

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

ВОРОБЕЙ Сергій Радіонович

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ АКУМУЛЯТОРНИХ  
БАТАРЕЙ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ/ AUTOMATIC CONTROL  
SYSTEM FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY BATTERIES**

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

Випускна кваліфікаційна робота  
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконав: студент групи АКІТ–41  
С. Р. Воробей

---

Науковий керівник:  
к.т.н., доцент А. І. Сегін

---

Випускну кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту:  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

Завідувач кафедри СКС  
\_\_\_\_\_ А. І. Сегін

Тернопіль 2025

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем  
Освітній ступінь "бакалавр"  
спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

зав. кафедри СКС

\_\_\_\_\_ А. І. Сегін  
" \_\_\_\_ ". \_\_\_\_\_ 2024р.

## **З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Воробею Сергію Радіоновичу  
(прізвище, ім'я по-батькові)

### **1. Тема кваліфікаційної роботи**

Система автоматичного контролю акумуляторних батарей автономного живлення / Automatic control system for autonomous power supply batteries

керівник роботи к.т.н., доцент Сегін А. І.

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

### **2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи**

15 травня 2025р.

### **3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:**

1. Сезонного енергоспоживання об'єкту.

2. Характеристики ферум-фосфатних акумуляторних батарей.

3. Вимоги до параметрів системи автоматичного балансування зарядки / розрядки акумуляторних батарей.

### **4. Основні питання, які потрібно розробити**

1. Розрахунок параметрів необхідної електроенергії для зарядки акумуляторних батарей та живлення навантаження на основі на основі аналізу сезонного енергоспоживання об'єкту.

2. Розробити структурну та електричну схему системи автоматичного контролю акумуляторних батарей автономного живлення.

3. Здійснити обґрунтований підбір апаратних засобів для системи автоматичного контролю акумуляторних батарей.

4. Розробити послідовний порт системи контролю акумуляторних батарей для комунікації з периферією.

5. Побудувати структуру каскадного з'єднання мікросхем балансування та моніторингу.

## 5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структура автоматичної системи контролю батарей.
2. Принципова схема балансування шести комірок батареї мікросхемою LTC-3300-1 з використанням кількох трансформаторів.
3. Принципова схема балансування батареї із вісімнадцяти комірок.
4. Схема підключення виводів сторожового таймера.
5. Структурна схема системи контролю батареї на мікросхемах LTC3300-1 та LTC6803.

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | Завдання видав | Завдання прийняв |
| 1      | Сегін А. І.                               |                |                  |
| 2      | Сегін А. І.                               |                |                  |
| 3      | Сегін А. І.                               |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

## 7. Дата видачі завдання 01 грудня 2024р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назви етапів кваліфікаційної роботи                                               | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз систем автономного електропостачання та їх обладнання                      | 01.12.2024р. – 15.01.2025р.   | виконано |
| 2     | Аналіз характеристик енергоспоживання об'єкту та параметрів акумуляторних батарей | 16.02. 2025р.– 15.03.2025р.   | виконано |
| 3     | Розробка системи контролю акумуляторних батарей                                   | 16.03.2025р. – 30.04.2025р.   | виконано |
| 4     | Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату  | 1.05.2025р. – 15.05.2025      | виконано |

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Воробей С. Р.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

к.т.н., доц. Сегін А. І.

## АНОТАЦІЯ

Воробей С. Р. Система автоматичного контролю акумуляторних батарей автономного живлення. – Рукопис.

Дослідження на здобуття першого (бакалаврського ) рівня освіти за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025 р.

У кваліфікаційній роботі розроблено систему автоматичного контролю та моніторингу параметрів акумуляторних батарей автономного живлення на основі на мікросхемах LTC3300-1 та LTC6803.

## ANNOTATION

Vorobey S. R. Automatic control system for autonomous power supply batteries. – Manuscript.

Research for obtaining the first (bachelor's) level of education in the specialty 151 – Automation and computer-integrated technologies, educational and professional program – Automation and computer-integrated technologies – West Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

In the qualification work, a system for automatic control and monitoring of parameters of autonomous power supply batteries based on LTC3300-1 and LTC6803 microcircuits.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                | 6  |
| 1 АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО<br>ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ .....                                                   | 9  |
| 1.1 Аналіз відомих систем автономного електропостачання.....                                                              | 9  |
| 1.2 Огляд накопичувачів електроенергії та їх характеристики.....                                                          | 13 |
| 1.3 Загальний аналіз типів інверторів.....                                                                                | 18 |
| 1.4 Огляд існуючих системи контролю батарей.....                                                                          | 20 |
| 2 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ<br>ОБ'ЄКТУ ТА ПАРАМЕТРІВ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ.....                               | 24 |
| 2.1 Аналіз сезонного енергоспоживання об'єкту .....                                                                       | 24 |
| 2.2 Розрахунок параметрів необхідної електроенергії для зарядки<br>аккумуляторних батарей та живлення навантаження.....   | 29 |
| 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ АКУМУЛЯТОРНИХ<br>БАТАРЕЙ.....                                                                 | 31 |
| 3.1 Загальна структура автоматичної системи контролю батарей на<br>основі мікросхема балансування комірок LTC 3300-1..... | 31 |
| 3.1.1 Зовнішній вигляд LTC 3300-1 та призначення виводів.....                                                             | 34 |
| 3.1.2 Особливості мікросхеми LTC3300-1 .....                                                                              | 39 |
| 3.2 Балансування заряду комірок аккумуляторної батареї.....                                                               | 41 |
| 3.3 Основні компоненти мікросхеми балансування комірок LTC-3300-1                                                         | 47 |
| 3.4 Робота послідовного порту мікросхема LTC3300-1 .....                                                                  | 59 |
| 3.5 Каскадне з'єднання мікросхем балансування та моніторингу                                                              | 70 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                             | 73 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                                          | 74 |
| ДОДАТОК А. АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ .....                                                                             | 77 |

|           |                |          |        |     |                                                                           |  |  |                   |      |         |
|-----------|----------------|----------|--------|-----|---------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------|------|---------|
|           |                |          |        |     | ДП.АКІТ.9702554.00.00.000 ПЗ                                              |  |  |                   |      |         |
|           |                |          |        |     |                                                                           |  |  |                   |      |         |
| Змн.      | Арк.           | № докум. | Підпис | Дат | Система автоматичного контролю акумуляторних батарей автономного живлення |  |  | Лім.              | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   | Воробей С. Р.  |          |        |     |                                                                           |  |  |                   |      |         |
| Перевір.  | Сегін А. І.    |          |        |     |                                                                           |  |  |                   | 5    | 62      |
| Консульт. | Сегін А.І.     |          |        |     |                                                                           |  |  | ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41 |      |         |
| Н. Контр. | Заставний О.М. |          |        |     |                                                                           |  |  |                   |      |         |
| Затверд.  | Сегін А. І.    |          |        |     |                                                                           |  |  |                   |      |         |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Автономні системи електропостачання займають особливе місце у стратегії розвитку енергетики і все частіше набувають широкого поширення та впровадження в системах електропостачання не тільки спеціального (ізолюваного), а й загального користування. Найчастіше такі системи будуються на базі відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні батареї або вітряні генератори, але оскільки вони залежать від добової погоди, то для побудови автономної системи електропостачання необхідний накопичувач енергії. Як накопичувачі електроенергії нерідко виступають акумуляторні батареї, які мають обмежений термін служби через обмежену кількість циклів заряду/розряду, а також розкид електричних параметрів залежно від зовнішніх факторів, що дестабілізують. Ця проблема є актуальною і підлягає вирішенню.

**Метою кваліфікаційної роботи** є розробка та дослідження системи автоматичного контролю стану акумуляторних батарей автономного живлення з можливістю моніторингу ключових параметрів (напруги, струму, температури, рівня заряду) та оперативного виявлення несправностей, яка усуває недоліки акумуляторних батарей, підвищує надійність усієї системи автономного електропостачання в цілому

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Здійснити аналіз систем автономного електропостачання та їх обладнання.
2. Здійснити аналіз типів накопичувачів електроенергії та їх характеристики.
3. Провести аналіз існуючих систем контролю акумуляторних батарей.
4. Розробити загальну структуру автоматичної системи контролю батарей.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 6    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

5. Обґрунтувати вибір технічних засобів і методів моніторингу.

6. Розробити загальну структуру каскадного з'єднання мікросхем балансування та моніторингу.

**Об'єктом дослідження** є акумуляторні батареї, що використовуються в системах автономного електроживлення.

**Предметом дослідження** є процеси контролю технічного стану акумуляторних батарей за допомогою автоматизованих засобів моніторингу.

**Методи дослідження.** В кваліфікаційній роботі застосовуються методи системного аналізу, математичного моделювання, комп'ютерного моделювання електронних схем, а також експериментальні методи вимірювання електричних параметрів батарей.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у зниженні витрат на електроенергію, а також підвищення надійності та продовження терміну служби накопичувача електроенергії на акумуляторних батареях за рахунок розробки системи контролю акумуляторних батарей, за рахунок підвищення надійності автономних енергетичних систем, зменшення витрат на обслуговування акумуляторних батарей.

#### **Апробація результатів роботи**

*Воробей С. Р., Кертис Д. А.* Система автоматичного балансування зарядки та контролю стану акумуляторних батарей автономного живлення. //Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ–2025) Тернопіль, 2025. С 23–30.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 7    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

# 1 АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ

## 1.1 Аналіз відомих систем автономного електропостачання

Автономні системи електропостачання (АСЕ) вигідні там, де прокладання ліній електропередач вимагає істотних витрат, і якщо необхідна ще й установка підстанції, то сума підключення збільшиться у рази. Причому ці гроші підуть на покупку обладнання, яке не стане вашою власністю, а належатиме місцевим енергомережам. Таким чином, автономна система може коштувати дешевше (при врахуванні вартості плати за електроенергію), ніж підключення до ліній електропередач (ЛЕП). Також слід згадати, що автономна система буде вашою власністю, при належному догляді вона прослужить дуже довго, а власник, регулярно перевіряючи її стан, убезпечить себе від раптових відключень електроенергії. Якщо передбачуване місце розташування АСЕ знаходиться в регіоні з відповідними кліматичними умовами, то вартість енергії, що виробляється автономною системою, може бути нижчою, ніж при підключенні до централізованих мереж [1].

Таким чином, даний спосіб отримання електроенергії є актуальним у ряді випадків і абсолютно безпечний для навколишнього середовища, тому він завжди екологічно вигідний.

Існують різні види АСЕ (рисунки 1.1), принцип їх побудови однаковий, а головне їх відмінність між собою це використання різних первинних джерел електричної електроенергії, таких як: генератор, що працює на бензині або дизельному паливі, вітроелектрична установка, фотоелектрична установка (сонячні батареї).

При побудові АСЕ бажано мати не одне, а два джерела енергії, у такому разі споживач буде повністю застрахований від відключень.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 8    |



Як правило, як додаткове джерело використовується дизельний генератор. Потреба в ньому може і не виникнути, зазвичай це джерело простоює, проте він може стати у нагоді в будь-який момент. У ряді випадків для того, щоб мінімізувати вартість АСЕ і виходячи з погодних умов і клімату певної місцевості доцільно використовувати одне первинне джерело електроенергії.

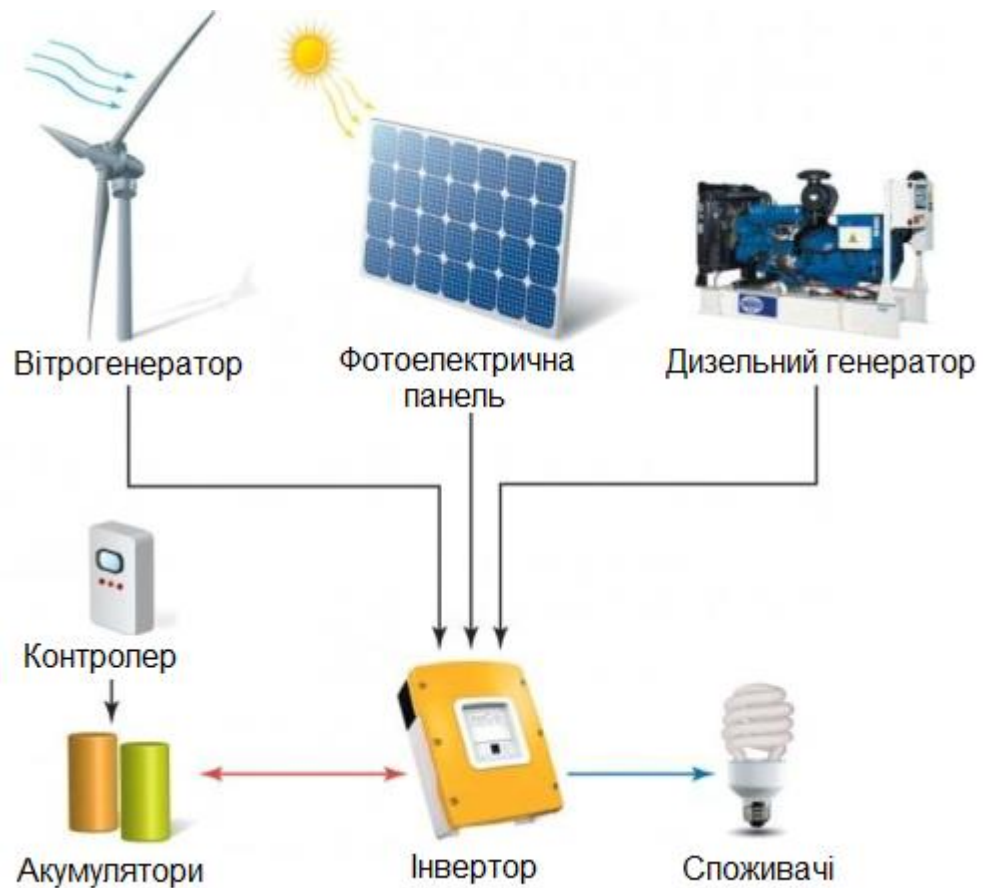


Рисунок 1.1 – Спрощена схема автономної системи електропостачання

Другий необхідний елемент – акумуляторна батарея. Без неї автономна система неспроможна існувати, оскільки відновлюваний ресурс непостійний. Навіть для систем, де джерелом є генератор, потрібна акумуляторна батарея, що дозволяє відключати його на деякий час, а користуватися електроенергією постійно.

Ще одна важлива частина автономної системи електропостачання – інвертор, який перетворює постійний струм на змінний. Необхідність обумовлюється високими втратами у проводах постійного струму. До того ж більшості пристроїв необхідний змінний струм напругою 220В, який можна отримати від інвертора.

Контролер заряду акумуляторної батареї буває окремим, а буває вбудованим в інвертор. Завданням контролера є стежити за станом батареї та не допускати повної розрядки та перезаряду, а також покращувати експлуатаційні характеристики та продовжувати термін служби акумуляторної батареї (АКБ).

Також слід зазначити, що замість контролера заряду АКБ може виступати і ціла система, наприклад, СКБ, яка є об'єктом дослідження даної кваліфікаційної роботи.

Також слід зазначити, що у вартість АСЕ також входить все необхідне обладнання: кабелі, автомати, щити, система заземлення, вимикачі та інше [3].

Видів первинних джерел електроенергії не так багато – це дизельний, бензиновий або вітряний електрогенератор, сонячні батареї та акумулятори, а також портативні гідроелектростанції. Всі ці джерела мають як переваги, так і недоліками, з які необхідно розуміти для правильного використання.

Паливні генератори. Паливні генератори (рисунок 1.2) – це найпростіший і найдешевший спосіб забезпечити невеликий об'єкт електроенергією.

Робота пристрою заснована на принципі спалювання палива, тому якщо йдеться про таку систему безперебійної подачі електроенергії, вона передбачає створення чималої бази для зберігання палива. Як мінімум, у запасі має бути близько двохсот літрів дизельного палива, бензину або інших горючих матеріалів. Бензинові агрегати безшумні, компактні, прості в експлуатації, коштують недорого і можуть працювати за низьких температур.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 10   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

Але час безперервної роботи у них невеликий. Дизельні системи продуктивніші, ніж бензинові аналоги. Дизельні генератори надійні та довговічні, але для них доведеться придбати або зробити своїми руками окремий контейнер (або господарську споруду). Це необхідна умова, щоб шум працюючого пристрою не заважав людям. Вигідно відрізняються газові електрогенератори – якщо до будівлі підведено газопровід, то проблема із джерелом палива вирішується автоматично. Головними недоліками всіх перелічених вище генераторів є те, що вони не підходять як первинне джерело електроенергії для великих і середніх об'єктів [4].



Рисунок 1.2 – Паливні генератори: а) – бензиновий; б) – дизельний; в) –газовий.

