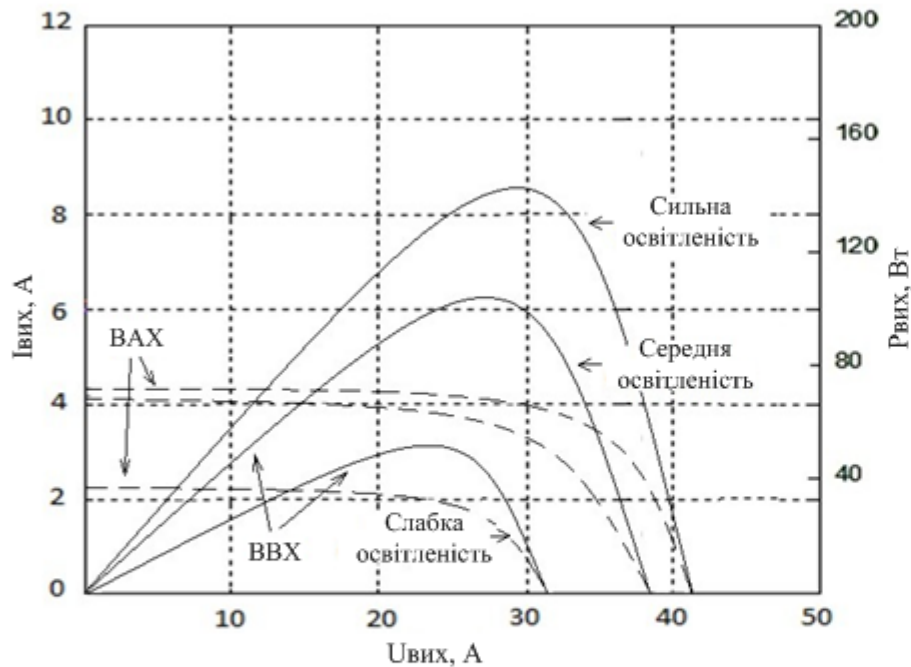


Рисунок 5 – Характеристики ВАХ та ВВХ сонячної батареї при умовах різної освітленості:
950 Вт/м² – сильна освітленість;
650 Вт/м² – середня освітленість;
300 Вт/м² – слабка освітленість

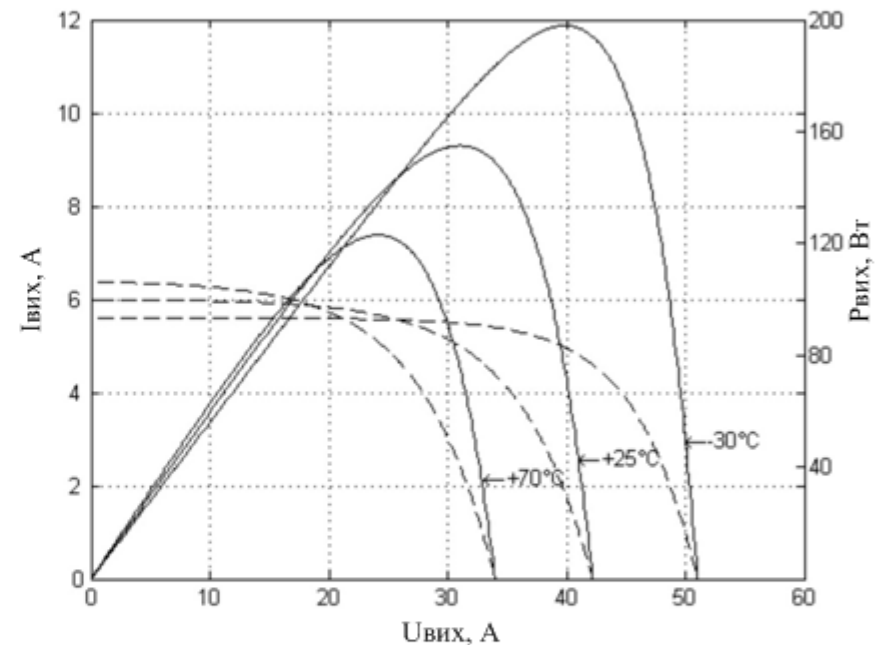


Рисунок 6 – Характеристики ВАХ та ВВХ сонячної батареї в температурному діапазоні від -30⁰ до +70⁰С

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АФЕУ

Підвищити коефіцієнт перетворення падаючої сонячної енергії АФЕУ до максимально можливого рівня дозволяє одночасна реалізація наступних системних способів:

- **оптимізація режимів роботи та характеристик автономних інверторів генеруючих установок;**

- реалізація режиму екстремального регулювання потужності сонячних батарей (відбір потужності в оптимальній робочій точці вольт-амперної характеристики сонячної батареї);

- безперервне автоматичне стеження СБ за Сонцем;

- оптимізація конструкції сонячної батареї з метою досягнення мінімального нагріву фотоелементів, а також застосування концентраторів.

Фактором, який значно зменшує кількість енергії, є недовикористання генеруючих можливостей сонячних батарей. Сумарна енергетична ефективність більшості фотоелектричних енергетичних установок не перевищує 5-10%.



Рисунок 7 – Приклади оптимізації роботи сонячних енергетичних установок

ІСНУЮЧІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ СИЛОВИХ СХЕМ АІ

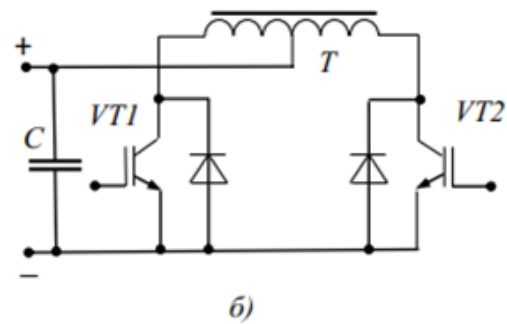
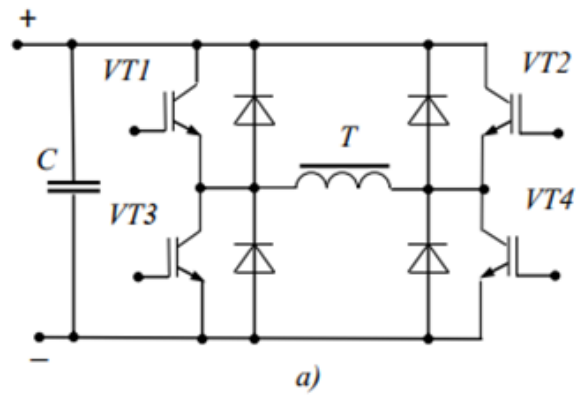


