С. С. Мораш
Студент ІІ курсу ОР Бакалавр
спеціальність **G2** *«Технології захисту навколишнього середовища»*
науковий керівник: **В. В. Курятников**
канд.фіз.-мат.наук, доцент кафедри екології та охорони довкілля

СХЕМИ НАСКРІЗНОГО ЗАРЯДЖЕННЯ АКУМУЛЯТОРІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Актуальність дослідження: У сучасних умовах глобального переходу до сталої енергетики використання сонячних електростанцій (СЕС) є одним із пріоритетних напрямів. Важливою складовою таких систем є акумуляторне зберігання енергії, що забезпечує автономність та стабільність електропостачання. Для підвищення ефективності процесу зарядження все частіше використовуються схеми наскрізного зарядження акумуляторів, які дозволяють зменшити втрати енергії за рахунок зниження кількості етапів перетворення. Наскрізне зарядження забезпечує передачу енергії від сонячних модулів безпосередньо до акумуляторної батареї з використанням проміжних перетворювальних пристроїв. Наскрізні електронні схеми забезпечують прискорений процес зарядження акумуляторних батарей. При переході сучасного автотранспорту на електромобілі такі схеми потрібні на нових автомобільних станціях сонячного зарядження. Такі схеми край потрібні у випадках екстрених вимкнень джерел електроживлення, зокрема, для живлення низько енергетичної техніки (комп’ютер, телевізор, холодильник, освітлювач).

Мета роботи: визначення найбільш оптимальної схеми наскрізного зарядження акумуляторів сонячних електростанцій при мінімальному використанню проміжних перетворювальних пристроїв. Це дозволяє підвищити загальний ККД системи та спростити її конструкцію, особливо у випадках автономних або гібридних конфігурацій.

Результати досліджень та їх аналіз: Суть наскрізного зарядження полягає в прямому з’єднанні сонячної панелі з акумуляторною батареєю через контролер заряду без додаткового перетворення напруги або струму інвертором. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість проміжних ланок, а отже — зменшити втрати енергії, що зазвичай виникають на етапах перетворення постійного струму у змінний та навпаки.

Особливу роль у таких системах відіграє контролер заряду, який виконує функцію узгодження параметрів генерації та зарядження, забезпечуючи захист акумулятора від перенапруги або глибокого розряду. Електронні схеми контролерів включають у собі елементи індикації процесу зарядження

системи та електронних масштабних перетворювачів. Згідно рекомендацій та літературою $[1-5]$ за стандартною методикою, зокрема, методом комплексних змінних нами розраховувалися прості електронні ланцюги змінного струму. При розрахунках окремі ділянки схеми уявлялися у вигляді чотирьохполюсників, що дозволяло узгодити між собою значення вхідних та вихідних значень струмів, опорів та напруг.

Знайдені коефіцієнти передачі по напрузі $\dot{U}$ для простих чотирьохполюсників, з яких складалися схеми наскрізного зарядження

$$k = \frac{\dot{U}_{\text{вих}}}{\dot{U}_{\text{вх}}}, \tag{1}$$

де $\dot{U}_{\text{вх}}$ та $\dot{U}_{\text{вих}}$ – вхідна та вихідна напруги відповідно, представлені у комплексному вигляді.

Вихідна напруга розраховується за формулою

$$\dot{U}_{\text{вих}} = \dot{I} \cdot \dot{Z}, \tag{2}$$

де

$$\dot{Z} = \sqrt{R^2 + (\dot{X}_L^2 + \dot{X}_C^2)}, \tag{3}$$

а $\dot{Z}$, $\dot{X}_L$, $\dot{X}_C$ – повний, індуктивний та ємнісний опори чотирьохполюсника у комплексній формі, R – активний опір чотирьохполюсника.

Найбільш поширеними в практиці використання зарядних пристроїв є існуючі MPPT-контролери (MaximumPowerPointTracking), що динамічне адаптуються до змін освітлення та забезпечують зарядку з максимальною ефективністю.

Залежно від конфігурації СЕС та потреб користувача можуть застосовуватись різні типи акумуляторів. Серед них найбільш поширеними є свинцево-кислотні (типу AGM або GEL), що вирізняються низькою вартістю, але мають обмежену кількість циклів. У сучасніших і продуктивніших системах використовують літій-залізо-фосфатні ($LiFePO_4$) акумулятори — вони мають більший термін служби, стійкі до високих струмів і не потребують обслуговування. Також іноді застосовуються літій-іонні (Li-ion) модулі, особливо у випадках, коли важливі компактність і висока енергомісткість.

Найпростіший варіант наскрізного зарядження — коли сонячна панель підключена до акумулятора через контролер. Це підходить для невеликих автономних об'єктів, наприклад дач, кемперів чи малих господарств.