Відновлювані джерела енергії. Традиційним відновлюваним джерелом енергії є гідроелектростанції. Якщо поблизу об'єкта розташована річка чи озеро, можна скористатися водяними джерелами енергії. Гідроелектроенергія в невеликих масштабах є найбільш реальним та вигідним варіантом автономного електропостачання. Плюсами використання даного типу первинних джерел електроенергії є екологічність та безпека, простота в експлуатації та тривалий термін служби, але все ж таки даний тип первинних джерел електроенергії не є поширеним через необхідність водоймища поблизу. Внаслідок цього доцільно використання нетрадиційних

відновлюваних джерел електроенергії, таких як вітряні електрогенератори та сонячні батареї (рисунок 1.3).

Вітряні електрогенератори використовують енергію вітру, за допомогою якої обертаються турбіни, розташовані на високих вежах (від 3 м). Вітряні електрогенератори мають плюси, такі як екологічність, надійність, але їх недоліки часто перебивають усі плюси. Основними недоліками вітряних електрогенераторів є їхня висока вартість, габарити, шум при роботі великої кількості генераторів, а також обов'язкова наявність постійного вітру зі швидкістю не менше 14 км/год.



Рисунок 1.3 – Нетрадиційні відновлювані джерела енергії

Найчастіше універсальним рішенням під час виборів первинного джерела електроенергії виступають сонячні батареї. Вони перетворюють падаюче світло на електрику завдяки властивості р-п переходу при поглинанні кванта світла. Енергії сонячних променів цілком вистачає, щоб перетворювати її на потрібну людині електрику. Сонячні батареї є

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 12   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

ефективним автономним джерелом електропостачання, яке прослужить мінімум 40 років. Плюсами сонячних батарей є їх простота роботи, екологічність, можливість використання на великих об'єктах, а недоліками є габарити, необхідність спеціальної конструкції кріплення та залежність вироблення електроенергії від погодних умов, а також повна відсутність вироблення електроенергії в нічний час, у зв'язку з чим для автономної системи на сонячних батареях необхідна наявність накопичувача електроенергії [5].

Виходячи з перерахованих переваг та недоліків всіх видів джерел первинної електроенергії, а також враховуючи географічне положення, клімат і площу об'єкта як первинне джерело електроенергії для автономної системи електропостачання для сонячних регіонів найбільш перспективним є використання сонячних батарей спільно з накопичувачем електроенергії.

## 1.2 Огляд накопичувачів електроенергії та їх характеристики

За принципом дії накопичувачі електричної енергії в цілому можна поділити на три основні групи: механічні, електрохімічні та електромагнітні. Надалі розглядатимемо лише електрохімічні накопичувачі. Електрохімічні накопичувачі поділяються на: акумуляторні батареї, водневі накопичувачі, проточні редокс-акумулятори та суперконденсатори.

Акумуляторні батареї (АБ) є одним із найбільш економічно ефективних та зручних оборотних накопичувачів електричної енергії [6].

Акумулятори безшумні, при своїй роботі не забруднюють навколишнє середовище. Місткість запасеної в них енергії може бути збільшена за рахунок комутації окремих батарей в блоки і групи. Вони можуть бути розташовані практично в будь-якому місці та встановлені відносно швидко. Заряджання акумулятора не є швидким процесом і за тривалістю, як правило,

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 13   |

збігається із тривалістю розряду [7]. Швидке реагування на підключення до навантаження є важливою перевагою АБ, деякі типи батарей можуть реагувати на зміни навантаження протягом 20 мілісекунд. Це визначило їхнє використання як основних резервних джерел харчування. Ефективність акумуляторів визначається коефіцієнтом корисної дії (ККД), який знаходиться в діапазоні 70÷90 % [8]. Батареї, однак, мають недоліки. Процес циклу заряду-розряду, як і температура в батареї повинні бути під контролем, тому що вони впливають на термін служби батареї. Іншою серйозною проблемою є життєвий цикл батареї – кількість циклів заряду/розряду, що залежить від глибини розряду АБ. Якщо глибина розряду велика, то життєвий цикл батареї знижується. Як видно з рисунка 1.4, термін служби батареї Delta GS12-180 значно знижується зі збільшенням глибини розряду АБ [9].

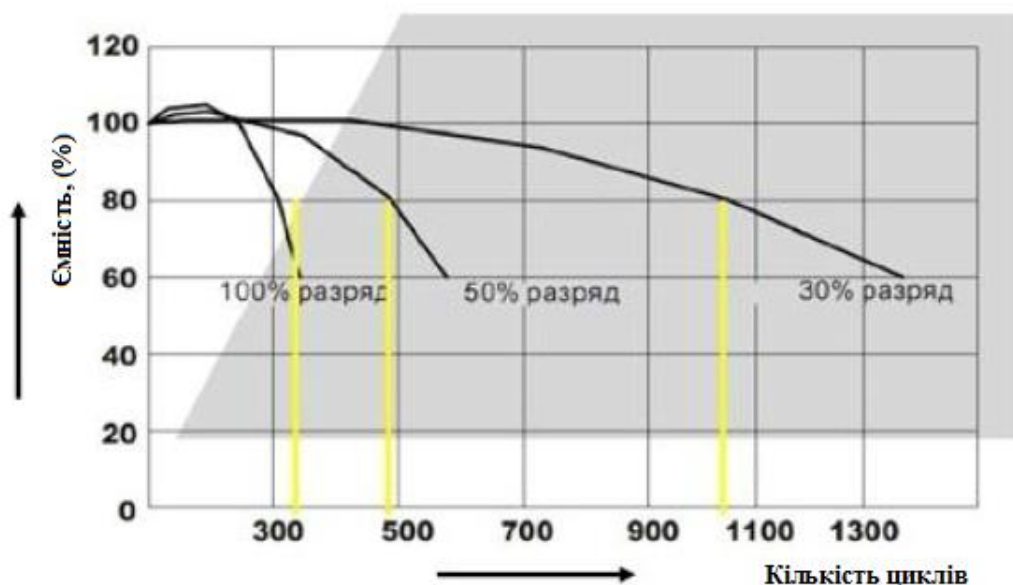


Рисунок 1.4 – Життєвий цикл акумуляторної батареї

Основними типами АБ є: свинцеві, нікель-кадмієві, нікельзалізні, нікель-металогідридні, нікель-цинкові, срібно-цинкові та срібно-кадмієві,

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |



літій-іонні, літій-ферофосфатні, літій-полімерні, та метал-повітряні. Порівняльні характеристики всіх видів АБ наведено у таблиці 1.1 [10,11].

Таблиця 1.1 – Основні характеристики АБ

| Тип Акумулятора                                             | ККД (%) | Вартість (\$/кВт) | Кількість циклів до визначеного розряду(%) | Робоча температура (°C) | Питома Енергія (Вт·год/кг) | Само-розряд (%/місяць) |
|-------------------------------------------------------------|---------|-------------------|--------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|
| Свинцово-кислотний (flooded)                                | 72-78   | 50-150            | 1000-2000 (70%)                            | -5/+40                  | 25                         | 2-5                    |
| Свинцово-кислотний (регульованим клапаном - valveregulated) | 72-78   | 50-150            | 200-300 (70%)                              | -5/+40                  | 30-50                      | 2-5                    |
| Нікель-кадмієвий (Ni-Cd)                                    | 72-78   | 200-600           | 3000 (100%)                                | -40/+50                 | 40-80                      | 5-20                   |
| Сульфід-натрієвий (NaS)                                     | 89      | 400-500           | 2500 (100%)                                | +300 / +350             | 100                        | 0                      |
| Літій-іонний                                                | 100     | 700-1000          | 3000 (80%)                                 | -30/+60                 | 90-190                     | 1                      |
| Ванадій Редокс (Vanadium redox)                             | 85      | 360-1000          | 10000 (75%)                                | 0/+40                   | 30-50                      | незначний              |
| Цинк-бромна (ZnBr)                                          | 75      | 360-1000          | 3500 (100%)                                | 0/+40                   | 70                         | незначний              |
| Метал - повітряні                                           | 50      | 50-200            | <100                                       | -20/+50                 | 450-650                    | незначний              |
| Літій фери-фосфатні (LiFePO <sub>4</sub> )                  | 90      | 900-1200          | 3000-5000 (70%)                            | -20/+50                 | 180-200                    | 5                      |

Водневі накопичувачі є досить перспективними накопичувачами електроенергії, водень є унікальним енергоносієм і за рахунок процесів прямого електрохімічного перетворення енергії в електролізерах та паливних елементах може бути використаний для акумулювання електричної енергії. Переваги цього типу накопичувачів це абсолютна екологічність, висока енергоємність (завдяки необмеженому зберіганню газів у стислому стані), а недоліки - висока вартість розробки, низький ККД ~40%, складність конструкції, необхідність баку для водню [12].

Електрохімічні суперконденсатори відрізняються від акумуляторів тим, що електрохімічні процеси відбуваються виключно на поверхні електрода, що призводить до вищої швидкості протікання електрохімічних процесів за рахунок відсутності дифузійних труднощів. Процес запасання енергії в суперконденсаторах здійснюється за рахунок поділу заряду на кордоні електрод - електроліт на двох електродах з високорозвиненою поверхнею та максимально можливою різницею потенціалів між ними [13].

Різниця потенціалів зазвичай визначається величиною напруги розкладання електроліту. Переваги даного типу накопичувачів це практично ідеальна оборотність, необмежена цикловість, швидкий час заряду, широкий температурний діапазон, відсутність необхідності обслуговування, а недоліки – висока вартість, швидкий час розряду, електрохімічна деградація електродів [14].

Проточні редокс-батареї (ПРБ) з'явилися порівняно недавно. Основна їхня відмінність від акумуляторних батарей полягає в тому, що активні речовини тут знаходяться не всередині батареї, в окремих ємностях і подаються в батарею тільки для перебігу окислювально-відновних реакцій на електродах [29]. Серед багатьох редокс-систем, практичне застосування знайшла ванадієва редокс-система. Робота такої батареї полягає в тому, що ванадій може бути в розчині в чотирьох різних ступенях окислення. До її складу входять дві ємності з електролітом (розчини сірчаноокислих солей ванадію в сірчаній кислоті) у баках, насоси та електрохімічний блок, в якому рідини відокремлюються один від одного протонообмінною мембраною (рисунок 1.4).

Одна ємність містить іони  $V^{5+}$ , а інша  $V^{2+}$ ; ЕРС сумарної реакції становить  $E = 1,246$ . При розряді батареї ступінь окислення ванадію в анодному контурі змінюється з  $+2$  на  $+3$ , причому зі складу солі вивільняється один атом водню, який іонізується. Протон через мембрану, а електрон – через зовнішній ланцюг відправляються на катод, де ступінь

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 16   |



окислення ванадію в склад католіту змінюється з +5 на +4. Для заряду рідин батареї на електроди подають зовнішню напругу і процес запускають у зворотний бік.

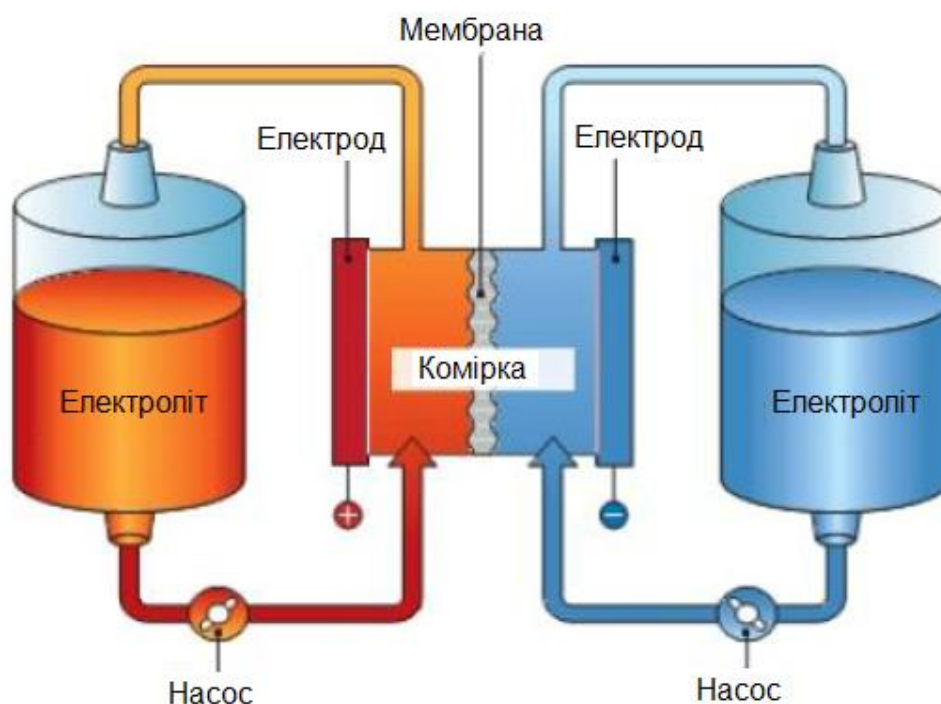


Рисунок 1.4 – Схематичне зображення проточної редокс-батареї

Переваги цього типу накопичувачів це висока енергоємність, простота перезарядки, можливість роботи при перевантаженнях, а недоліки - висока вартість, складна конструкція [15].

Виходячи з перерахованих переваг і недоліків всіх видів електрохімічних накопичувачів електроенергії більш кращим варіантом для використання є літій-ферофосфатні акумуляторні батареї, так як у них нижча вартість порівняно з іншими типами накопичувачів, а також найширший діапазон температур роботи, велика кількість циклів заряд/розряд і високий.

### 1.3 Загальний аналіз типів інверторів

Інвертор – це перетворювач постійного струму у змінний, напругою 220 В необхідної для споживачів змінного струму або якщо споживачі знаходяться на значній відстані від АБ (втрати у проводах постійного струму низької напруги можуть виявитися суттєвими). Насамперед, вибраний інвертор повинен забезпечити необхідну вихідну потужність.

Вхідна (низьковольтна) напруга пов'язана з цією потужністю досить тісно. Але, крім цього, у інверторів є й інші характеристики, на які слід звернути увагу.

По-перше, це форма струму, що генерується. Найпростіші моделі генерують змінний струм трикутної або прямокутної форми (меандр). Правда, це їх теоретична форма струму, в реальності вона зазвичай сильно погіршена величезними перешкодами та спотвореннями. Більш-менш успішно такий струм «живить» лише нагрівальні прилади, які не містять електронних блоків та лампи розжарювання. Вся електротехніка з електронними елементами (електромотори, трансформатори, люмінесцентні та енергозберігаючі лампи тощо) від струму такої форми можуть або вийти з ладу, або не запуститися, або працювати дуже погано, навіть якщо тестер чесно показує 220 В. Дещо більш прийнятний струм трапецеїдальної форми. На сьогоднішній день інвертори, які виробляють на виході змінний струм таких форм, трапляються рідко.

Найчастіше сучасні інвертори видають так званий «модифіковану синусоїду», що є ступінчастим наближенням до синусоїдальної форми. Така форма струму цілком успішно «споживається» практично всіма сучасними побутовими пристроями та електроінструментами, але звук роботи деяких з них може помітно змінитися і стати голоснішим, а блоки живлення можуть почати помітно «дзвеніти». Щоб усунути цю проблему, можна спробувати використовувати різні фільтри, що згладжують нерівності струму.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 18   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

Нарешті, інвертори, що генерують «чисту синусоїду», видають струм, форма якого дуже близька до ідеального синусного сигналу і зазвичай набагато краща, ніж форма струму в громадській електромережі. Єдиний недолік цього класу інверторів — вони трохи більші і в півтора-два рази дорожчі за аналогічні інвертори з «модифікованою синусоїдою».

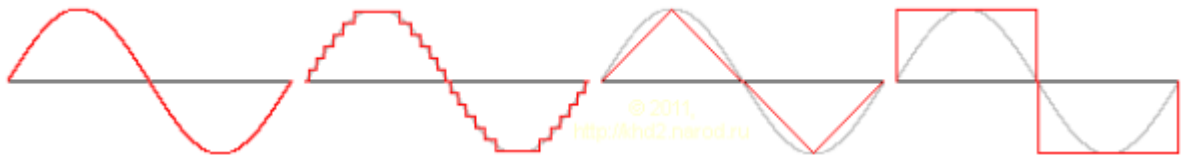


Рисунок 1.5 – Схеми форми струму та напруги на виході інвертора (зліва направо): чиста синусоїда, модифікована синусоїда, трикутник, меандр.

По-друге, ККД інвертора. Чим він вищий, тим менші непродуктивні втрати енергії. Більшість сучасних інверторів мають ККД понад 90%.