Рисунок 8 – Схеми однофазних автономних інверторів

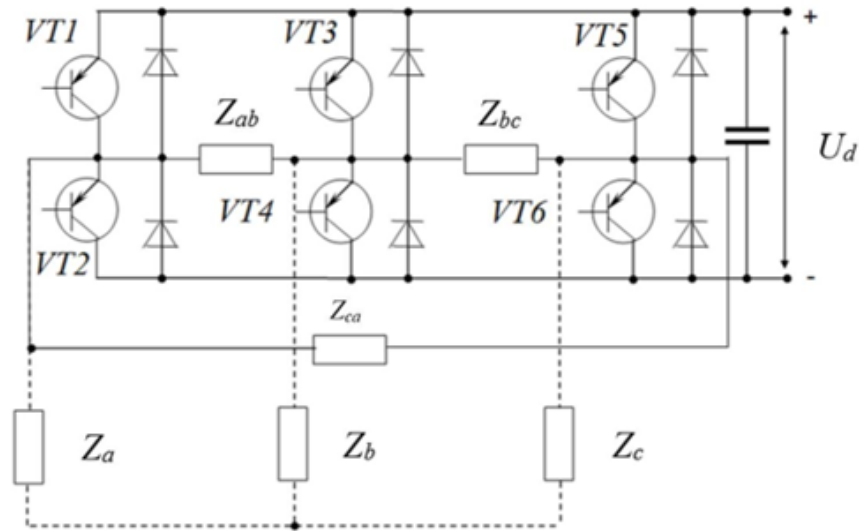


Рисунок 9 – Трифазна мостова схема інвертора

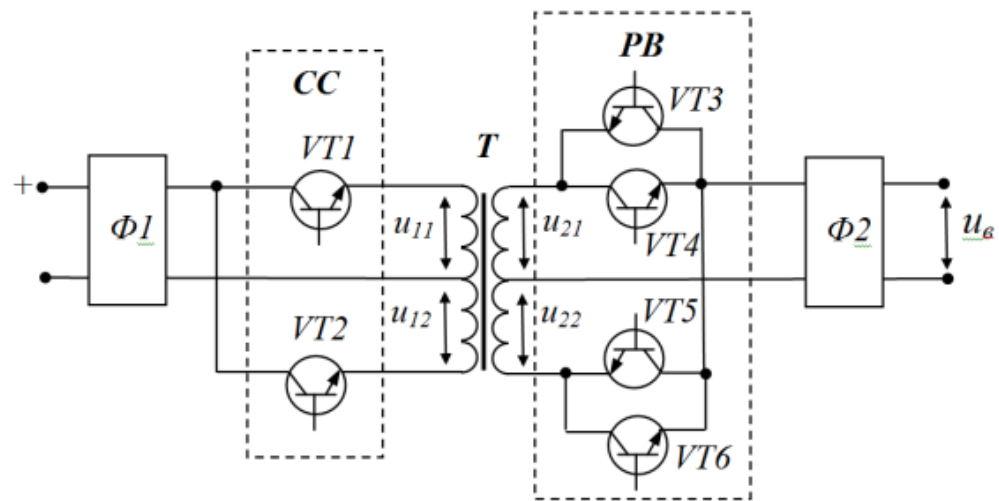


Рисунок 10 – Схема автономного інвертора на реверсивному випрямлячі

ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОНОМНИХ ІНВЕРТОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТОМПІ

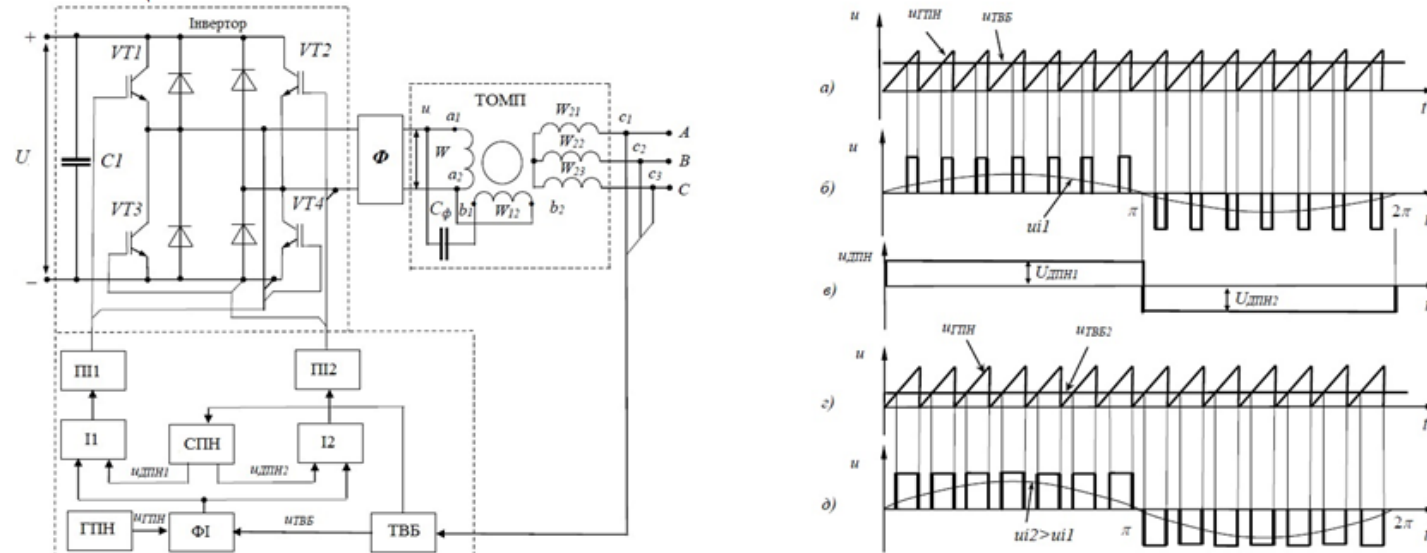


Рисунок 11– Функціональна схема АІ на однофазно-трифазному трансформаторі та діаграма напруг



Рисунок 12– Структурна схема системи управління АІ на ТОМПІ з опорним сигналом трикутної форми та діаграма напруг

ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АВТОНОМНИХ ІНВЕРТОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТОМПІ

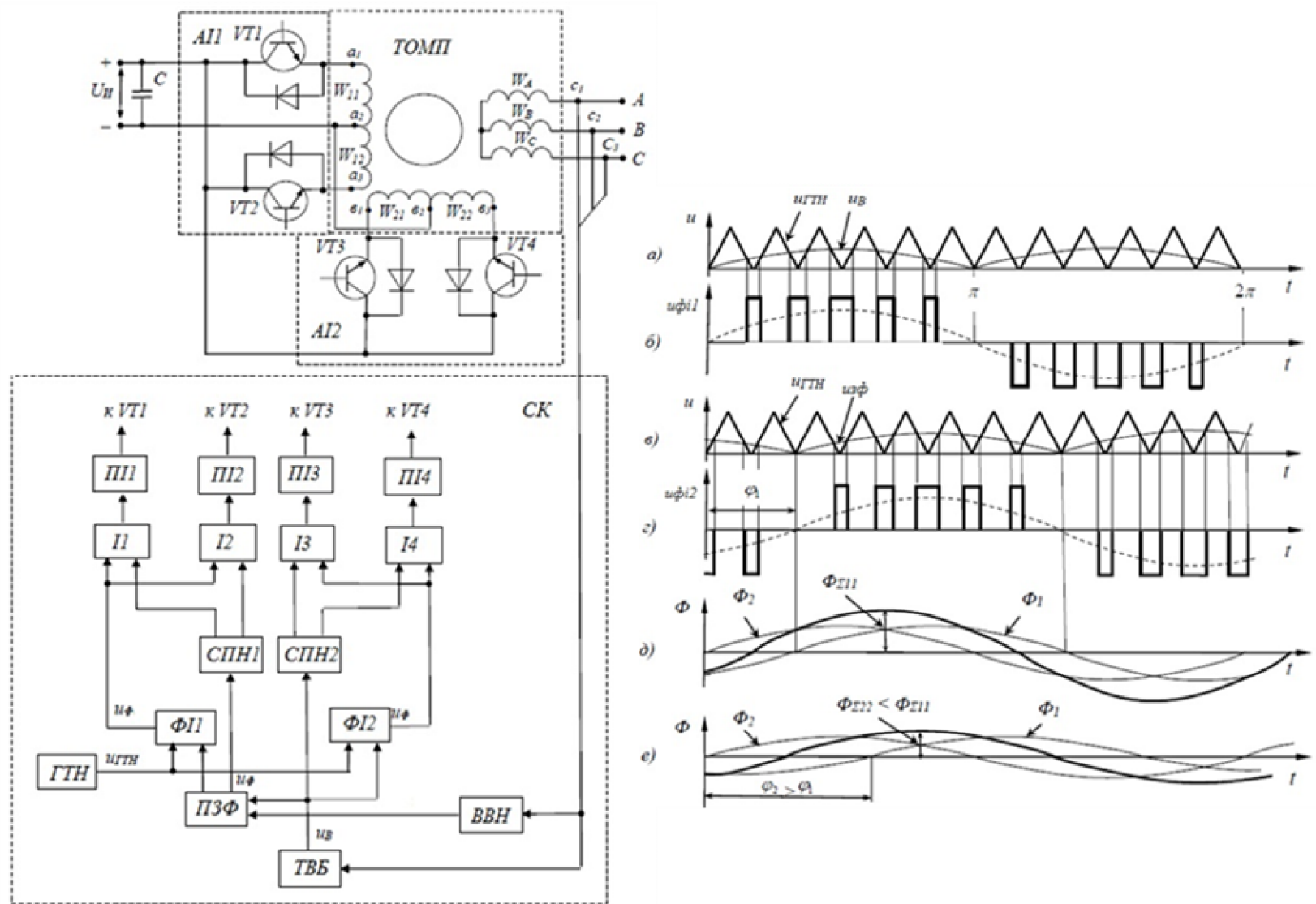


Рисунок 13 – Функціональна схема АІ на двох однофазних інверторах та ТОМПІ та діаграма напруг

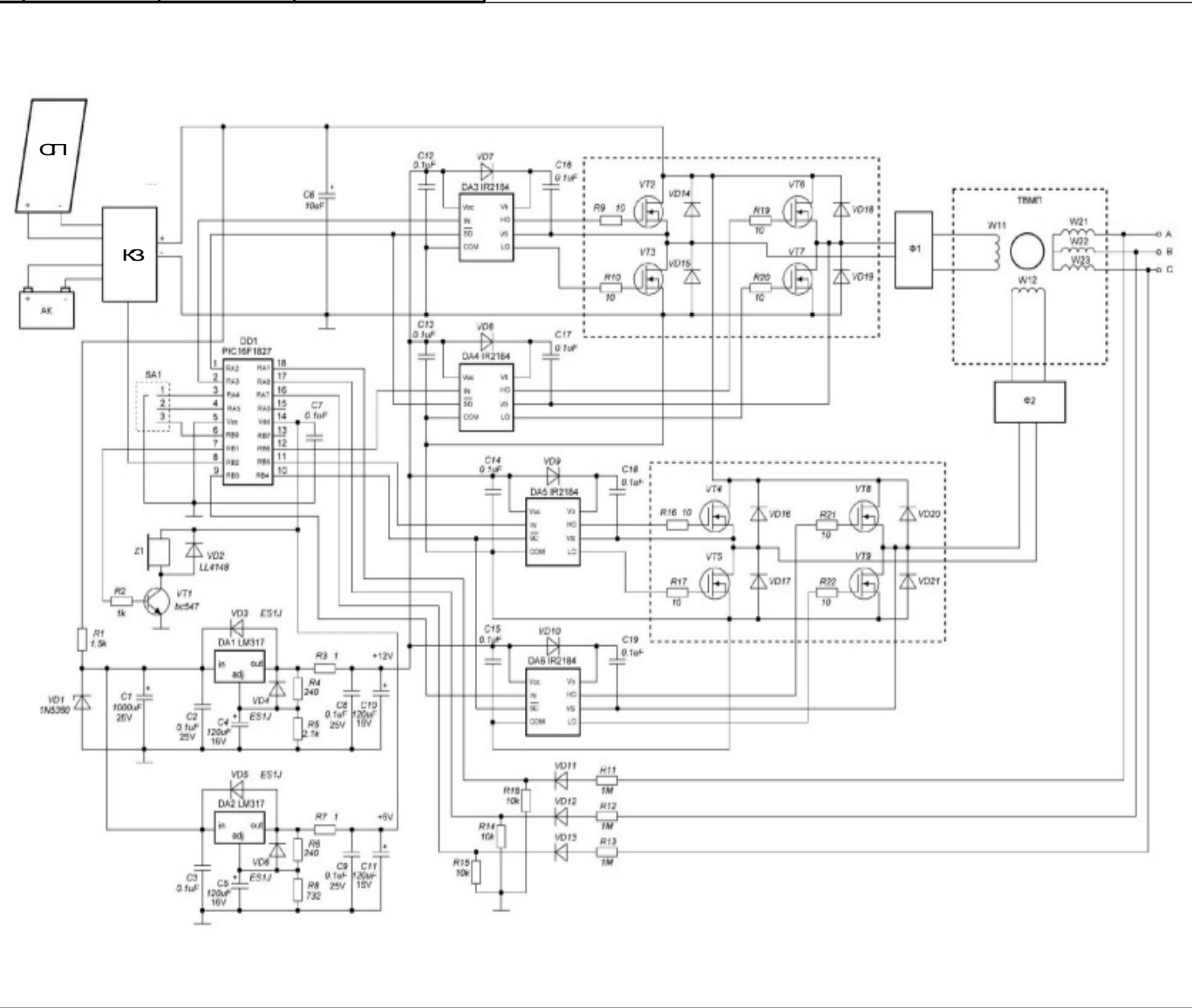
Инв. №	Підпис та дата	На зам. інв.	Инв. №	Підпис та дата