На практиці наскрізне зарядження може реалізовуватись через прості аналогові схеми, які стабілізують напругу без використання складних інверторів. Наприклад, (рис.1) зарядний пристрій на основі стабілізатора LM317 дозволяє передавати енергію від 12В сонячної панелі безпосередньо до 6В акумулятора. Така схема включає мінімум перетворювальних

елементів: діоди захисту, транзистор для обмеження струму та зенер-діод для захисту від перезаряду. Це забезпечує ефективне, недороге рішення для автономних систем.

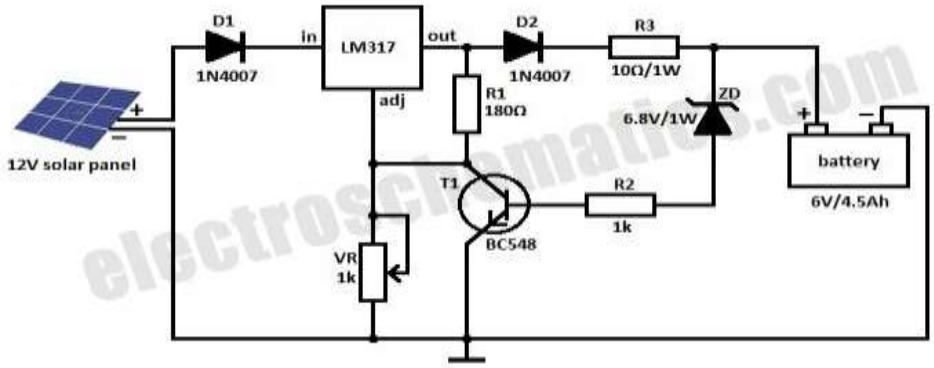

Рисунок 1 - Схема наскрізного заряджання для 6В акумулятора через стабілізатор LM317 на основі живлення від сонячної панелі

У системах наскрізного заряджання можуть застосовуватись допоміжні схеми моніторингу, які сигналізують про наявність заряду або стан акумулятора. Один із прикладів — проста схема індикації на транзисторах, що показує роботу сонячної панелі за допомогою світлодіодів.

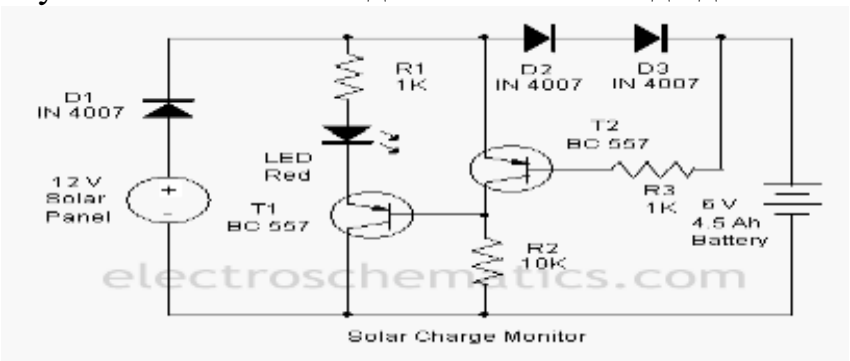

Рисунок 2 - Схема монітору заряду для індикації роботи сонячної панелі

Одним із прикладів наскрізного заряджання є схема з використанням імпульсного перетворювача (boost-конвертора), яка дозволяє заряджати акумулятор з вищою напругою від сонячної панелі з нижчою напругою. На рисунку 3 зображено схему, у якій застосовується сонячна панель на 3.2 В для заряджання 12-вольтового свинцево-кислотного акумулятора.

У цій схемі транзистор ZTX851 у поєднанні з індуктивністю формує генератор імпульсів, які, проходячи через діод BA159, заряджають акумулятор. Схема забезпечує мінімальну кількість проміжних перетворювань та високу ефективність за рахунок відсутності інвертора або додаткових стабілізаторів. Такий підхід відповідає концепції наскрізного заряджання, дозволяючи підвищити напругу та зберегти високий ККД системи. Схема особливо актуальна для використання з малопотужними або

низьковольтними сонячними елементами, що робить її придатною для бюджетних автономних систем.

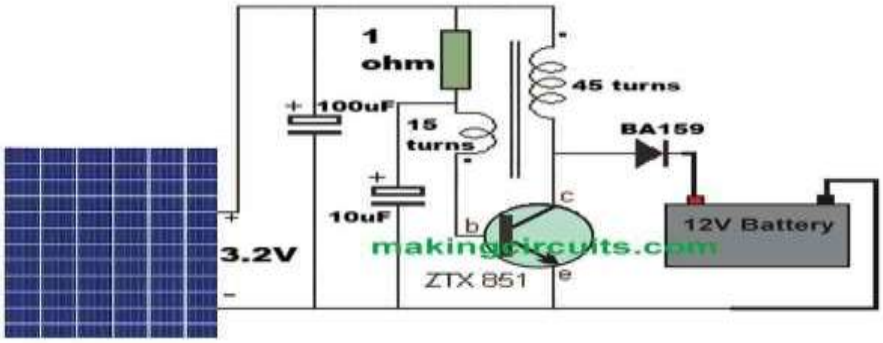

Рисунок 3 - Схема наскрізного зарядження з підвищенням напруги для зарядки 12В акумулятора від низьковольтної сонячної панелі (3.2 В)

Одним із практичних прикладів наскрізного зарядження (рис. 4) є схема на базі контролера LT3652, яка забезпечує безпосереднє підключення сонячної панелі до $LiFePO_4$-акумулятора без проміжних перетворювачів.