По-третє, це здатність інвертора працювати в якості зарядного пристрою акумуляторів. Такий інвертор у комплекті з потужними акумуляторами цікавий вже сам по собі, — він по суті є джерелом безперебійного живлення (UPS) — приблизно таким, які використовуються для комп'ютерів, але потужністю кілька кіловат і ємністю кілька кіловат-годин.

По-четверте, корисна детальна індикація пааметрів. Дуже бажана можливість контролю як значення вхідної напруги (на акумуляторах), так і вихідної (в мережі). Крім того, бажано наявність захисту від перевантаження та від короткого замикання у навантаженні.

По-п'яте, інвертор повинен допускати короточасне перевищення номінального навантаження хоча б у півтора-два рази. Це дозволяє використовувати електромотори та нагрівальні прилади, потужність яких дорівнює номінальній потужності інвертора.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 19   |

По-шосте, корисна функція, яка при повному заряді акумулятора підключає до окремої лінії додаткове навантаження, наприклад водонагрівачі. У сонячні дні це дозволяє з користю автоматично використаовувати надлишок енергії і не допускати витрати енергії на другорядні речі тоді, коли її мало [16].

Виходячи з вище перерахованих рекомендацій щодо вибору інверторів, підберемо з уже наявних технічних рішень інвертори для сонячних батарей марки SMA Sunny Tripower 20000 TL-30, а також інвертор для акумуляторного накопичувача електроенергії марки SMA Sunny Island 8.0H.

#### 1.4 Огляд існуючих системи контролю батарей

Під терміном системи контролю батарей (СКБ англ. BMS) підрозумівається багато значень, і трактують його по-різному. Для деяких – це просто система стеження за станом батареї: параметрами заряду та розряду, напругою та струмом на вході та виході батарей, а також температурою батареї. Зазвичай ланцюги контролю повинні сигналізувати або відключати батарею від навантаження або зарядного пристрою при виході хоч одного параметра за допустимий діапазон.

Для розробника, що проектує систему живлення, акумуляторні батареї якої є джерелом для пристроїв, які виконують покладені на них функцій (будь то електромотор легкого транспортного засобу або телекомунікаційне обладнання), СКБ означає систему контролю батареєю.

Така система повинна не тільки стежити за параметрами та захищати акумуляторну батарею, але й підтримувати її у стані готовності віддати необхідну кількість енергії, а також здійснювати заходи щодо збільшення терміну її життя.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 20   |

Структурно СКБ (англ. BMS) являє собою плату, на якій розташовані кілька мікросхем моніторингу, що відповідають за визначення та відображення основних параметрів акумуляторної батареї користувачу, а також з мікросхем балансування, які здійснюють головну функцію балансування всіх основних модулів акумуляторної батареї, зарядного пристрою акумуляторних комірок а також зовнішніх елементів обв'язки.

Для контролю продуктивності та безпеки акумулятора необхідно розуміти, що потрібно контролювати і навіщо це вимагає контролю. А це вимагає розуміння основ хімічних процесів, що відбуваються в акумуляторних комірках, експлуатаційних характеристик та стану відмови батарей, особливо літєвих. Акумуляторну батарею не можна сприймати як «чорну скриньку». Тому при проектуванні СКБ (англ. BMS) для акумуляторних батарей слід звертати увагу на такі функціональні можливості системи.

1. Захист комірок. Захист батареї від умов, які не сумісні з її роботою, це основна функція всіх BMS. BMS повинні забезпечувати захист всіх комірок батареї від будь-якої випадкової ситуації. Експлуатація батареї поза діапазоном її експлуатаційних характеристик неминуче призведе до виведення її з ладу.

2. Контроль заряду. Це життєво важлива функція BMS. Заряд батареї, який здійснюється не відповідно до правил заряду акумулятора, це найпоширеніша причина виходу батареї з ладу.

3. Балансування комірок. У багатокомірковій батареї, відмінності в характеристиках комірок збільшуються пропорційно до кількості циклів заряду/розряду. Проте необхідно підтримувати їх рівномірну розрядку та зарядку. Найбільш слабкі комірки під час циклу заряду перезаряджаються, що призводить до їхньої прискореної деградації і як внаслідок виходу з ладу батареї. Балансування комірок – це спосіб, що дозволяє розподіляти заряд

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 21   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

рівномірно між усіма осередками незалежно від розкиду їхніх параметрів, що продовжує термін служби акумуляторної батареї в цілому.

4. Визначення стану заряду (State of charge). В різних випадках потрібно знати стан заряду батареї або окремої комірки в ланцюзі батареї. Ця інформація використовується для відображення залишкової ємності батареї, а також в контрольному ланцюзі зарядного пристрою для забезпечення оптимального режиму заряду батареї.

5. Визначення стану справності (State of Health). Цей параметр є показником готовності батареї до навантаження. Нестійкість батареї знаходиться в прямій залежності від цього показника. Служить для інформування користувача про необхідність проведення обслуговування батареї та запобігання раптовому припиненню роботи батареї.

6. Визначення стану справності (State of Health). Цей параметр є показником готовності батареї до навантаження. Відмовостійкість батареї знаходиться є прямим показником справності і служить для інформування користувача про необхідність проведення обслуговування батареї та запобігання раптовому припиненню роботи батареї.

7. Ведення журнал роботи батареї. Зберігання в пам'яті таких показників як кількість циклів зарядки/розрядки батареї, максимальна та мінімальна напруга батареї та окремих її комірок, максимальне та мінімальне значення струму зарядки та розрядки. Доступ до цих показників дає можливість точніше визначити стан справності батареї.

8. Взаємодія із зарядним пристроєм або тестовим обладнанням. Інтерфейс взаємодії необхідний для читання технічних даних про стан батареї, зміни її параметрів або для діагностичного та тестового обладнання [17].

Виходячи з вище перерахованих рекомендацій щодо вибору підходящої СКБ з уже наявних технічних рішень, найкраще є проектування СКБ на мікросхемах виробництва компанії Linear Technology, а саме

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 22   |

мікросхеми балансування LTC 3300-1, а також мікросхеми моніторингу LTC 6803-1. Перевагами даних мікросхем є багатофункціональність, можливість роботи з літій-ферофосфатними акумуляторними комірками у кількості шести штук на одну мікросхему, що заощадить місце під час розведення плати, дозволить скоротити витрати на проектування, а також максимально спростить всю СКБ загалом.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 23   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

## 2 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ОБ'ЄКТУ ТА ПАРАМЕТРІВ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

### 2.1 Аналіз сезонного енергоспоживання об'єкту

Під час проектування структурної схеми трифазної автономної системи електропостачання об'єкта на вул. Зеленій вихідними даними для розрахунку є таблиця сезонного енергоспоживання (див. таблицю 2.1), яка була отримана програмними розрахунками пікових навантажень на електромережу, виходячи з одночасно працюючих споживачів електроенергії.

Таблиця 2.1 – Споживання електроенергії об'єктом, Вт\*год.

| Год. | Січ. | Лют. | Бер  | Квіт. | Трав  | Черв  | Лип   | Сер. | Верь | Жовт. | Лист. | Груд |
|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|
| 0    | 1701 | 1768 | 1642 | 2774  | 3576  | 3769  | 3706  | 3003 | 1916 | 1801  | 1747  | 1694 |
| 1    | 1742 | 1811 | 1645 | 2774  | 3672  | 3870  | 3804  | 3083 | 1967 | 1848  | 1791  | 1736 |
| 2    | 1742 | 1811 | 1645 | 2774  | 3672  | 3870  | 3804  | 3083 | 1967 | 1848  | 1791  | 1736 |
| 3    | 1742 | 1811 | 1645 | 2774  | 3672  | 3870  | 3804  | 3083 | 1967 | 1848  | 1791  | 1736 |
| 4    | 1742 | 1811 | 1645 | 2774  | 3672  | 3868  | 3803  | 3083 | 1967 | 1848  | 1791  | 1736 |
| 5    | 1742 | 1811 | 1645 | 2774  | 3672  | 3866  | 3801  | 3082 | 1967 | 1848  | 1791  | 1736 |
| 6    | 1847 | 1923 | 2680 | 2847  | 3721  | 3922  | 3857  | 3127 | 1993 | 1899  | 1862  | 1827 |
| 7    | 4469 | 4724 | 3960 | 4960  | 5610  | 5976  | 5899  | 4780 | 2987 | 3398  | 3763  | 4161 |
| 8    | 8954 | 9139 | 8764 | 11249 | 11072 | 11602 | 11416 | 9597 | 6120 | 7592  | 8070  | 8590 |
| 9    | 7869 | 8017 | 7676 | 10013 | 10144 | 10645 | 10465 | 8823 | 5614 | 6812  | 7196  | 7518 |
| 10   | 6898 | 7004 | 6637 | 8456  | 9883  | 10395 | 10219 | 8226 | 5486 | 5758  | 6212  | 6633 |
| 11   | 6927 | 7025 | 6677 | 8495  | 10015 | 10582 | 10403 | 8824 | 5591 | 5772  | 6341  | 6676 |
| 12   | 4175 | 4267 | 4039 | 4816  | 6061  | 6434  | 6325  | 5282 | 3320 | 3338  | 3676  | 3956 |
| 13   | 6715 | 6952 | 6667 | 8256  | 9859  | 10430 | 10253 | 8741 | 5513 | 5688  | 6247  | 6598 |
| 14   | 7334 | 7693 | 7265 | 9112  | 10580 | 11185 | 10993 | 9364 | 5929 | 6202  | 6887  | 7302 |
| 15   | 8030 | 8419 | 8023 | 10349 | 10500 | 11039 | 10852 | 9202 | 5854 | 7037  | 7537  | 7993 |
| 16   | 8461 | 8870 | 8440 | 10871 | 11033 | 11580 | 11384 | 9622 | 6121 | 7409  | 7886  | 8295 |
| 17   | 4269 | 4429 | 4410 | 6129  | 7634  | 8025  | 7893  | 6494 | 4144 | 4108  | 4155  | 4210 |



Продовження таблиці 2.1

|      |       |        |       |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
|------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 18   | 3741  | 3909   | 3720  | 5349   | 6674   | 7006   | 6896   | 5652   | 3611  | 3615  | 3645  | 3658  |
| 19   | 2427  | 2534   | 2348  | 3557   | 4428   | 4640   | 4564   | 3741   | 2394  | 2390  | 2380  | 2378  |
| 20   | 1742  | 1811   | 1645  | 2774   | 3670   | 3866   | 3801   | 3082   | 1967  | 1848  | 1791  | 1736  |
| 21   | 1742  | 1811   | 1645  | 2774   | 3672   | 3868   | 3803   | 3083   | 1967  | 1848  | 1791  | 1736  |
| 22   | 1742  | 1811   | 1645  | 2774   | 3672   | 3870   | 3803   | 3083   | 1967  | 1848  | 1791  | 1736  |
| 23   | 1650  | 1714   | 1645  | 2666   | 3555   | 3745   | 3682   | 2984   | 1904  | 1777  | 1714  | 1650  |
| Сума | 99403 | 102873 | 97705 | 132018 | 153718 | 161922 | 159230 | 132520 | 84230 | 89379 | 93651 | 97024 |

Основою ж для побудови автономної системи електропостачання, як було зазначено в п.1.3 послужили сонячні панелі Qcells Q.Pro-G4 Poly 265Wp засновані на полікристалічному кремнії з номінальною потужністю 265 Ватт в кількості 73 шт., а також сонячні панелі BenQ PM060M02 номінальною потужністю 280 Ват у кількості 73 шт. Усі панелі розміщуються на даху будівлі під кутом 10° щодо горизонту. Основні параметри сонячних панелей наведено у таблиці 2.2 [18, 19].

Таблиця 2.2 – Основні параметри сонячних панелей

| Модель сонячної панелі       | Qcells Q.Pro-G4 Poly | BenQ PM060M02, Mono |
|------------------------------|----------------------|---------------------|
| Номінальна потужність, Вт    | 265                  | 280                 |
| Максимальний струм А         | 8,62                 | 8,57                |
| Максимальна напруга,         | 30,75                | 32,7                |
| Струм короткого замикання, А | 9,23                 | 9,06                |
| Напруга холостого ходу,      | 38,01                | 38,9                |
| Максимальна ефективність, %  | 15,9                 | 17,4                |
| Діапазон температур, С       | -40 ~ +85            | -40 ~ +90           |

Оскільки сумарна потужність цієї фотовольтаїчної системи становить 39,78 кВт, до цієї системи підібрали два інверторні блоки SMA Sunny

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 25   |

Tripower 20000 TL-30 потужністю 20 кВт. Детальні характеристики інвертора наведено у таблиці 2.3 [20].

Таблиця 2.3 – Основні параметри інвертора SMA Sunny Tripower 20000 TL-30

| Параметр                                             | Значення    |
|------------------------------------------------------|-------------|
| Макс. потужність постійного струму,                  | 20440       |
| Макс. вхідна напруга,                                | 1000        |
| Діапазон вхідної напруги / номінальна напруга,Вт     | 320-800/600 |
| Мін. вхідна напруга,                                 | 150         |
| Максимальний вхідний постійний струм, А              | 33          |
| Кількість незалежних входів /проводів в одному вході | 2/А:3; В:3  |
| Вихідна змінна напруга,                              | 180-280     |
| Вихідний змінний струм, А                            | 29          |
| Частота мережі змінної напруги /діапазон частот, Гц  | 50/44-55    |
| Кількість вхідних фаз/фаз підключення                | 3/3         |

Зробимо розрахунок погодинного вироблення із сонячних панелей протягом усього року. Для цього скористаємося формулою:

$$E = P \cdot Ins \cdot N \cdot \eta,$$

$$\text{де } P = P_{ном} \cdot \left( 1 + \frac{t_p \cdot (T - 25)}{100} \right) - \text{потужність сонячної панелі протягом}$$

даного місяця, Вт;

де  $P_{ном}$  – номінальна потужність сонячної панелі, Вт,

$t_p$  – температурний коефіцієнт потужності (-0,04%/К для полікристалічних панелей та 0,42%/К для монокристалічних);

$T$  – середньомісячна температура, °С.

$Ins$  – місячна сонячна інсоляція, Вт/м<sup>2</sup> (дані беруться з інтернету для даної місцевості та кута нахилу сонячних панелей);

$N$  – кількість панелей (146),

$\eta$  – ККД інвертора, % (0,9).

Отримане в результаті розрахунків значення місячного виробітку поділяється нормальним розподілом за синусоїдальним законом, що на практиці близьке до істини. В результаті отримаємо теоретичні вихідні дані щодо виробітку електроенергії див. таблицю 2.4

Таблиця 2.4 – Вироблення електроенергії з 146 сонячних панелей, Вт\*год

| Год  | Січ.  | Лют.  | Бер    | Квіт.  | Трав.  | Черв   | Лип    | Сер.   | Вер    | Окт.  | Лист. | Груд  |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 1    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 2    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 3    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 4    | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 5    | 0     | 0     | 0      | 0      | 716    | 631    | 736    | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 6    | 0     | 0     | 0      | 922    | 2769   | 2446   | 2844   | 771    | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 7    | 0     | 0     | 0      | 3528   | 5881   | 5228   | 6040   | 2965   | 1055   | 0     | 0     | 0     |
| 8    | 0     | 0     | 1416   | 7367   | 9631   | 8641   | 9892   | 6249   | 3978   | 1086  | 0     | 0     |
| 9    | 1143  | 1529  | 5284   | 11776  | 13513  | 12272  | 13879  | 10122  | 8099   | 3998  | 1200  | 949   |
| 10   | 4037  | 5531  | 10569  | 15993  | 17004  | 15684  | 17464  | 13996  | 12475  | 7812  | 4237  | 3352  |
| 11   | 7328  | 10479 | 15853  | 19288  | 19631  | 18466  | 20162  | 17280  | 16102  | 11318 | 7691  | 6084  |
| 12   | 9475  | 14481 | 19721  | 21091  | 21039  | 20282  | 21609  | 19474  | 18150  | 13401 | 9946  | 7867  |
| 13   | 9475  | 16010 | 21137  | 21091  | 21039  | 20912  | 21609  | 20245  | 18150  | 13401 | 9946  | 7867  |
| 14   | 7328  | 14481 | 19721  | 19288  | 19631  | 20282  | 20162  | 19474  | 16102  | 11318 | 7691  | 6084  |
| 15   | 4037  | 10479 | 15853  | 15993  | 17004  | 18466  | 17464  | 17280  | 12475  | 7812  | 4237  | 3352  |
| 16   | 1143  | 5531  | 10569  | 11776  | 13513  | 15684  | 13879  | 13996  | 8099   | 3998  | 1200  | 949   |
| 17   | 0     | 1529  | 5284   | 7367   | 9631   | 12272  | 9892   | 10122  | 3978   | 1086  | 0     | 0     |
| 18   | 0     | 0     | 1416   | 3528   | 5881   | 8641   | 6040   | 6249   | 1055   | 0     | 0     | 0     |
| 19   | 0     | 0     | 0      | 922    | 2769   | 5228   | 2844   | 2965   | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 20   | 0     | 0     | 0      | 0      | 716    | 2446   | 736    | 771    | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 21   | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 631    | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 22   | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 23   | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     |
| Сума | 43966 | 80050 | 126823 | 159930 | 180368 | 188212 | 185252 | 161959 | 119718 | 75230 | 46148 | 36504 |

Аналізуючи дані таблиці 2 і таблиці 5 видно, що побудова повністю автономної системи електропостачання неможлива, оскільки вироблення електроенергії сонячними панелями в осінні та зимові місяці недостатньо для покриття енергоспоживання об'єкта, у зв'язку з цим структурну схему електропостачання об'єкта слід включити зовнішню мережу.