Зам. Арк.	№ док-м.	Піпц.	Дата
Розробив	Жук В.С.		
Перевірив	Кутя В.М.		
Т. контр.			
Н. контр.	Павлюк О.А.		
Затв.	Молиторз М.М.		

08-24.БДР.008.00.000 ЕЗ

Оптимізація режимів роботи вночного інвертора сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств Припільова електрична схема сонячної фотоелектричної установки на базі АТ3 ТОМШ

Літера	Маса	Масштаб
У		
Аркуш 1	Аркушів	
ВНТУ, гр. ЕПА-22м		



08-24.БДР.008.00.000 ЕЗ

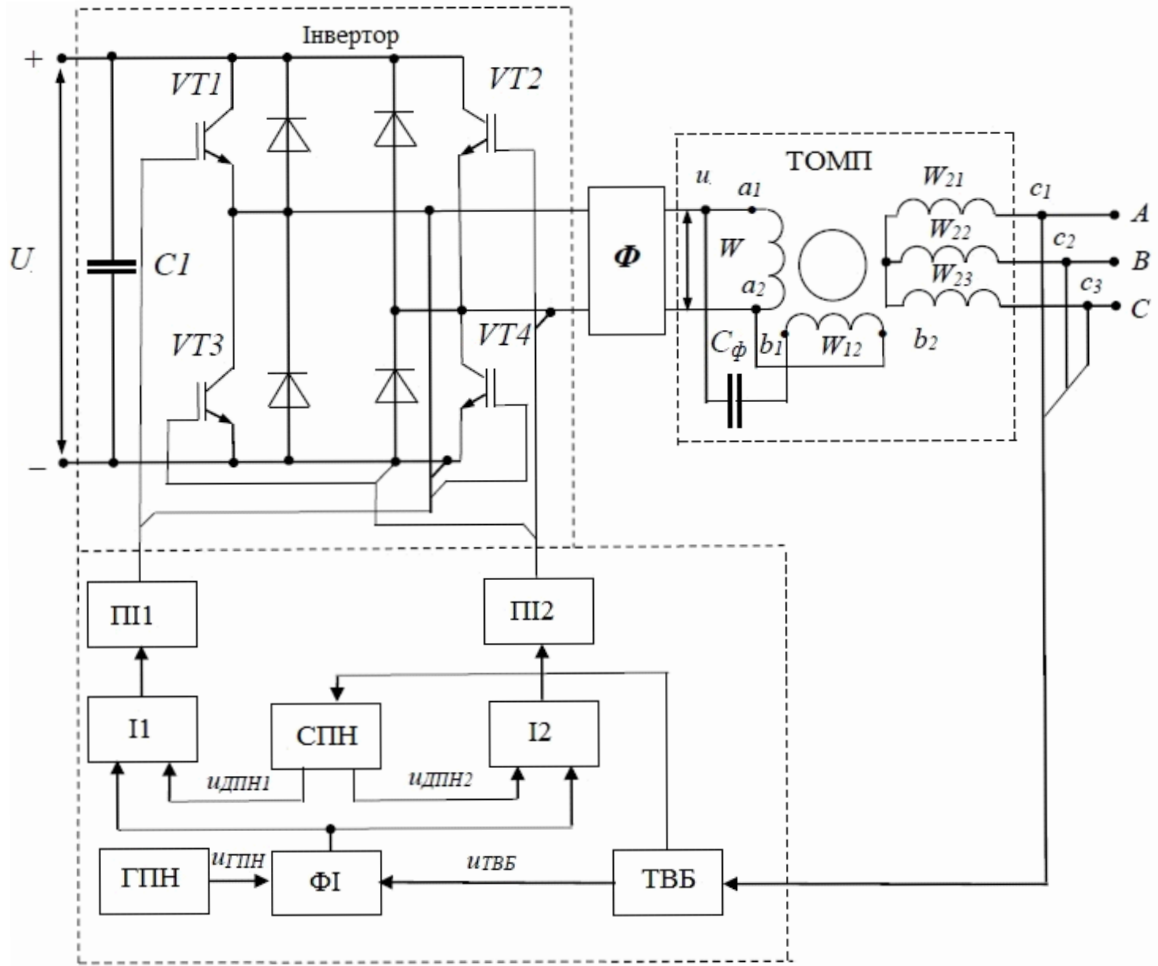
Інв. №	Підпис та дата	На зам. інв.	Інв. №	Підпис та дата

Звітв.	Ін.контр.	Розробив	Зм. Арк.				
Молшориз МММ	Павлюк О.А.	Куцак В.М.	№ док.в.м.	Пріпц.	Дата		
			Жук В.С.				
			Куцак В.М.				

Оптимізація режимів роботи в автономному режимі інвертора сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств Функціональна схема АІ на однофазно-трифазному ТОМПІ.