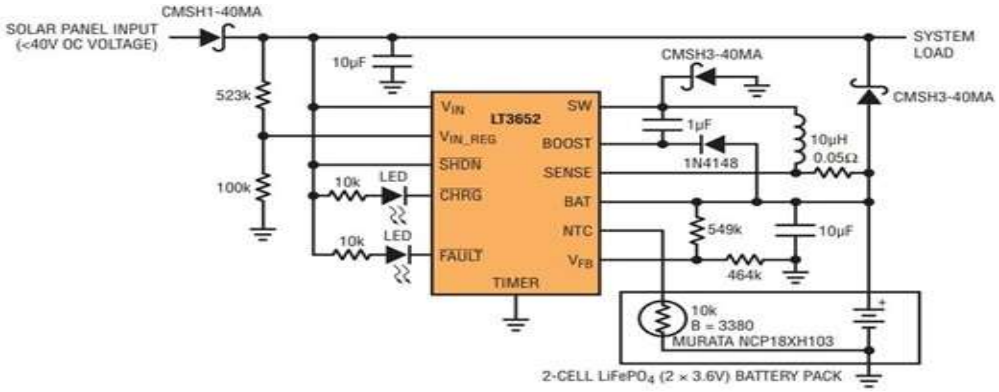

Рисунок 4 - Схема наскрізного зарядження $LiFePO_4$ акумулятора на базі контролера LT3652 з MPPT

У схемі реалізовано алгоритм MPPT, що дозволяє оптимізувати роботу сонячної панелі в умовах змінного освітлення та забезпечує високий ККД. Завдяки можливості одночасного заряджання акумулятора та живлення навантаження, така система є оптимальним рішенням для автономних або гібридних сонячних електростанцій.

Висновки: 1. У сучасних умовах розвитку відновлюваної енергетики наскрізне зарядження акумуляторів у сонячних електростанціях виступає як ефективне рішення для підвищення їх ККД і зменшення енергетичних втрат.

2. Розглянуті схеми — від простих стабілізаторів типу LM317 до інтелектуальних MPPT-контролерів на базі LT3652 — демонструють різні підходи до прямого підключення сонячної панелі до акумулятора.

3. Кожен із варіантів має свої переваги та обмеження: стабілізаторні схеми прості у реалізації, але менш ефективні; boost-конвертори дозволяють заряджати акумулятори з панелей низької напруги; а MPPT-рішення забезпечують найвищу продуктивність і надійність. Таким чином, вибір схеми заряджання залежить від вимог до енергоефективності, вартості, типу акумулятора та умов експлуатації.

4. Наскрізне заряджання — це не лише технічне рішення, а стратегічний підхід до побудови ефективної та стабільної сонячної енергосистеми з оптимальним використанням накопичувальних технологій. Його застосування особливо виправдане в умовах обмеженого доступу до мережі, частих перебоїв або потреби в мобільності та енергетичній незалежності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Курятников В.В., Кільян А.М. Системи та прилади контролю параметрів довкілля: Конспект лекцій для студентів за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища». - Одеса: ОДЕКУ, 2018. 73с.

2. Курятников В.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи технологій захисту навколишнього середовища” (ч.2 Системи та прилади контролю параметрів довкілля) для студентів спеціальності “Технології захисту навколишнього середовища”, РВО: бакалавр. Одеса: ОДЕКУ, 2021. 36 с.

3. Курятников В.В. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни “Системи та прилади контролю параметрів довкілля” для студентів природоохоронного факультету за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища». Одеса: ОДЕКУ, 2018. 43 с.

4. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: Підручник. Київ: Світ, 2003. 288 с.

5. Курятников В.В. Основи електроніки, автоматики та цифрової техніки. Методичні вказівки для студентів заочної форми навчання за напрямом «гідрометеорологія». Одеса: ОГМІ, 2001. 37 с.

6. Сайт EDN: Solarcharger circuit. URL: https://www.edn.com/solar-charger-circuit/ (дата звернення 15.04.2025)

7. Сайт EDN: Solarchar germonitor. URL: https://www.edn.com/solar-charger-monitor/ (дата звернення 18.04.2025)

8. Сайт MakingCircuits: Simple 12V solar charger circuit with boost converter. URL: https://surl.lu/xsuttf (дата звернення 21.04.2025)

9. Сайт Analog Devices: Battery charger’s unique input regulation loop simplifies solar panel maximum power point tracking. URL: https://surl.li/rlqxwt (дата звернення 21.04.2025)