Для системи на сонячних батареях, як було зазначено в п.1.3, був підібраний накопичувач електроенергії на LiFePO<sub>4</sub> акумуляторах. З наявної множини готових технічних рішень накопичувачів на LiFePO<sub>4</sub> акумуляторах підберемо накопичувач Tesvolt Li 60, основні параметри якого наведені в таблиці 2.5 [21].

Таблиця 2.5 – Основні параметри накопичувача електроенергії Tesvolt Li 60

| Параметр                                   | Значення |         |
|--------------------------------------------|----------|---------|
| Кількість енергії, кВт·год                 | 60       |         |
| Макс. енергія заряду пост.струму, кВт      | 18       |         |
| Макс. енергія розряду пер.струму, кВт      | 36       |         |
| Глибина розряду, %                         | 70%      | 90%     |
| Використовувана ємність, кВт·год           | 42       | 54      |
| Кількість циклів                           | 8000     | 5000    |
| Час заряду при ном. потужності, год        | 2,4      | 3,1     |
| Час розряду за ном. потужності, год        | 2,4      | 3,1     |
| Саморозряд, %/місяць                       | <3%      |         |
| Макс. ефективність, %                      | 90       |         |
| Електрична ємність, А·год                  | 1200     |         |
| Макс. струм заряду/розряду протягом 3 с, А | 375/800  |         |
| Номінальна постійна напруга, В             | 51,2     |         |
| Система                                    | 1-фазна  | 3-фазна |

## 2.2 Розрахунок параметрів необхідної електроенергії для зарядки акумуляторних батарей та живлення навантаження

Щоб переконатися в придатності даного накопичувача, розрахуємо реальну кількість електроенергії, що віддається накопичувачем при розрядці, і кількість електроенергії, необхідна для заряду накопичувача. Для розрахунку врахуємо такі фактори виражені такими коефіцієнтами:

$P=60000$  кВт·год – максимальна кількість електроенергії, що запасється в накопичувачі;

$\alpha=0,7$  – глибина розряду LiFePO<sub>4</sub> акумулятора;

$P_{\text{пров}} = 0,95$  (5%) - втрати електроенергії у проводах;

$\eta=0,9$  – ККД інвертора.

Розрахуємо кількість електроенергії необхідну на заряд накопичувача з урахуванням втрат:

$$E_{\text{зар}} = \frac{P}{P_{\text{пров}} \cdot \eta} = \frac{60000 \text{ Вт} \cdot \text{год}}{0,95 \cdot 0,9} = 66481 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Розрахуємо реальну кількість електроенергії, що віддається накопичувачем при розряді з урахуванням втрат і глибини розряду:

$$E_{\text{разр}} = P \cdot P_{\text{пров}} \cdot \alpha = 60000 \text{ Вт} \cdot \text{год} \cdot 0,95 \cdot 0,7 = 37905 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Як видно з розрахунків при зарядці накопичувача електроенергії втрачається приблизно 6,5 кВт електроенергії, а реальна кількість електроенергії, яку накопичувач енергії Tesvolt Li 60 здатний видати в мережу за даних умов експлуатації становить 37,9 кВт·год, що є достатнім для використання даного накопичувача в системі електропостачання.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 29   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

Для цього накопичувача електроенергії згідно з рекомендаціями п.1.4 підібрали інвертори SMA Sunny Island 8.0H потужністю 6 кВт, з'єднані мультикластерною системою. Детальні характеристики інвертора SMA Sunny Island 8.0H наведено у таблиці 2.6 [22].

Таблиця 2.6 – Основні параметри інвертора SMA Sunny Island 8.0H

| Параметр                                                             | Значення            |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Напруга мережі / Напруга мережі перемінного струму, В                | 230 / 202 ... 253   |
| Частота / діапазон частот (настроюється), Гц                         | 50 / 45 ... 65      |
| Потужність перетворення, Вт                                          | 6000                |
| Сила струму/максимальний струм (пік), А                              | 26/120              |
| Вхідна змінна напруга/діапазон вхідної напруги,                      | 230/172,5 ... 264,5 |
| Вхідна частота / допустимий діапазон частот, Гц                      | 50 / 40 ... 70      |
| Максимальний вхідний змінний струм, А                                | 50                  |
| Вхідна постійна напруга/діапазон вхідної напруги,                    | 48 / 41 ... 63      |
| Максимальний струм із акумуляторів, А                                | 110                 |
| Струм при розрядженні/зарядженні акумуляторів, А                     | 90 / 103            |
| Максимальна ефективність, %                                          | 95                  |
| 3-х фазні системи / паралельне з'єднання / мультикластерне з'єднання | є / є / є           |
| Мультикластерне з'єднання                                            | є                   |

### 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

#### 3.1 Загальна структура автоматичної системи контролю батарей на основі мікросхема балансування комірок LTC 3300-1

Як було зазначено в п.1.4 система контролю акумуляторних батарей є платою, на якій розташовуються мікросхеми моніторингу, мікросхем балансування, зарядного пристрою акумуляторних комірок, а також зовнішні елементи об'язки.

Як мікросхеми балансування будемо використовувати мікросхему LTC 3300-1, а як мікросхеми моніторингу використовуватимемо мікросхеми LTC 6804-1.

Надалі докладно розглянемо структурні елементи, а також принцип роботи мікросхеми балансування LTC3300-1 як основної ланки всієї принципової схеми системи контролю акумуляторної батареї. Мікросхема моніторингу LTC6803-1 лише доповнює функції мікросхеми балансування та виконує допоміжні функції моніторингу батареї [23].

Мікросхема балансування комірок LTC3300-1 є ключовим компонентом системи контролю батареї високої продуктивності для послідовно з'єднаних літій-ферофосфатних акумуляторів. Вона призначена для роботи в поєднанні з мікросхемою моніторингу, зарядним пристроєм, мікропроцесором або мікроконтролером (рисунок 3.1).

Функція балансування повинна ефективно передавати заряд в/з даного неврівноваженої комірки в стеку з/у великій групі сусідніх комірок (яка включає в себе дану індивідуальну комірку) для того, щоб привести напругу цієї комірки або її ємність у рівновагу з сусідніми комірками.

В ідеальному випадку, заряд завжди буде передаватися безпосередньо від/до всього стека, але це непрактично через напругу, коли кількість комірок

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 31   |

в загальному стеку є велика. LTC3300-1 призначена для взаємодії з групою до 6 комірок в лінійці, тому щоб збалансувати стек з N комірок потрібно  $N / 6$  LTC3300-1 мікросхем, округляється до більшого цілого числа, без обмеження кількості N комірок. що може бути. Також до окремої мікросхеми LTC3300-1 можливе підключення у стеку менше ніж 6 комірок.

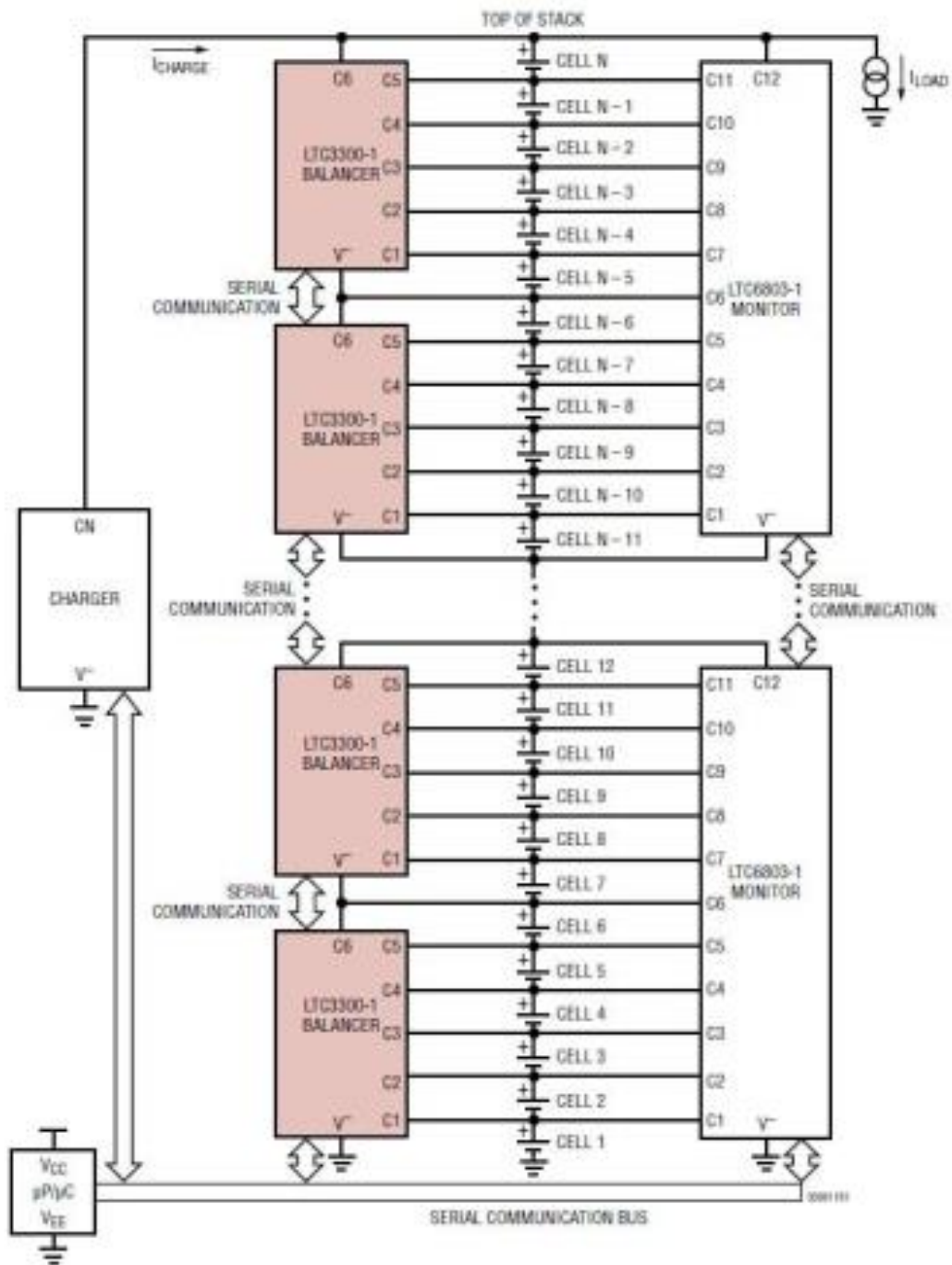


Рисунок 3.1 – Структурна схема СКБ

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |

ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ

Арк.

32



Оскільки функція балансування тягне за собою перемикання великих міліамперних струмів між комітками, точність напруги моніторингу в СКБ краще відстежується окремою мікросхемою моніторингу, наприклад як LTC6803-1 або іншою з цього ж сімейства мікросхем. LTC6803-1 забезпечує високу точність контролю комірок в лінійці до 12. Загальна напруга, яка контролюється мікросхемою LTC3300-1, є недостатнім показником, оскільки не контролює діапазон перевищення або зниження напруги окремих комірок, що балансується, і не виявити зміни щільності електроліту в комітці, яка є причиною безпечного відключення комітки, у цьому випадку використовується мікросхема моніторингу.

У процесі приведення комірок у стан рівноваги, загальний стек трохи розряджається. Компонент зарядного пристрою забезпечує засіб прямої зарядки всього стека від альтернативного джерела живлення.

Останній компонент у СКБ є мікропроцесор / мікроконтролер, який взаємодіє безпосередньо з мікросхемою балансування, моніторингу, та зарядним пристроєм для отримання напруги, струму, та інформації про температуру, щоб реалізувати алгоритм балансування комірок.

Немає єдиного алгоритму балансування оптимального всім випадків. Наприклад, під час чистої зарядки загального стека, можливо, необхідно розрядити найвищу напругу комітку в першу чергу, щоб уникнути досягнення межі заряду на будь-якому комітку до того, як весь стек повністю заряджений. Аналогічним чином, під час прямої розрядки загального стека, можливо, необхідно заряджати найнижчі напруги комірок в першу чергу та застерігати їх від досягнення критично низького рівня. Мікросхема LTC3300-1 не реалізує алгоритму балансування стека. Натомість, щоб його забезпечити максимальну гнучкість системи в цілому, не нав'язуючи жодних обмежень, алгоритм реалізований у вигляді всіх окремих балансувальних комірок, які можуть працювати одночасно та двоспрямовано.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 33   |

### 3.1.1 Зовнішній вигляд LTC 3300-1 та призначення виводів

Мікросхема балансування LTC 3300-1 (див. рисунок 3.2) має 48 виводів і може виконуватися у двох виконаннях QFN (Quad Flat Package) (пластиковому корпусі з чотиристороннім розташуванням виводів) та LQFP (Low profile Quad Flat Package) (низькопрофільному корпусі з чотирипрофільним корпусом).

G6S, G5S, G4S, G3S, G2S, G1S (виводи 1, 3, 5, 7, 9, 11): G1S-G6S є вентильними виходи драйверів для управління зовнішніми N-МОП транзисторами, з'єднаними послідовно з вторинними обмотками трансформаторів. батареї від 1 до 6. Мінімальна кількість деталей балансування використовує один трансформатор (CTRL = VREG), G2S через G6S немає з'єднань.

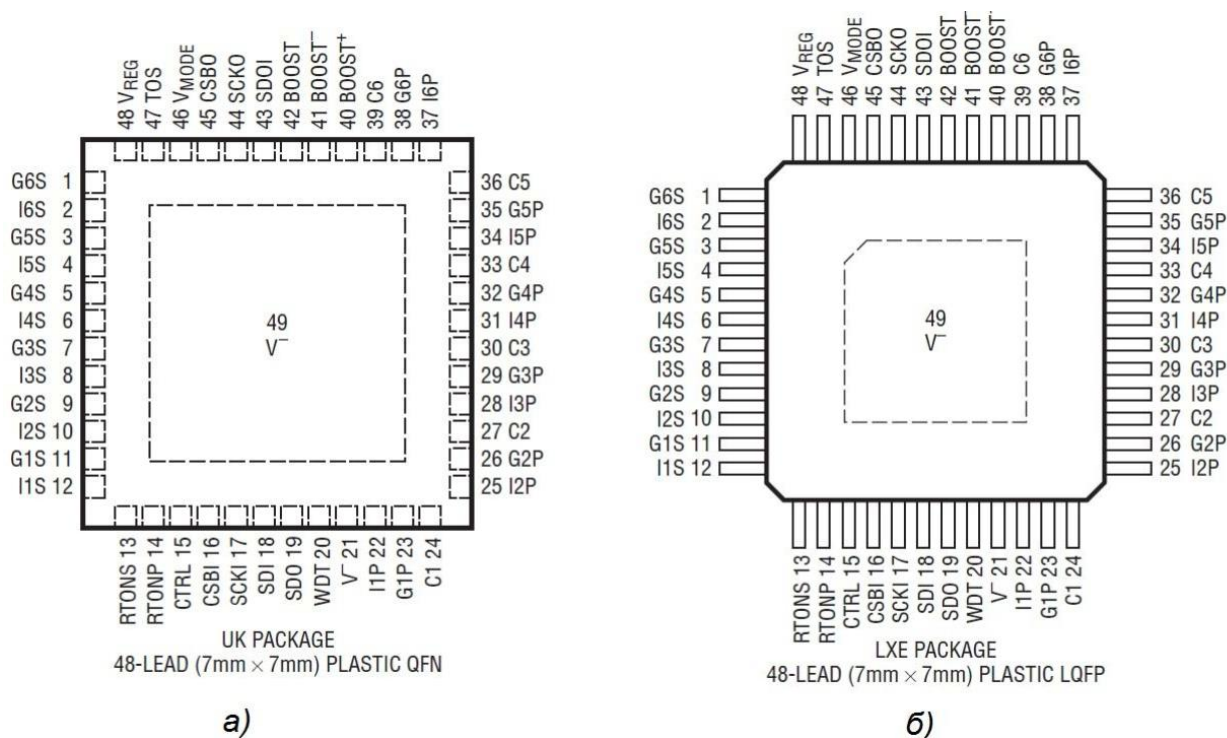


Рисунок 3.2 – Мікросхема LTC 3300-1 (вид зверху):

а) – у корпусі QFN; б) – у корпусі LQFN

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКИТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 34   |

I6S, I5S, I4S, I3S, I2S, I1S (виводи 2, 4, 6, 8, 10, 12): I1S- I6S є входами датчика струму, їх призначення – вимірювання вторинного струму обмоток трансформаторів, чий первинні обмотки з'єднані паралельно з акумуляторними комірками з 1 по 6. Для отримання мінімальної кількості деталей балансування, що використовують один трансформатор (CTRL = VREG), I2S через I6S повинні бути приєднані до V-

RTONS (вивід 13): Resistor Max Ton Secondary (резистор, що встановлює максимальний час включеного стану ключа вторинної обмотки).