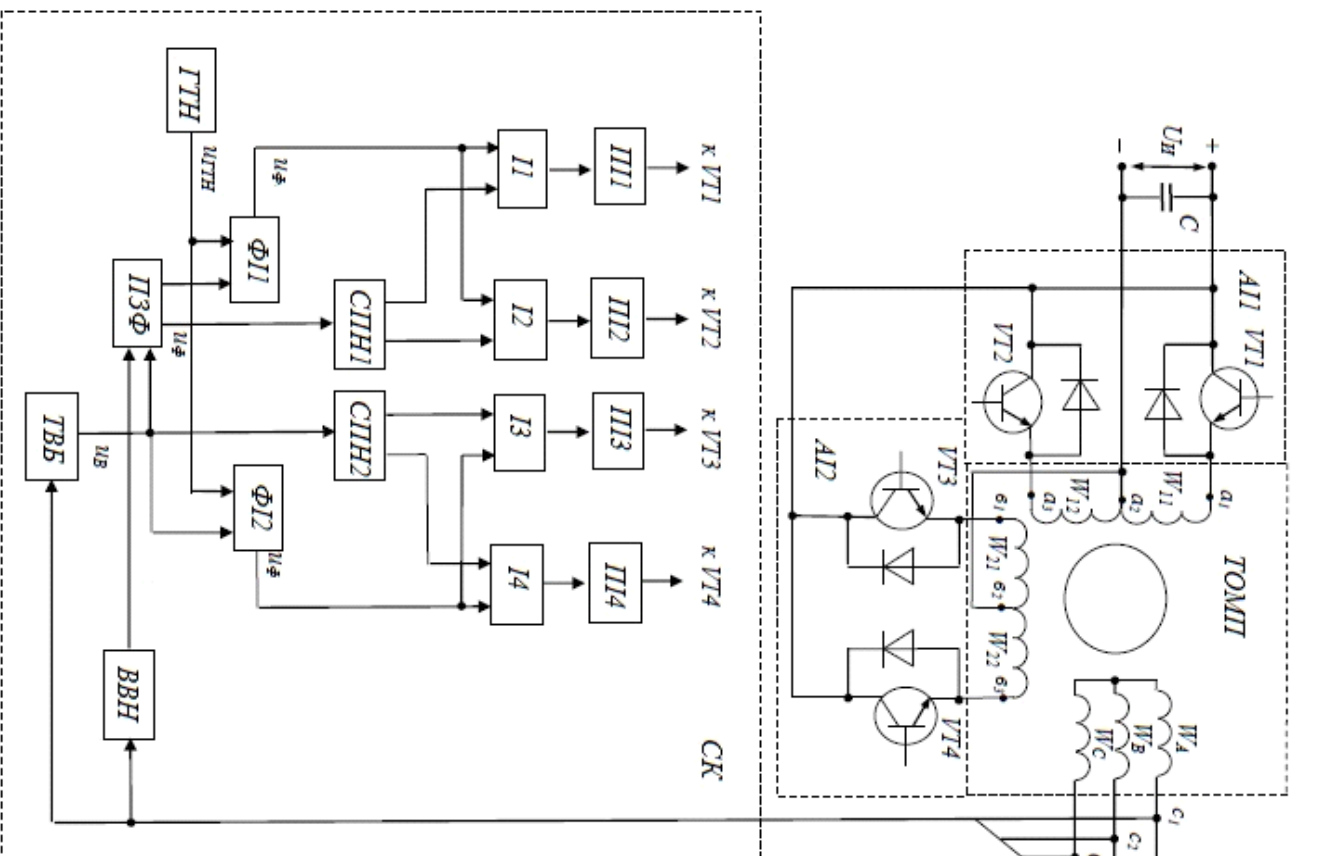
ВНТУ, гр. ЕПА-22м	Літера	Маса	Масштаб
	γ		
	Аркуші 1	Аркушів	

08-24.БДР.008.00.000 Е2



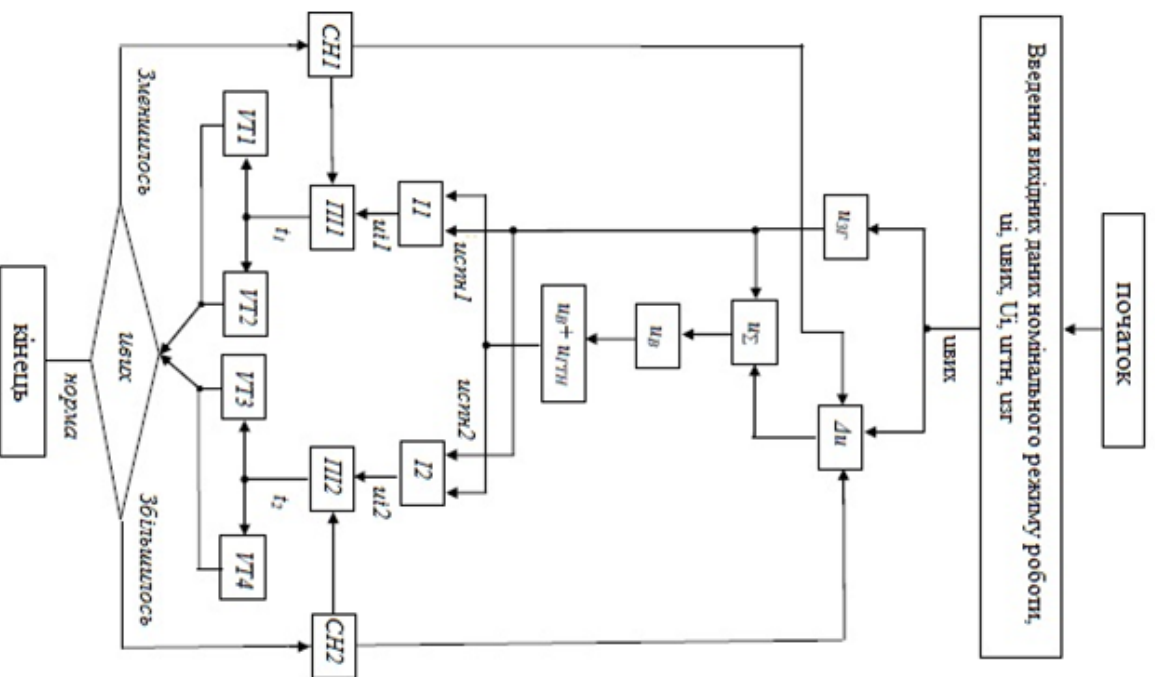
08-24.БДР.008.00.000 Е2

08-24.БДР.008.00.000 Е2



Інв. №	Підпис та дата	На зам. інв.	Інв. №	Підпис та дата		
Зм. Арк.	№ док-м.	Піпп.	Дата			
Розробив	Жук В.С.					
Перевірив	Кутя В.М.					
Т. контр.						
Н.контр.	Павлюк О.А.					
Затв.	Молінозя М.М.					
08-24.БДР.008.00.000 Е2				Літера	Маса	Масштаб
Оптимізація режимів роботи вночного інвертора сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств Функціональна схема А1 на двох однофазних інверторах та ТОМП.				У		
08-24.БДР.008.00.000 Е2				Аркуш 1	Аркушів	
08-24.БДР.008.00.000 Е2				ВНТУ, гр. ЕПА-22м		

АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АІ



РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗАМІЩЕННЯ

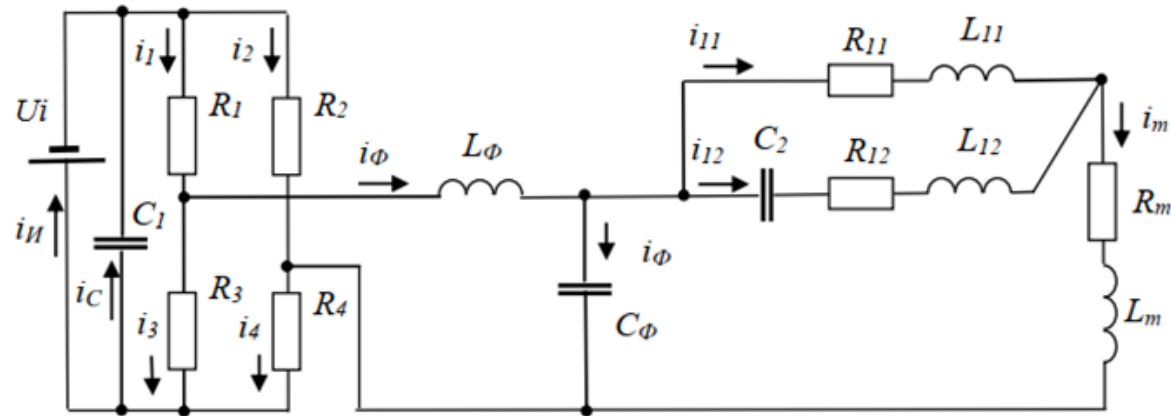


Рисунок 16 – Принципова електрична схема заміщення АІ та первинної обмотки ТОМПІ

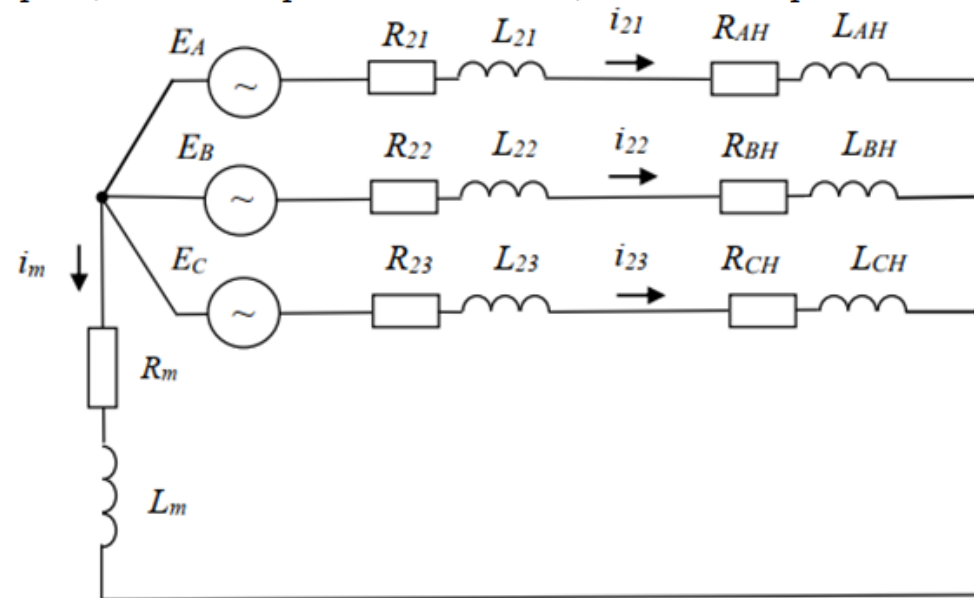


Рисунок 17– Принципова електрична схема заміщення вторинної обмотки ТОМПІ та трифазного навантаження

БЛОК-СХЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ДОСЛІДЖУВАНОЇ СИСТЕМИ