Цей вивід RTONS є системою стеження і підключається до 1.2 В. Резистор підключається до V- і програмує максимальний час включення всіх зовнішніх N-МОП транзисторів, з'єднаних послідовно з вторинними обмотками. Це захищає від струму короткого замикання резистор у будь-якій вторинній обмотці. Щоб використовувати цю функцію, необхідно підключити RTONS до VREG, тим самим вторинна обмотка захищена від перенапруг, а також скоригована за значенням RTONS резистора.

RTONP (вивід 14): Resistor Max Ton Primary (резистор, що встановлює максимальний час включеного стану ключа первинної обмотки). Резистор підключається до V- і програмує максимальний час включення всіх зовнішніх N-МОП транзисторів, з'єднаних послідовно з вторинними обмотками. Це захищає від струму короткого замикання резистор в будь-якій первинній обмотці. Щоб використовувати цю функцію, необхідно підключити RTONS до VREG.

CTRL: (вивід 15): Control Input (управління введенням). Вивід CTRL конфігурує LTC3300-1 для мінімальної кількості з'єднань з використанням одного трансформатора, якщо CTRL підключений до VREG або багатообмоткового трансформатора, якщо CTRL підключений до V-.

CSBI (вивід 16): Chip Select (Active Low) Input (вибір чіпа з низьким активним рівнем). CSBI – це контактний інтерфейс з повним розмахом

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКИТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 35   |

вихідного логічного рівня, якщо VMODE підключено до VREG. CSBI має привести в дію CSBO вихід іншого LTC3300-1, якщо VMODE підключений до V-.

SKCI (вивід 17): Serial Clock Input (послідовний тактовий вхід). Це SKCI контактний інтерфейс з повним розмахом вихідного логічного рівня, якщо VMODE підключено до VREG. SKCI повинен привести в дію SCKO вивід інший LTC3300-1, якщо VMODE підключений до V-.

CSDI (вивід 18): Serial Data Input (вхід послідовної передачі даних). При записі даних LTC3300-1, інтерфейсний вихід SDI підключається до входу логічного елемента, якщо VMODE підключений до VREG або повинен керуватися SDOI виводом іншої LTC3300-1 якщо VMODE підключений до V-.

CSDO (вивід 19): Serial Data Output (вихід послідовної передачі даних). При читанні даних з LTC3300-1, SDO вивід є N-MOP транзистором з відкритим виходом стоку, якщо VMODE підключений до VREG. SDO вивід не використовується, якщо VMODE підключений до V-.

WDT (вивід 20): Watchdog Timer Output (Active High) (сторожовий таймер коли не виконуються команди балансування, вивід WDT має високий опір (внутрішньо під'єднаний до  $\sim 5.6$  В), якщо зовнішній навантажувальний резистор присутній. У той час як йде балансування (або при невдалих спробах через напругу / температуру / несправність) і при нормальній роботі WDT вивід зміщений прецизійним джерелом струму скоригованим RTONS резистором. Коли рівень WDT високий, усі балансири вимкнені. Функція сторожового таймера може бути вимкнена шляхом підключення WDT до V-. Функція захисту вторинної обмотки від перенапруг може бути реалізована за допомогою цього виду.

V- (вивід 21): підключається V- до найбільш негативного потенціалу у ряді комірок.

I1P, I2P, I3P, I4P, I5P, I6P (контакти 22, 25, 28, 31, 34, 37): I1P-I6P є

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 36   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

входами датчика струму для вимірювання струмів у первинних обмотках трансформаторів, з'єднаних паралельно з комітками батареї.

G1P, G2P, G3P, G4P, G5P, G6P (виводи 23, 26, 29, 32, 35, 38): G1P -G6P є вентиляними виходами драйверів для керування зовнішніми N-МОП (метал окис напівпровідник) транзисторами, з'єднаними з первинними обмотками трансформаторів, з'єднаних паралельно з комітками батареї від 1 до 6.

C1, C2, C3, C4, C5, C6 (виводи 24, 27, 30, 33, 36, 39): C1-C6 приєднуються до позитивних затискачів комірок батареї від 1 до 6. Негативну клему комірок батареї підключається до виводу V.

BOOST + (вивід 40): підключається до анода зовнішнього навісного конденсатора, використовується для створення достатнього імпульсу на драйвер затвора необхідного для вирівнювання верхньої комірки батареї в даному суб-стеку. Діод Шоттки для BOOST+ також потрібний.

BOOST- (вивід 41): підключається до катода зовнішнього навісного конденсатора, використовується для створення достатнього імпульсу на драйвер затвора необхідного для вирівнювання верхньої ячейки батареї в даному суб-стеку

BOOST (вивід 42): підключає BOOST до VREG для того, щоб форсувати затвор, що необхідно для балансування верхньої комірки в заданому сабстеку. Якщо вивід BOOST+ підключений до наступної комірки вгорі в стеку (тобто C1 наступної LTC3300-1 у стеку), то BOOST повинен не бути підключений до V- і BOOST- які не пов'язані між собою. Цей вивід має бути підключений до будь-якого висновку VREG або V-.

SDIO (вивід 43): Serial Data Output/Input (виведення/введення послідовних даних). SDIO передає дані з однієї до наступної інтегральної схеми вище в послідовному ланцюжку, під час запису та читання.

SCKO (вивід 44): Serial Clock Output (послідовний тактовий вихід) є буферним і ще одним варіантом послідовний тактовий входу. Приводить у дію наступну інтегральну схему вище ланцюга.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 37   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

CSBO (вивід 45): Chip Select (Active Low) (вибір чіпа з низьким активним рівнем виходу) CSBO – буферизований варіант вибору мікросхеми введення, CSBI. CSBO приводить у дію наступну інтегральну схему вище в ланцюжку.

VMODE (вивід 46): Voltage Mode Input (режим напруги вхідного сигналу). Коли VMODE підключений щоб VREG і виводи CSBI, SCKI, SDI та SDO були налаштовані як входи та виходи напруги. Це означає, що ці контакти приймають VREG-згаданий повний розмах напруги логічних рівнів. VMODE підключається до VREG нижнього пристрою LTC3300-1 у послідовному ланцюзі. Коли VMODE підключений до V-, CSBI, SCKI і SDI виводи налаштовані як поточні входи і виходи, і SDO не використовується. Підключення VMODE до V-, коли LTC3300-1 підключається до іншої LTC3300-1 нижче в послідовному ланцюзі, цей вивід повинен бути прив'язаний до будь-якого виводу VREG або V-.

TOS (вивід 47): Top of Stack Input (верхня частина входу стека). Підключається TOS до VREG, коли LTC3300-1 є головним пристроєм у послідовному ланцюзі. TOS підключається до V-, коли LTC3300-1 є головним пристроєм загального ланцюга. Коли TOS підключений до VREG, то LTC3300-1 ігнорує вхід SDOI. Коли TOS підключений до V-, LTC3300-1 дані очікують передачі з виводу SDOI. Цей вивід має бути підключений до будь-якого VREG або V-.

VREG (Pin 48): Voltage Regulator (виведення лінійного регулятора напруги). Цей 48 вивід повинен бути зашунтований з 1 мкФ або більшим конденсатором до V-. Вивід VREG здатний передавати до 40 мА для внутрішніх та зовнішніх навантажень.

V- (незахищений контактний майданчик, вивід 49): незахищений контактний майданчик повинен бути підключений до безперервної (земля) площини та зміщена V- на другий шар друкованої плати за допомогою декількох контактних отворів безпосередньо під LTC3300-1.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 38   |

### 3.1.2 Особливості мікросхеми LTC3300-1

Мікросхема LTC3300-1 здатна працювати при максимальній напрузі 40 В між висновками BOOST + та V-. При розведенні друкованої плати слід бути обережними для підтримки фізичного поділу трас з різними потенціалами. Цоколювання мікросхеми LTC3300-1 допомагає вирішити цю проблему. При роботі мікросхеми не спостерігається напруги більше ніж 8.4 між будь-якими двома сусідніми висновками, за винятком двох випадків (між висновками VMODE і CSBO, BOOST і SDO1 / BOOST-). У цих випадках один із виводів (VMODE або BOOST) структурно пов'язаний з висновком V- або VREG і немає необхідності проводити траси далеко від мікросхеми LTC3300-1.

Основа корпусу мікросхеми використовується для відділення найвищої напруги (наприклад, 25.2 В) від найнижчої напруги (0 В). Як приклад, на рисунку 3.3 показані рівні напруг постійного струму на кожному виведенні по відношенню до висновку V-, коли шість комірок напругою 4,2 під'єднані до мікросхеми LTC3300-1.

Під час розробки друкованої плати з мікросхемою LTC3300-1 слід звернути увагу на такі рекомендації:

1. Вивідк VREG не повинен бути підключатися на незахищений відкритий контактний майданчик і вивід V-, кожен з цих виходів має конденсатор 1 мкФ або більш потужний якомога ближче до мікросхеми LTC3300-1, наскільки це можливо.

2. Диференціальні коміркові входи (C6-C5, C5-C4, ..., C1 підключені до незахищеного контактного майданчика) повинен мати конденсатор з ємністю 1 мкФ або більше потужний конденсатор якомога ближче до мікросхеми LTC3300-1, наскільки це можливо. Цей конденсатор встановлюється в доповнення до об'ємної ємності, що є присутньою на етапі балансування.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 39   |

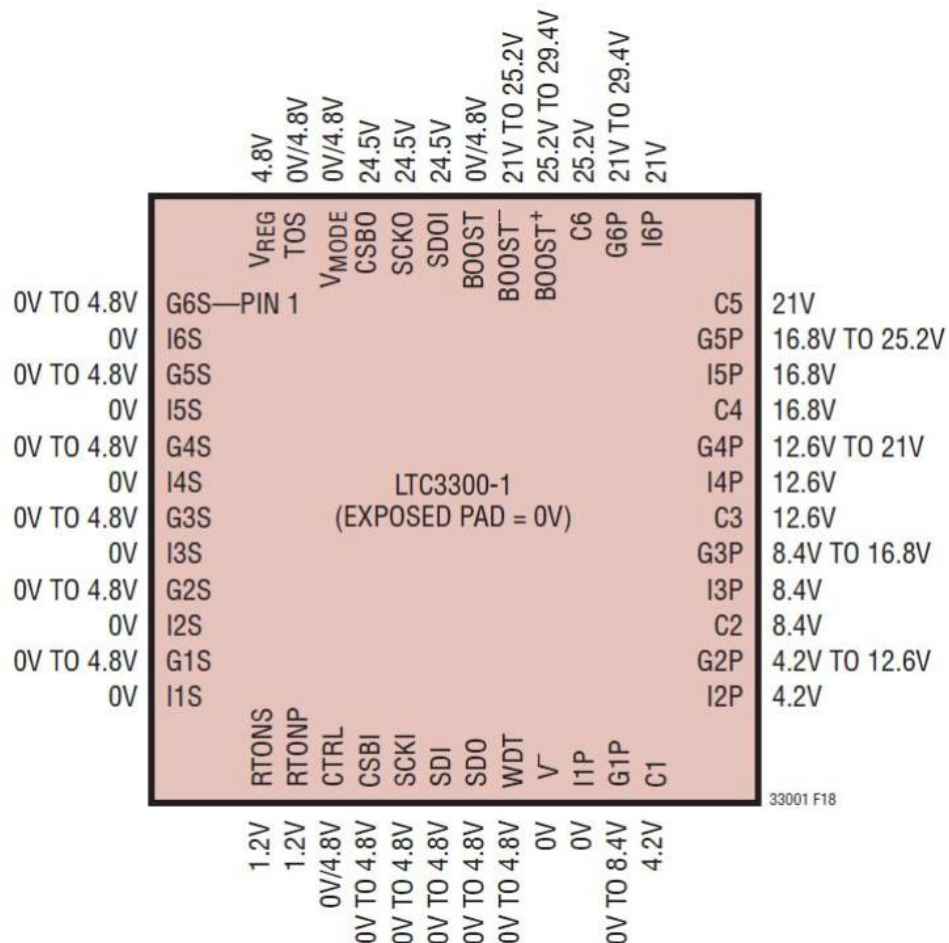


Рисунок 3.3 – Рівні напруги постійного струму на кожному виведенні мікросхеми LTC3300-1 (при підключенні шести комірок з напругою 4,2 В)

3. Вивід 21 (V-) – заземленням для датчиків струму, що підключаються до виводів I1S-I6S і I1P (сім резисторів). Вивід 21 – низький імпеданс, що відстежується на заземлюючій стороні цих резисторів, перед підключенням до контактної майданчика мікросхеми LTC3300-1.

4. Входи комірок C1-C5 з'єднані із заземленням і є заземленням для датчиків струму, підключених до виводів I2P-I6P (п'ять резисторів). Ці виходи повинні мати низький імпеданс, який відстежується на заземлюючій стороні цих резисторів.

5. Заземлююча сторона резисторів, що здійснюють перемикання стану, підключаються до виводів RTONS і RTONP, і повинна підключатися до



виводу 21 (V-) перед підключенням до контактної майданчика мікросхеми LTC3300-1.

6. Довжина трас від виходів драйвера затвора мікросхеми LTC3300-1 (виводи G1S-G6S і G1P-G6P) та виводів, що підключаються до датчиків струму (виводи I1S-I6S та I1P-I6P) повинна бути якомога коротшою.

7. Зовнішні компоненти генератора імпульсів на затвор транзисторів (діод Шоттки та конденсатор), якщо вони використовуються, повинні утворювати по можливості вузький контур поблизу мікросхеми LTC3300-1, виводу C6, BOOST + та BOOST-.

8. Для зовнішніх силових компонентів (трансформаторів, польових транзисторів і датчиків струму, конденсаторів) важливо утворити контур, що охоплює два контури ланцюгів комутації (первинної та вторинної обмотки трансформатора) який буде якомога вужчим.

### 3.2 Балансування заряду комірок акумуляторної батареї

Більшість мікросхем балансування використовуваних нині здійснюють однонаправлене балансування (тільки розряд комірок). Найпростіша з них працює на основі перемикачів резистора через комірку з найвищою напругою в лінійці (пасивне балансування). Заряд при такому балансуванні розсіюється як тепло в резистивному елементі. Цей механізм балансування може бути покращений за рахунок використання елементів накопичення енергії (індуктивності або ємності) для передачі заряду з комірки з найвищою напругою в лінійці на інші комірки в лінійці нижчим рівнем заряду (активне балансування). Цей механізм балансування комірок може бути дуже ефективним (з точки зору відновлення заряду) для випадку, коли тільки декілька комірок у загальній лінійці мають підвищену напругу, але буде дуже неефективним (забирати багато часу) для випадку, коли лише кілька комірок у загальній лінійці з пониженою напругою. Двонаправлений

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 41   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

метод балансування вирівнювання зарядки комірок, наприклад такий, який використовується в мікросхемі LTC3300-1, необхідний для досягнення мінімального часу балансування та максимального відновлення заряду всієї лінійки комірок акумуляторної батареї.

Синхронне зворотноходове балансування. Балансувальна архітектура, що реалізується на основі мікросхемі LTC3300-1, є двонаправленою синхронною зворотноходовою. Кожна LTC3300-1 містить шість незалежних синхронних контролерів зворотного ходу, які здатні здійснювати безпосередньо зарядку або розрядку окремої комірки. Балансування струму здійснюється зовнішні компоненти. Кожна мікросхема балансування працює незалежно від інших і надає ресурси для двонаправленої передачі заряду між окремими комірками та більшою групою сусідніх комірок (рисунок 3.4).