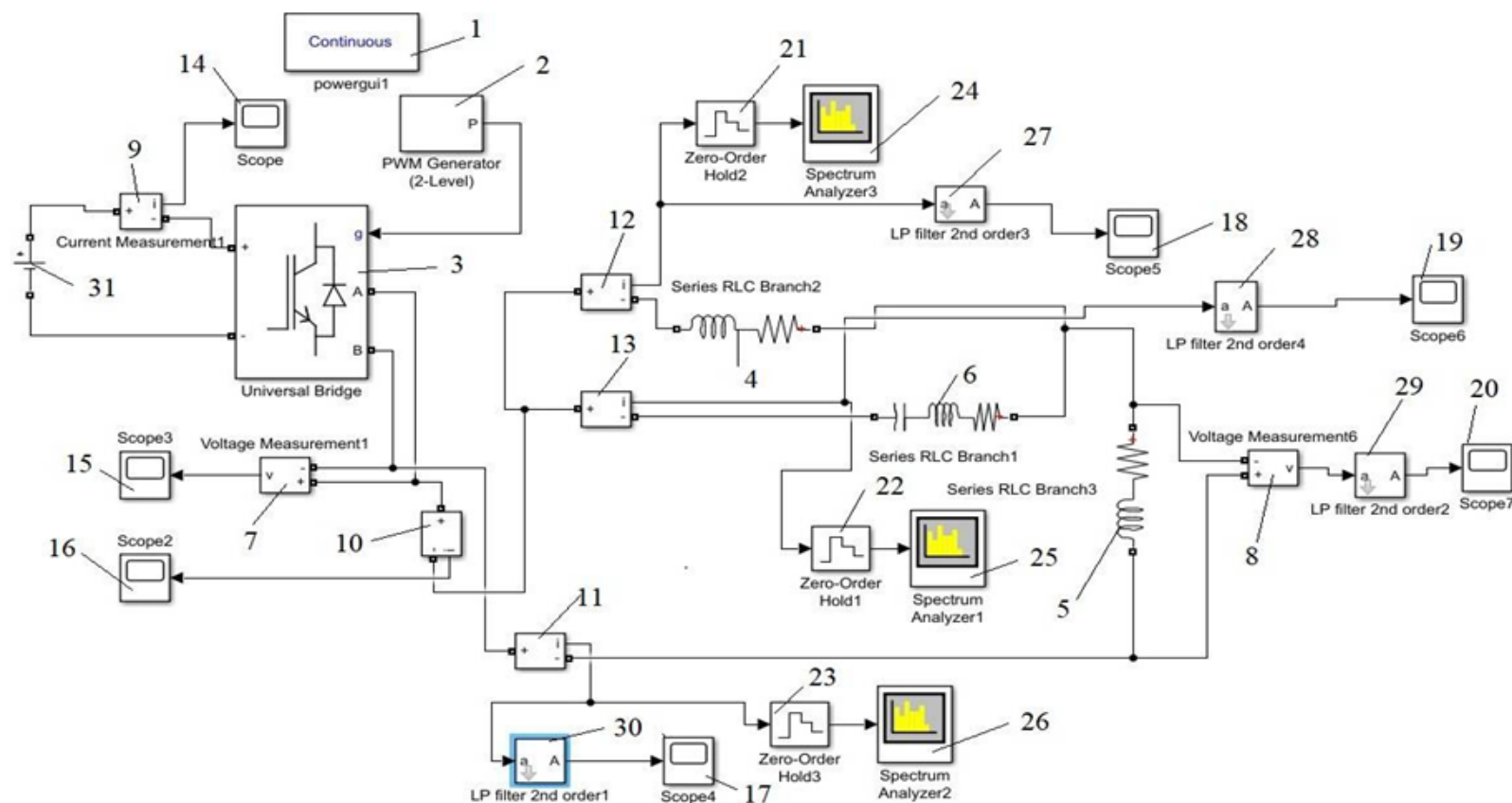


Рисунок 18 – Блок-схема комп'ютерної моделі інвертора:

1 – графічний інтерфейс користувача; 2 - 2-х рівневий ШІМ генератор; 3 – універсальний міст; 4, 5 - RL-коло; 6 - RLC-коло; 7, 8 – датчики напруги; 9–13 – сенсори струму; 14–20 – осцилограф; 21-23 – блок екстраполятора нульового порядку; 24-26 – аналізатор спектру; 27–30 – фільтр низьких частот; 31 – джерело постійної ЕРС.