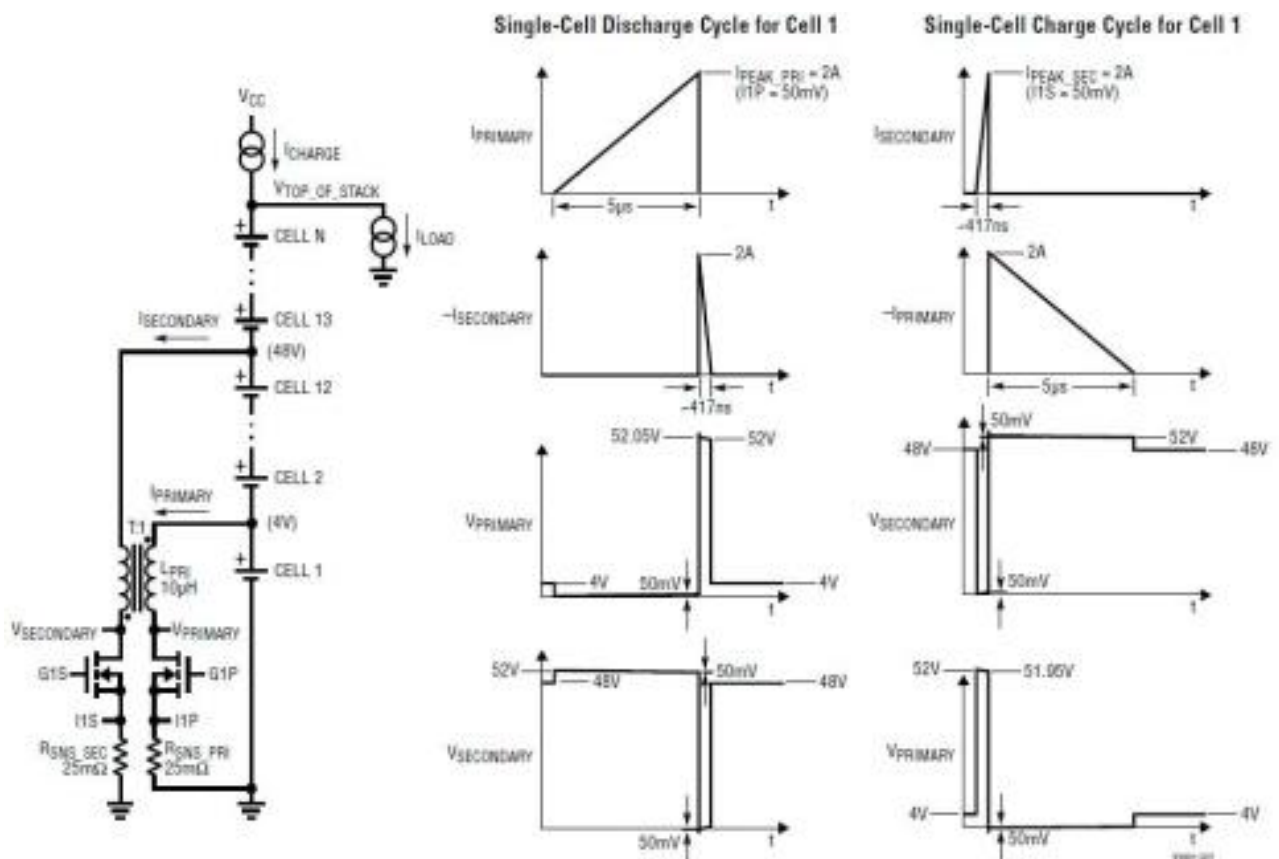


Рисунок 3.4 – Схема та діаграми синхронного зворотноходового балансування

Розрядка комірок (синхронна). При розрядці певної підключеної комірки, ключ первинної обмотки трансформатора включений протягом лінійної пилкоподібної зміни струму в первинній обмотці трансформатора до запрограмованої амплітуди струму ( $I_{PEAK\_PRI}$ ) на виводі InP. Потім ключ первинної обмотки трансформатора вимикається, і запасена в трансформатор енергія скидається у вторинну обмотку трансформатора, підключеного до даної комірки, викликаючи протікання струму у вторинній обмотці трансформатора. Синхронний ключ вторинної обмотки включається щоб мінімізувати втрати потужності під час передачі енергії за період до наступного спаду струму до нуля (що відслідковується на виході InS). Після того, як струм вторинної обмотки досягає нуля, ключ вторинної обмотки вимикається, а ключ первинної обмотки включається знову, тим самим повторюючи цикл. Таким чином, заряд переноситься з комірки, що розряджається, до всіх комірок, з'єднаних між верхньою і нижньою частиною вторинної обмотки, тим самим заряджаючи сусідні комірки. В прикладі на рисунку 2.4 вторинна обмотка підключена на дванадцять комірок, включаючи комірку, що розряджається.

Значення  $I_{PEAK\_PRI}$  програмується згідно з таким виразом:

$$I_{PEAK\_PRI} = \frac{50mB}{R_{SNS\_PRI}}$$

де  $I_{PEAK\_PRI}$  – амплітуда струму вторинної обмотки трансформатора;

$R_{SNS\_PRI}$  – значення опору датчика струму вторинної обмотки.

Струм розряду розрядного комірку (первинної обмотки трансформатора) та вторинної обмотки струм відновлення заряду визначається в першому порядку за такими рівняннями:

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 43   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

$$I_{DISCHARGE} = \frac{I_{PEAK\_PRI}}{2} \left( \frac{S}{S+T} \right),$$

$$I_{SECONDARY} = \frac{I_{PEAK\_PRI}}{2} \left( \frac{S}{S+T} \right) \cdot \eta_{DISCHARGE}.$$

де  $S$  – кількість комірок підключених до вторинної обмотки трансформатора;

1:  $T$  – коефіцієнт трансформації трансформатора;

$\eta_{DISCHARGE}$  - ефективність передачі заряду з розряджуваної комірки до лінійки комірок підключеної до вторинної обмотки трансформатора.

Коли заряджається певна комірка, ключ вторинної обмотки трансформатора підведено до комірки включений і струм протікає від комірок, підключених до вторинної обмотки трансформатора через трансформатор. Після того, як у вторинній обмотці досягається струм  $I_{PEAK\_PRI}$  (на вході  $InS$ ), ключ вторинної обмотки вимикається і потім струм тече в первинній обмотці, таким чином, здійснюється зарядка вибраної комірки з усієї лінійки комірок, підключених до вторинної обмотки. Синхронний ключ первинної обмотки увімкнено, щоб мінімізувати втрати потужності під час фази зарядки комірки. Після того, як струм первинної обмотки спадає до нуля, ключ первинної обмотки вимикається, а ключ у вторинній обмотці включається, таким чином, повторюючи цикл.

Значення  $I_{PEAK\_PRI}$  програмується згідно з нацтупним виразом:

$$I_{PEAK\_SEC} = \frac{50mB}{R_{SNS\_SEC}},$$

де  $I_{PEAK\_SEC}$  – амплітуда струму вторинної обмотки трансформатора;

$R_{SNS\_SEC}$  – значення опору датчика струму вторинної обмотки.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 44   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

Струм розряду комірки (первинної обмотки трансформатора) і вторинної обмотки струм відновлення заряду визначається в першому порядку за наступним рівнянням:

$$I_{CHARGE} = \frac{I_{PEAK\_SEC}}{2} \left( \frac{ST}{S+T} \right) \cdot \eta_{DISCHARGE},$$

$$I_{SECONDARY} = \frac{I_{PEAK\_SEC}}{2} \left( \frac{ST}{S+T} \right),$$

де  $S$  – кількість комірок підключених до вторинної обмотки трансформатора;

1:  $T$  – коефіцієнт трансформації трансформатора;

$I_{CHARGE}$  – ефективність передачі заряду з розряджуваної комірки до лінійки комірок підключеної до вторинної обмотки трансформатора.

Кожен заряд, що переноситься мікросхемою балансування «частота» залежить від кількох факторів, у тому числі  $I_{PEAK\_PRI}$ ,  $I_{PEAK\_SEC}$ , індуктивності обмоток трансформатора, коефіцієнта трансформації, напруги виводу та числа комірок підключених до вторинної обмотки трансформатора.

Частота перемикання, що спостерігається на виходах драйвера затвора транзистора при розряді та заряді знаходиться відповідно до рівнянь:

$$f_{DISCHARGE} = \frac{S}{S+T} \cdot \frac{V_{CELL}}{L_{PRI} \cdot I_{PEAK\_PRI}},$$

$$f_{CHARGE} = \frac{S}{S+T} \cdot \frac{V_{CELL}}{L_{PRI} \cdot I_{PEAK\_PRI} \cdot T}.$$

$I_{PEAK\_PRI}$  – напруга акумуляторної комірки

$L_{PRI}$  – індуктивність вторинної обмотки трансформатора.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 45   |

Повна схема балансування шести комірок мікросхемою LTC 3300-1 показано рисунку 3.5.

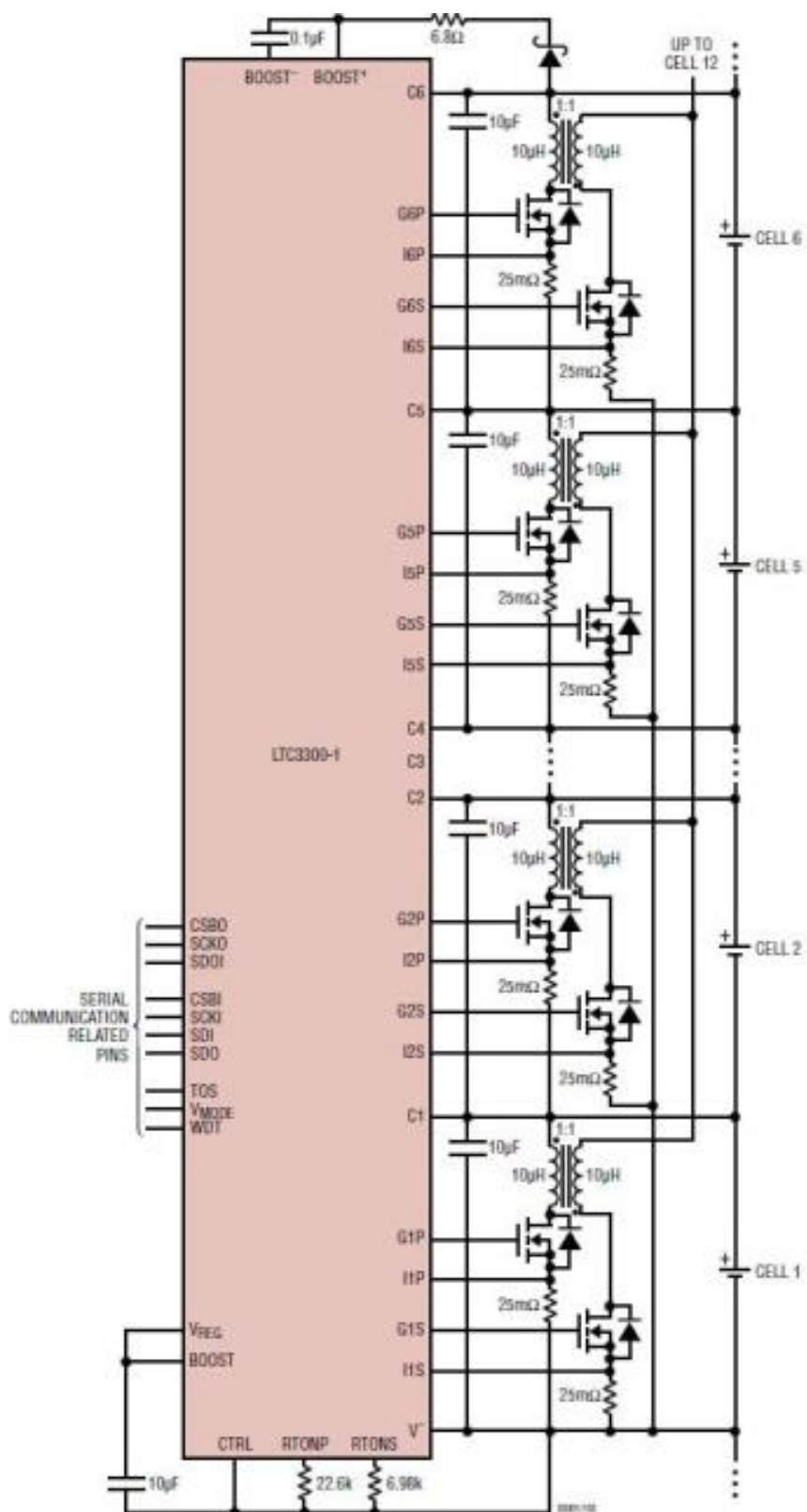


Рисунок 3.5 – Принципова схема балансування шести комірок батареї мікросхемою LTC-3300-1 з використанням кількох трансформаторів

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |

ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ

Арк.

46

Балансування послідовно з'єднаних комірок батареї, які містять більше дванадцяти послідовно з'єднаних елементів, вимагає перемежування вторинної обмотки трансформатора, з'єднання з метою підключення повної лінійки комірок балансування, обмежуючи при цьому напругу пробою польового транзистора. На рисунку 3.6 показана структурна схема типового перемежування з'єднання трансформаторів для багатокоміркової батареї, а на рисунку 3.7 схема підключення до мікросхеми LTC 3300-1 батареї, що складається з вісімнадцяти комірок.

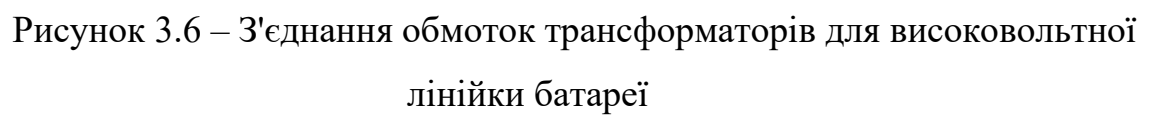
На рисунках 3.6 і 3.7 вторинна обмотка кожного трансформатора з'єднана з верхньою коміркою, яка на дванадцять позицій вище в лінійці, ніж нижня низьковольтна комірка в кожній шестикомірковій лінійці окремої мікросхеми LTC3300-1. Для найвищої мікросхеми балансування LTC3300-1 у всій батареї неможливо підключити вторинну сторону трансформатора через дванадцять комірок. Натомість вона підключена до вершини лінійки комірок, через кожні шість комірок. Чергування підключення дозволяє передавати заряд між шістьма комірками в лінійці однієї мікросхеми балансування вздовж всієї батареї.

### 3.3 Основні компоненти мікросхеми балансування комірок LTC-3300-1

Внутрішня структура мікросхеми балансування LTC-3300-1 наведено на рисунку 3.7.

Виводи захисту резисторів первинної обмотки трансформатора (Max On-Time Volt Sec Clamps). LTC3300-1 містить у своїй структурі програмований захист від замикань виводи RTONS і RTONP (рисунки 3.8), які обмежують час наростання струму або в первинних, або у вторинних обмотках трансформатора у разі короткого замикання вимірювального резистора (датчика струму).

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 47   |





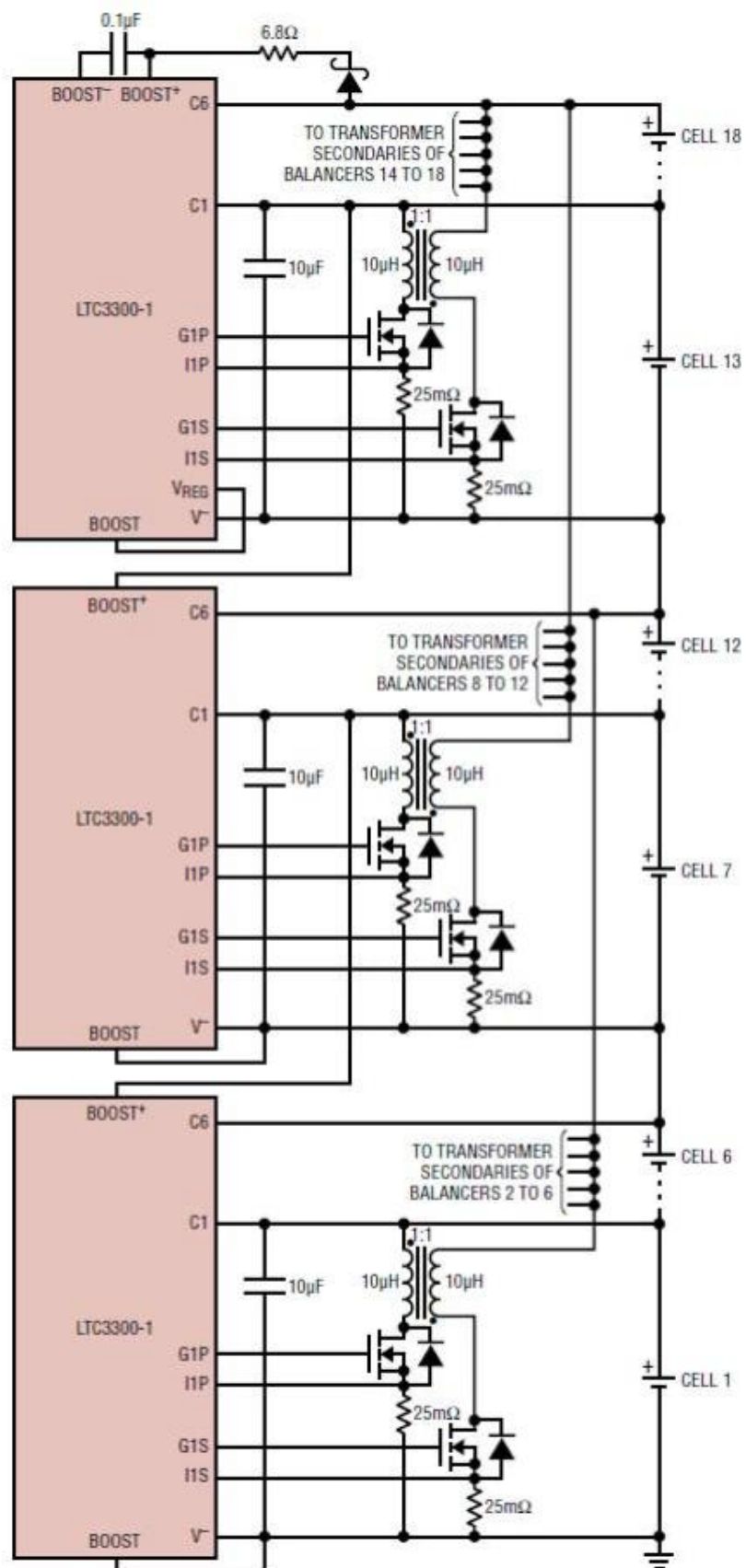


Рисунок 3.7 – Принципова схема балансування батареї із вісімнадцяти комірок

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |

ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ

Арк.

49

Максимальний час наростання струму короткого замикання для всіх з'єднаних первинних обмоток трансформаторів (при активній розрядці комірки) і для всіх з'єднаних вторинних обмоток (при активній зарядці комірки) індивідуально програмується шляхом підключення резисторів від виводів RTONP і виводу RTONS до виводу V-

$$t_{ON(MAX)PRIMARY} = 7.2 \mu\text{с} \frac{R_{TONP}}{20 \text{кОм}}$$

$$t_{ON(MAX)SECONDARY} = 1.2 \mu\text{с} \frac{R_{TONS}}{15 \text{кОм}}$$

де  $R_{TONP}$  – значення опору резистора, що підключається до первинної обмотки трансформатора;

де  $R_{TONS}$  - значення опору резистора, що підключається до вторинної обмотки трансформатора.

Всі виводи драйвера управління затворами вторинної обмотки трансформатора (виводи G1S-G6S) живляться від виходу VREG, встановлюються до рівня 4,8 при включенні і знижуються до рівня виходу V при вимкненні. Всі виводи драйвера первинної обмотки трансформатора (виводи G1P-G6P) живляться від відповідної напруги комірки, до якої вони підключені і загальною напругою всієї лінійки комірок. Кожна комірка мікросхеми балансування буде підключатися до драйвера, якщо її напруга більша за 2 В і напруга комірки наступної вищої комірки в лінійці також більше, ніж 2 В.

Наприклад вивід G6P драйвера затвора підключається до наступної вище комірки в лінійці (виведення C1 мікросхеми LTC3300-1), якщо вона присутня, і використовується тільки у випадку, якщо генератор імпульсів на затвор вимкнений (при підключенні виводу BOOST до виводу V-).

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 50   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

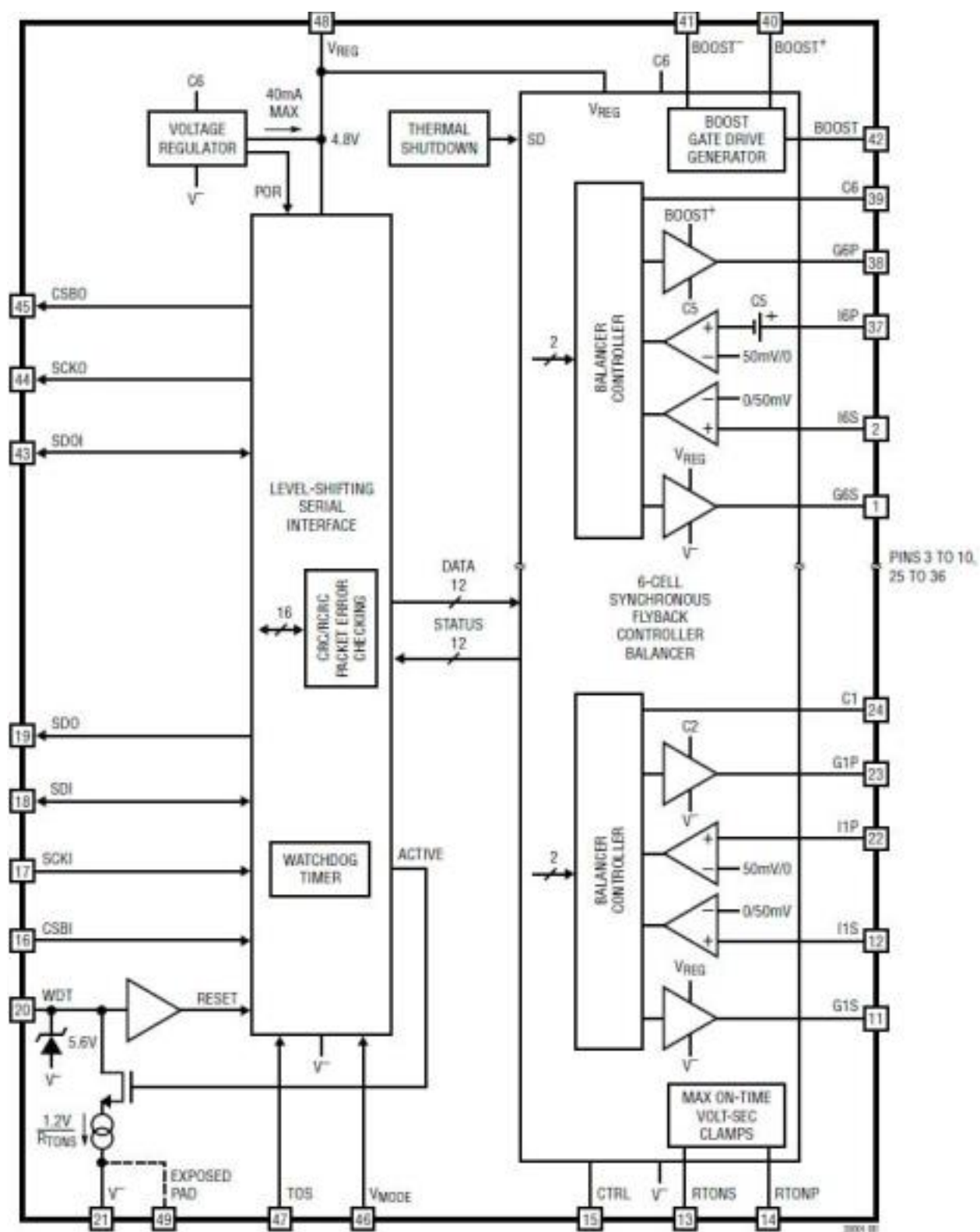


Рисунок 3.8 – Внутрішня структура мікросхеми балансування LTC-3300-1

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |

ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ

Арк.

51

Якщо генератор імпульсів на затвор увімкнений (шляхом підключення виводу BOOST до виводу VREG), тільки напруга виведення комірки підключеної до виводу С6 стежить за тим, щоб увімкнути балансування всієї лінійки комірок. Для самого верхнього виводу драйвера затвора мікросхеми LTC3300-1 генератор імпульсів на затвор повинен бути включений.

Генератор імпульсів на затвор вимагає підключення зовнішнього захисного діода від виводу С6 до виводу BOOST+ і зовнішнього конденсатора, що підключається від BOOST + до виводу BOOST -.

Компаратори драйвера затвора мають гістерезис постійного струму шириною 70 мВ. Для підвищення стійкості до перешкод, внутрішні входи відфільтровані фільтром нижніх частот і вихідні сигнали фільтруються таким чином, щоб відбувалося перемикаць, якщо стан внутрішнього компаратора є незмінним протягом 3-6 мкс (типове значення). Якщо керування затвором здійснюється з перебоями, що виявляється під час активного процесу балансування (наприклад, якщо лінійка комірок під великим навантаженням), ланцюг балансування (або і кілька ланцюгів), що збоять, вимкнеться. Команда балансування зберігається в пам'яті мікроконтролера, активне балансування відновиться, де воно було перервано, якщо драйвер затвора буде згодом відновлено. Це може статися, наприклад, при зарядці лінійки комірок.

В доповнення до достатньої кількості компараторів драйвера затвора потрібні додаткові компаратори, які відключають усі ланцюги балансування, якщо будь-яка з шести напруг окремих комірок більше, ніж 5 В. Ці компаратори мають гістерезис постійного струму шириною від 500 мВ. Для підвищення стійкості до перешкод, внутрішні входи відфільтровані фільтром нижніх частот і вихідні сигнали фільтруються таким чином, щоб відбувалося перемикання, якщо стан внутрішнього компаратора є незмінним протягом 3-6 мкс (типове значення). Якщо під час активного процесу балансування будь-яка напруга виводу наближається до перенапруги, всі ланки балансування,

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 52   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

що функціонують, відключаться. Команда балансування зберігається в пам'яті мікроконтролера, активне балансування відновиться, де вона була перервана, якщо напруга на комірці буде згодом знижена до допустимого діапазону. Ці компаратори будуть захищати мікросхему LTC3300-1, якщо підключення до батареї втрачається під час балансування і напруга комірки продовжує збільшуватися внаслідок цього балансування.

Лінійний стабілізатор напруги з живленням від виводу С6 створює рівень напруги 4.8 В на виводі VREG, який використовується для живлення відповідної внутрішньої схеми мікросхеми LTC3300-1 включаючи всі шість драйверів управління затворами вторинних обмоток трансформаторів. Вивід VREG також може бути використаний для живлення зовнішніх навантажень, за умови, що загальне навантаження постійного струму регулятора не перевищує 40 мА, при якій точка обмеження струму накладається на обмеження потужності, що розсіюється, на всьому чіпі. Внутрішня складова постійного струму навантаження переважає в середньому струмі драйверів управління затворами (виводи G1S-G6S), кожен з яких пропорційний  $C \cdot V \cdot F$ , де  $C$  – ємність затвора зовнішнього n-MOS транзистора,  $V = VREG = 4.8$  В, і  $F$  – частота на якій працює драйвер управління затвором. Виробники польових транзисторів зазвичай вказують значення  $C \cdot V$  як  $Q_g$  (заряд затвора), що вимірюється в кулонах при заданій напрузі виводу драйвера управління затвором. Частота  $F$  залежить від багатьох факторів, в першу чергу від напруги кожної окремої комірки, кількості комірок у лінійці, запрограмованого пікового струму балансування та індуктивностей первинної та вторинної обмотки трансформатора. В даному випадку струм навантаження виводу VREG, як очікується, буде нижчим одного міліампера на один вивідк драйвера. Для випадків, коли струми балансування дуже великі і використовуються зовнішні N-MOS (метал-окис-напівпровідник) транзистори з дуже великою ємністю затвора, вивід VREG можливо вимагатиме середній струм джерела живлення більше 40 мА. Ще одна

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 53   |

функція, яка коригує вивід VREG, це індикатор скидання при включенні живлення. При початковому увімкненні живлення і згодом, якщо напруга на виводі VREG падає нижче 4 В (наприклад через перевантаження), послідовний порт скидається в стан за промовчанням, відключаючи всі ланцюги балансування. Таким чином, ця особливість гарантує, що мінімальна напруга на затворах польових транзисторів вторинних обмоток не буде нижчою 4 В. Заряджаючи при початковому включенні живлення фільтруючих конденсаторів, ємністю 10 мкФ, регулювання виводу VREG досягається приблизно за 1 мс.

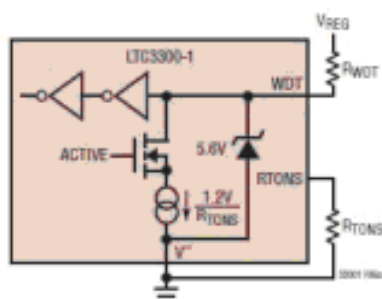
Мікросхема LTC3300-1 має схему захисту від перегріву, яка відключає всі активні ланцюги балансування, якщо температура внутрішньої структури кремнію підвищується приблизно до 155°C. Коли відбувається термічне відключення, всі зв'язки в ланцюзі балансування залишаються активним, а статус ланцюга комірки, що балансується (що містить інформацію про температуру) зчитується назад. Команда балансування, яка все ще виконується, зберігається в пам'яті. Ця функція має 10 °C гістерезис, так що коли досягається порогова температура, кола балансування відключається і коли температура спадає приблизно до 145 °C, активне балансування буде відновлено з команди, що виконувалась раніше.

Сторожовий таймер ланцюга (WDT Watchdog timer circuit). Схема сторожового таймера забезпечує засіб відключення всіх активних ланцюгів балансування у разі, якщо підключення до мікросхеми LTC3300-1 втрачається. Сторожовий таймер включається, коли починається команда балансування і скидається в нуль кожного разу, коли записується дійсний 8-бітний байт команди (див. робота послідовного порту). Чинний байт команди може бути виконаний, записаний або зчитаний (команда або інформація про стан). «Часткове» читання і запис вважаються дійсними, тобто, необхідно щоб тільки перші вісім бітів були записані і містили правильну адресу. На рисунку 3.9, при початковому включенні живлення, коли немає

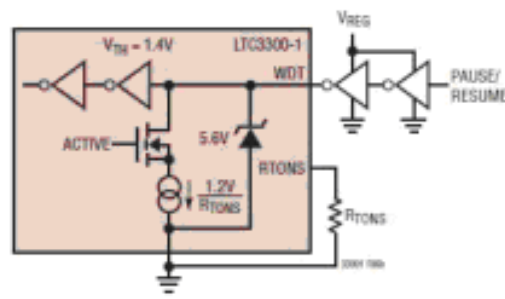
|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 54   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

балансування, вивідк WDT має високий опір і буде підключений (внутрішньо приєднаний до  $\sim 5.6$  В), якщо зовнішній резистор навантаження присутній.

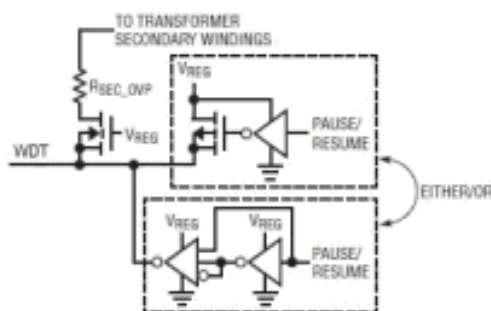
Коли йде процес балансування, вивід WDT підключається до джерела точного струму, що дорівнює  $1.2 \text{ В} / R_{\text{TONS}}$ . (Якщо затискач захисту резистора вторинної обмотки вимкнено, підключенням  $R_{\text{TONS}}$  до  $V_{\text{REG}}$ , функцію сторожового таймера також відключено). Якщо поточний байт команди не записується протягом 1.5 секунд (типове значення), на вивіді WDT буде високий рівень напруги. Коли рівень напруги на виводі WDT високий, всі ланцюги балансування будуть відключені, але команда балансування, що виконувалася раніше, буде залишається в пам'яті. З відключеного стану, наступний дійсний байт команди скине таймер, але ланцюги балансування будуть активовані тільки якщо буде записано команду виконання. Щоб відключити функцію сторожового таймера достатньо просто підключити вивід WDT до виводу V-.



а) Схема сторожового таймера



б) Схема паузи/відновлення процесу балансування



в) зовнішня схема захисту від перенапруги вторинної обмотки трансформатора

Рисунок 3.9 – Схема підключення виводів сторожового таймера Пауза/Відновлення балансування (через вивід WDT).

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |

Вивід WDT має дві різні функції, може використовуватися як логічний вхід (рівень транзисторно-транзисторної логіки (ТТЛ)), який може керуватися з допомогою зовнішнього логічного елемента, як показано на рисунку 3.9, б (без сторожового таймера), або за допомогою Р-МОП / трьома станами логіки затвору транзистора, як показано на рисунку 2.9, с (з сторожовим таймером) для паузи та продовження процесу балансування. Зовнішній резистор, що збільшує потенціал, повинен мати достатню здатність навантаження, здатну перекрити джерело струму на землю на виводі WDT ( $= 1.2 \text{ В} / R_{TONS}$ ). При умови, що внутрішній сторожовий таймер не має незалежно від зовнішньої епі перерва в роботі, зовні встановлюється високий потенціал на виводі WDT і в процесі балансування виникає пауза, процес балансування буде відновлений, коли на виводі WDT знову буде низький рівень напруги.