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ДОСЛІДЖУВАНИХ ПРИСТРОЇВ АІ

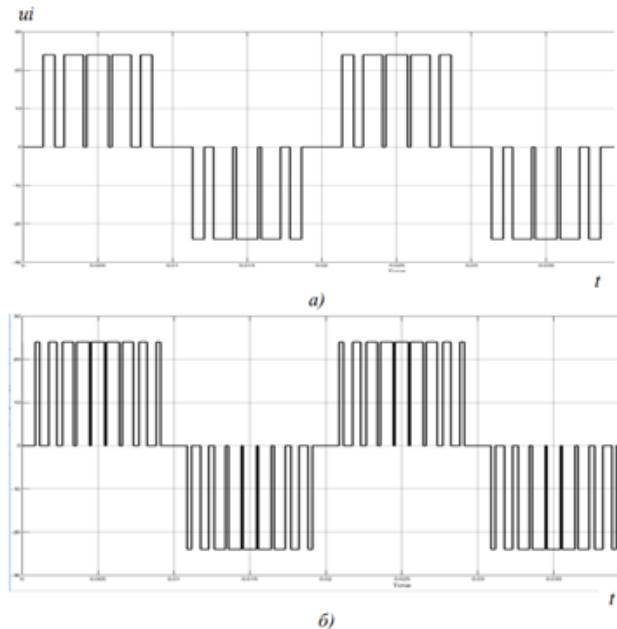


Рисунок 19 – ШПМ вихідної напруги однофазного інвертора

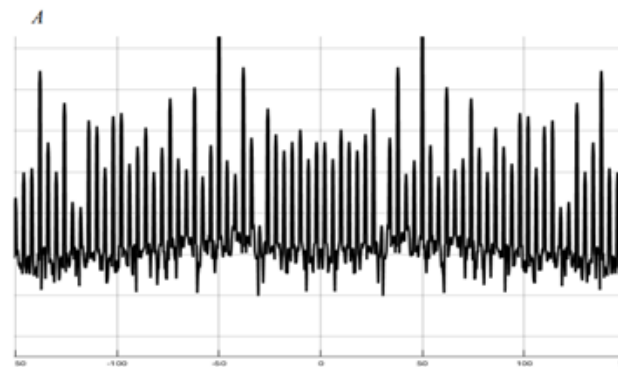


Рисунок 20 – Графік спектрального аналізу вихідної напруги інвертора



Рисунок 21 – Струми в трифазному симметричному навантаженні

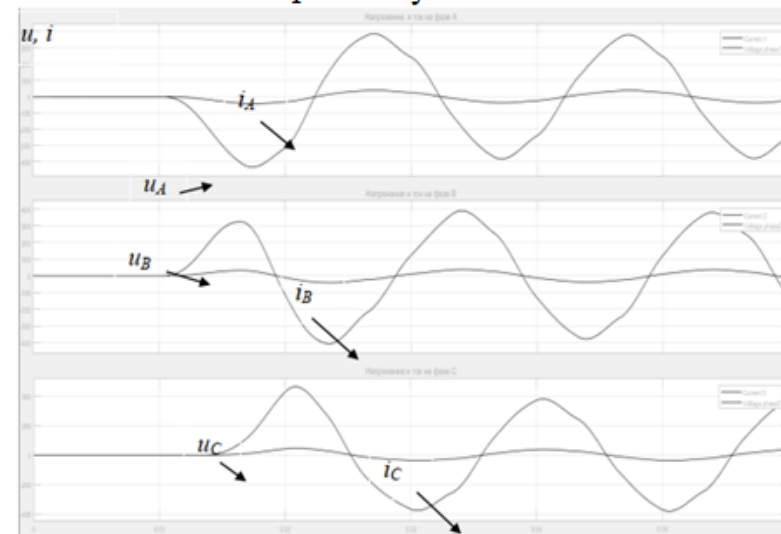
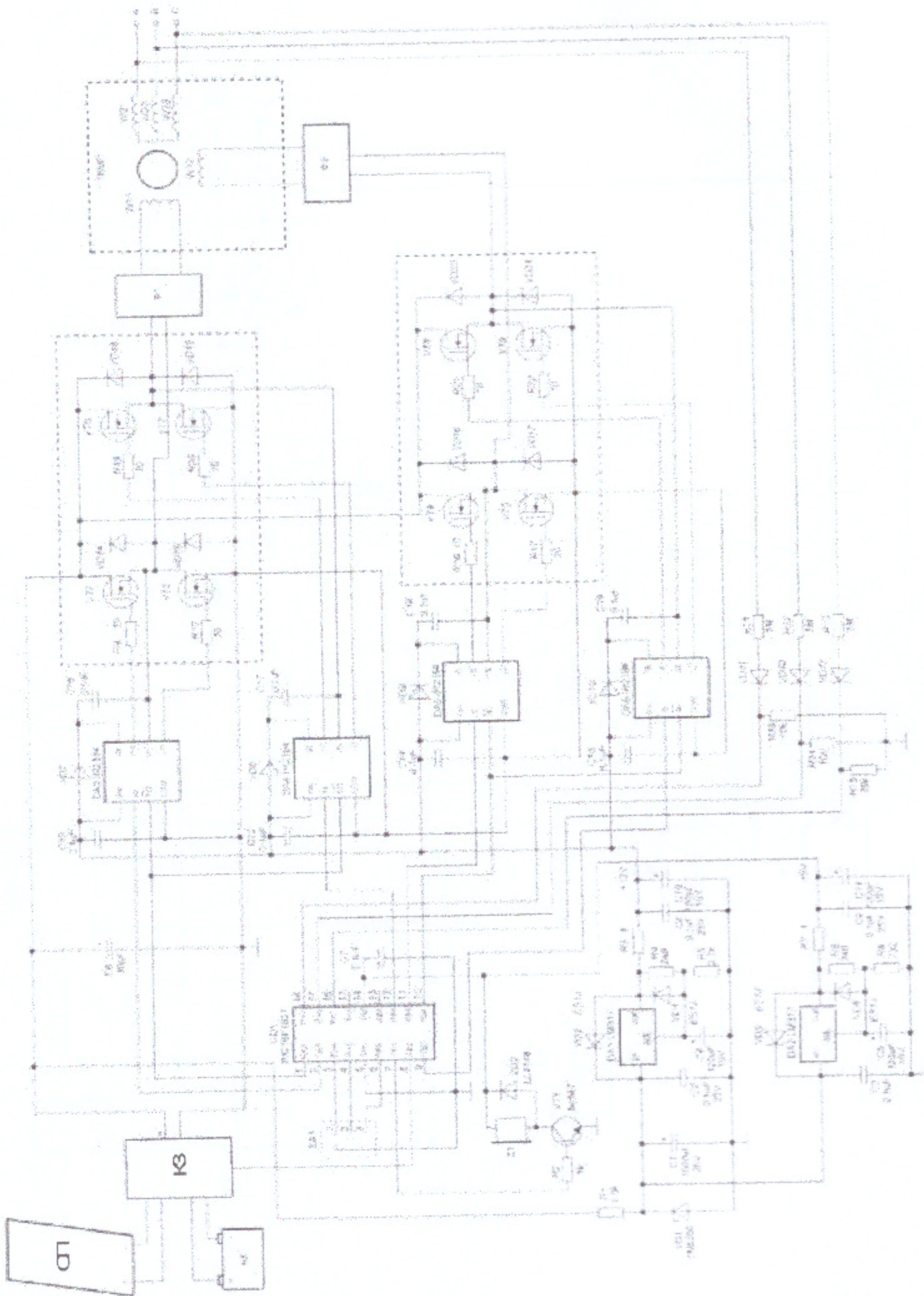


Рисунок 22 – Часові діаграми фазних струмів та напруг в навантаженні

ВИСНОВКИ

1. Важливим функціональним елементом СФЕУ є сонячний АІ, який здійснює перетворення напруги постійного струму в змінну. Експлуатаційні характеристики АІ істотно впливають на характеристики СФЕУ в комплексі. Розкрито недоліки експлуатованих АІ та напрями покращення їх експлуатаційно-технічних характеристик.
2. Запропоновано критерії оцінки ефективності автономних інверторів СФЕУ, які включають оцінку ККД, масогабаритних показників, показників якості напруги, а також показників активної, реактивної та повної потужності.
3. Запропоновано функціональні схеми трифазних АІ, виконані на однофазній мостовій силовій електронній схемі та однофазно-трифазному ТОМП з покращеними експлуатаційно-технічними та енергетичними характеристиками. Розкрито особливості їх роботи, переваги та недоліки.
4. Запропоновано принципову електричну схему АІ на однофазно-трифазному ТОМП, виконану з використанням мікропроцесорної техніки, та алгоритм роботи системи управління з перетворення та стабілізації напруги для розробки програми керування мікропроцесорним пристроєм.
5. Розроблено комп'ютерну блок-схему АІ на однофазно-трифазному ТОМП із використанням ППП MATLAB Simulink. Результати моделювання показали, що при проектуванні АІ на однофазно-трифазному ТОМП необхідно враховувати тривалість перехідних процесів на виході інвертора, які залежать від параметрів вихідного фільтра, з урахуванням забезпечення необхідної якості напруги та мінімальної тривалості перехідних процесів.
6. Визначено основні положення щодо безпечної експлуатації комплексу на базі сонячної фотоелектричної станції з використанням автономного інвертора напруги в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

08-24.БДР.008.00.000 ЕЗ



08-24.БДР.008.00.000 ЕЗ

Оптимізація режимів роботи втнормного інвертора сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств Принципова електрична схема сонячної фотоелектричної установки на базі АІ з ТОМІ.

Літера	Маса	Масштаб
у		
Аркуш 1	Аркушів	
ВНТУ, гр. ЕПА-22м		

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив		Жук В.С.	<i>[Signature]</i>	21.11.23
Перевірив		Кутін В.М.	<i>[Signature]</i>	21.11.23
Т. контр.		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	21.11.23
Н.контр.		Паянок О.А.	<i>[Signature]</i>	21.11.23
Затв.		Мошнорізі М.М.	<i>[Signature]</i>	12.11.23

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Оптимізація режимів роботи автономного інвертора сонячної фотоелектричної установки фермерських господарств

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-22м

Науковий керівник: д.т.н., проф. Кутін В.М.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність	81,0%
Схожість	19,0%

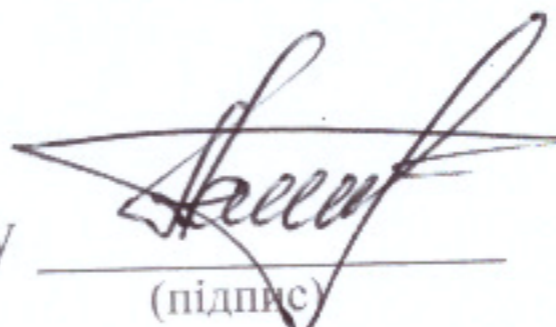
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

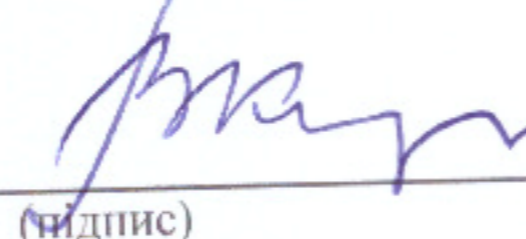
Автор роботи


(підпис)

Жук В.С.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кутін В.М.

(прізвище, ініціали)