Захист від перенапруг вторинної обмотки трансформатора (через виведення WDT). Точне джерело струму низької напруги на виводі WDT під час балансування може бути використано для побудови точної схеми захисту перенапруг вторинної обмотки трансформатора, як показано на рисунку 2.9, с. Другий зовнішній резистор підбирається у відповідності до номіналу  $R_{TONS}$  і приєднується до вторинної обмотки трансформатора таі використовується для встановлення порогової напруги компаратора. Каскад N-МОП транзистора (з затвором, підключеним до виводу VREG) також необхідний для захисту виводу сторожового таймера від високої напруги. Порогові напруження вторинної обмотки задаються рівняннями:

$$V_{SEC|OVP(ннаростаюе)} = 1,4B + 1,2B \cdot \left( \frac{R_{SEC\_OVP}}{R_{TONS}} \right)$$

$$V_{SEC|OVP(ссадающее)} = 1,4B + 1,05B \cdot \left( \frac{R_{SEC\_OVP}}{R_{TONS}} \right)$$

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 56   |



$R_{SEC\_OVP}$  – значення опору захисного резистора підключеного до вторинної обмотки трансформатора;

$R_{TONS}$  – значення опору резистора, що підключається до вторинної обмотки трансформатора.

Цей компаратор захищає мікросхеми LTC3300-1, якщо з'єднання вторинної обмотки з лінійкою батареї під час балансування буде втрачено і напруга на вторинній обмотці трансформатора збільшується в результаті цього процесу. Команда балансування залишається в пам'яті, і активний процес балансування відновиться, де було перервано, якщо напруга лінійки батареї потім спаде до безпечнішого рівня.

Внутрішні захисні діоди. Кожен вивід мікросхеми LTC3300-1 має захисні діоди, призначені для захисту від пошкодження внутрішніх структур пристрою, спричинених перевищенням зовнішньої напруги на шині живлення (рисунку 3.10).

Показані на схемі рисунка 2.10 діоди є звичайними кремнієвими діодами з пороговою напругою 0.5 В. Стабілітрони мають зворотну гілку вольтамперної характеристики, яка спочатку зривається з напругою пробою 9, а потім стабілізується зі значенням напруги 7 В. Стабілітрони позначені як ZCLAMP є більш високовольтними зі зворотною напругою пробою 25 В та стабілізацією на рівні 22 В. Пряме падіння напруги на всіх стабілітронах також дорівнює 0.5 В.

Внутрішні захисні діоди, показані рисунку 3.10, є захисними компонентами внутрішньої структури мікросхеми LTC3300-1, які призначені для захисту від перенапруг в результаті перехідних процесів під час запуску мікросхеми. За умови, якщо ця напруга перевищує абсолютні максимальні допустимі значення напруги мікросхеми LTC3300-1, будь-яка тривала робота на таких напругах пошкодить мікросхему.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 57   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

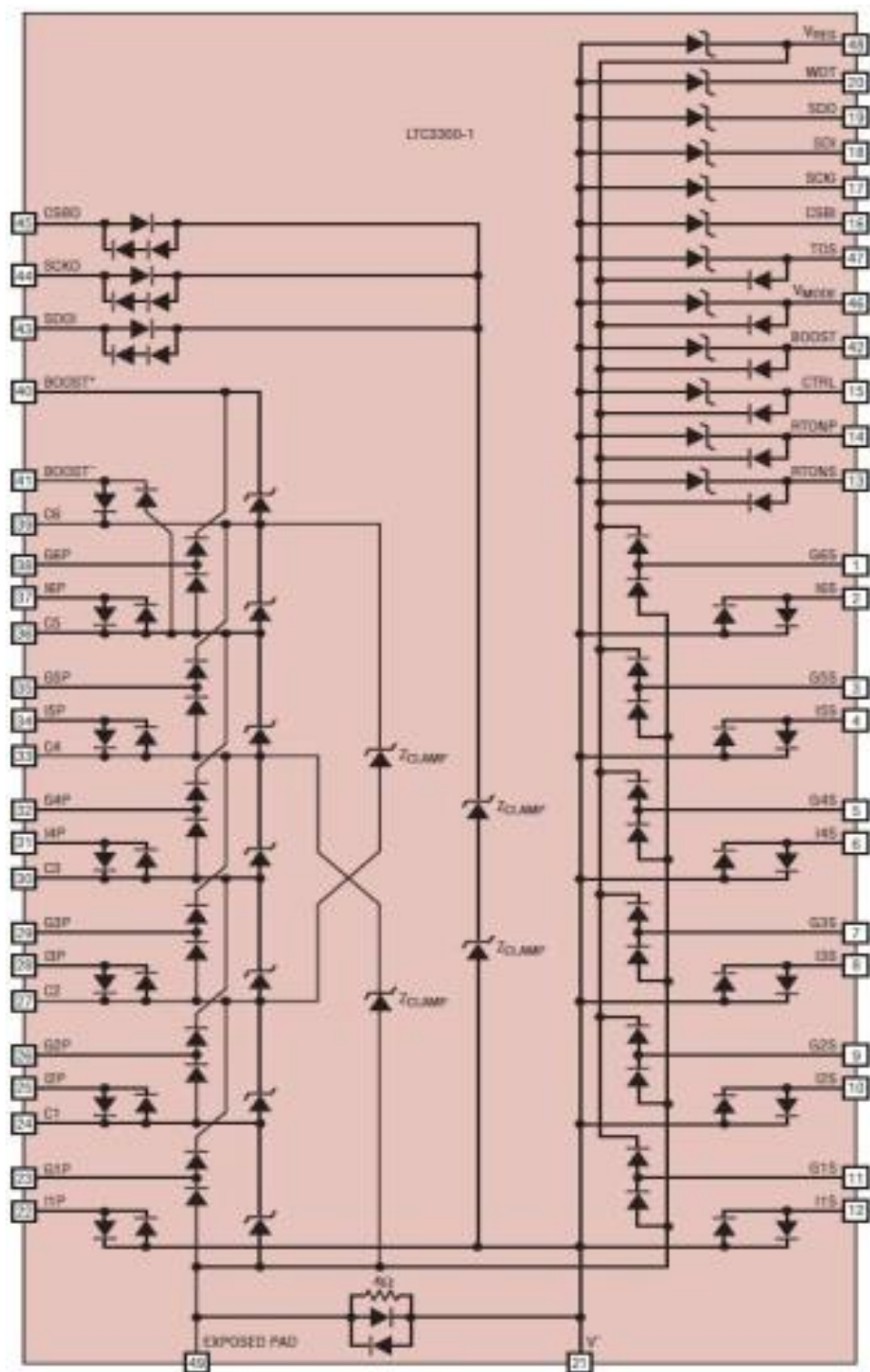


Рисунок 3.10 – Схема підключення внутрішніх захисних діодів у мікросхемі LTC3300-1

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |

ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ

Арк.

58

В доповнення до вищезгаданих внутрішніх діодів захисту, є додаткові більш низьковольтні діоди на кожному з шести виводів, що підключаються до комірок акумуляторної батареї (не показані на малюнку 2.10), які захищають мікросхему LTC3300-1 під час початкового встановлення напруги батареї в процесі експлуатації всієї системи контролю.

Ці діоди мають напругу пробоя 5.3 В і додатковий опір 20 кОм, і підтримують диференціальні напруги комірок нижче їх абсолютного максимального значення при початковій подачі живлення, коли струми навантаження рівні, вони змінюються від нуля до десятків мікроампер.

### 3.4 Робота послідовного порту мікросхема LTC3300-1

Мікросхема LTC3300-1 має SPI (Serial Peripheral Interface, SPI bus – послідовний периферійний інтерфейс, шина SPI) сумісний послідовний порт (рисунок 3.11) [24].

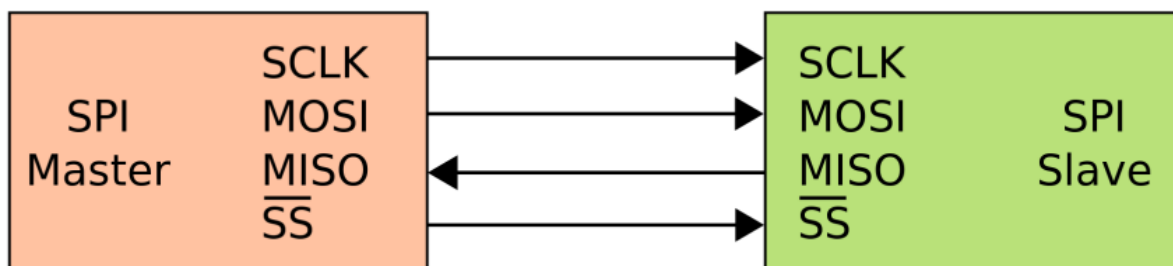


Рисунок 3.11 – SPI інтерфейс (Master – керуючий пристрій, Slave – керований пристрій)

У SPI інтерфейсі реалізуються чотири види цифрових сигналів:

MOSI - вихід керуючого, вхід керованого (Master Out Slave In). Служить передачі даних від керуючого пристрою керованому.

MISO – вхід керуючого, вихід керованого (Master In Slave Out). Служить передачі даних від керованого пристрою управляющому.

SCLK – послідовний тактовий сигнал (Serial Clock). Служить для передачі тактового сигналу для керуючих пристроїв.

CS або SS - вибір мікросхеми, вибір керуючого (Chip Select, Slave Select).

У SPI шині кілька пристроїв можуть бути з'єднані в ромашку і з'єднувати послідовно. У послідовного порту є два набори виводів, позначені як виводи низької та високої сторони. Виводи низької та високої сторони порту дозволяють з'єднувати пристрої в ромашку навіть тоді, коли вони працюють на різних потенціалах живлення. У типовій конфігурації плюс живлення до першого пристрою, нижній пристрій підключено до мінусу джерела живлення другого зверху пристрою. Коли пристрої підключені таким чином, вони утворюють ромашку шляхом підключення високого виводу порту нижнього пристрою до низького виводу порту вищого пристрою. При такому розташуванні провідний пристрій записує або зчитує дані з каскадом з'єднаних пристроїв (мікросхем), так як якби вони утворили один довгий регістр зсуву. Мікросхема LTC3300-1 переводить рівень напруги сигналів між виводами низької та високої сторони порту передачі даних вгору і вниз лінійкою батареї.

На мікросхемі LTC3300-1, сім виводів. Що відносяться до низької та високої сторони. Виводи низької сторони: CSBI, SCKI, SDI та SDO.

Виводи високої сторони CSBO, SCKO та SDOI. CSBI та SCKI завжди входи, керовані мастером або за допомогою наступного нижнього пристрою в лінійці. CSBO та SCKO завжди виходи, які можуть керувати наступним вищим пристроєм у лінійці. SDI є входом даних під час запису до лінійки пристроїв. Для пристроїв, що не знаходяться в нижній частині лінійки, SDI є виходом даних під час читання з лінійки. SDOI є виходом даних під час запису та введення даних під час читання лінійки пристроїв. SDO є виходом з відкритим стоком, який використовується тільки на нижньому пристрої лінійки, де він може бути пов'язаний з SDI, за бажанням, для формування

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКИТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 60   |

одного двоспрямованого порту. Виведення SDO контактне на нижньому пристрої лінійки вимагає наявності зовнішнього резистора. Для пристроїв зверху в лінійці, вивід SDO має бути з'єднаний з виводом V-. Для обміну даними між послідовно з'єднаними пристроями, виводи високої сторони порту нижнього пристрою (CSBO, SCKO та SDO<sub>I</sub>) повинні бути підключені через високовольтні діоди на відповідні виводи низької сторони порту наступного вищого пристрою (CSB<sub>I</sub>, SCK<sub>I</sub> та SD<sub>I</sub>). У цій конфігурації пристрої з'єднуються за струмом, а не напругою (рисунок 3.12), оскільки потенціали виводів CSBO, SCKO і SDO<sub>I</sub> близькі до потенціалу виведення V- високої сторони порту, потенціал виведення V- високої сторони порту повинен бути принаймні на 5В вище, ніж потенціал нижньої сторони порту, щоб гарантувати протікання струму в струмовому режиму інтерфейсу.

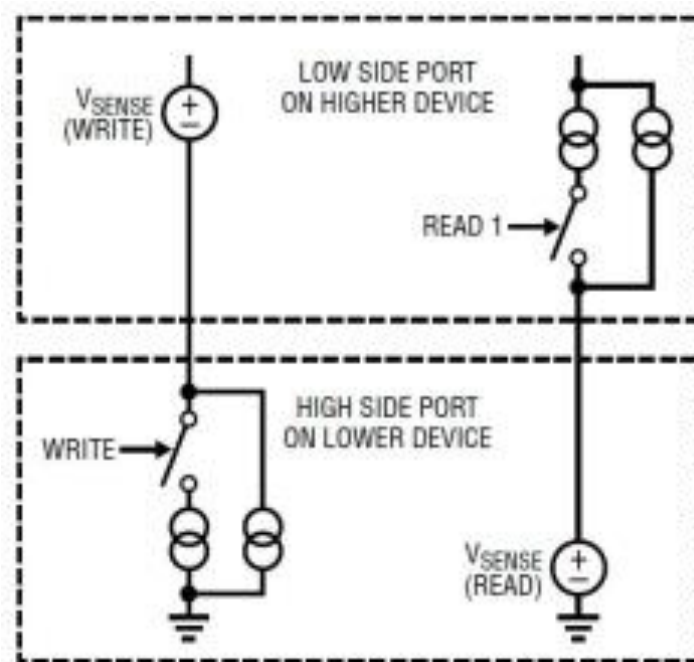


Рисунок 3.12 – Струмовий режим інтерфейсу

Для запобігання дії зворотної напруги на інтегральну схему до виводів SPI шини підключаються діоди високої напруги (рисунок 3.13).

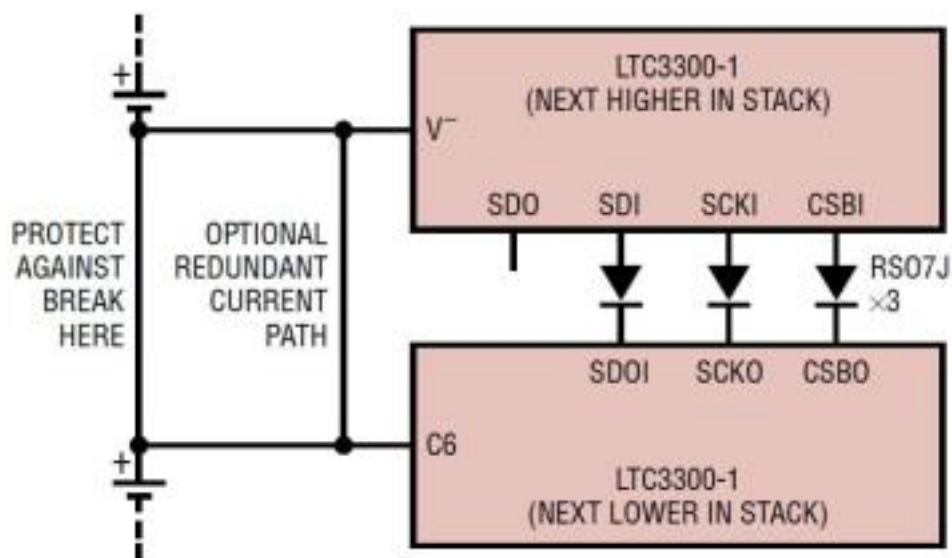


Рисунок 2.13 – Підключення захисних діодів до SPI-шини

Струм споживання в режимі очікування інтерфейсу в режимі струмового режиму, мінімальний, коли на виводі CSBI високий логічний рівень напруги. Вивід вибору режиму напруги входного сигналу (VMODE) визначає, чи послідовний порт налаштовано на стороні низької напруги в режим напруги чи струму. Для нижнього пристрою в послідовній лінійці цей вивід повинен мати потенціал виводу VREG. В інших пристроях у послідовній лінійці потенціал виводу VMODE повинен бути таким же, як на виводі V-. для позначення поточного режиму зв'язку. Для того, щоб позначити вершину лінійки пристроїв, вивід TOS на верхньому пристрої лінійки повинна мати високий потенціал. Інші пристрої у послідовній лінійці повинні мати низький рівень напруги на виводі TOS.

Всі комунікації до мікросхеми LTC3300-1 проходять через виводи CSBI з низьким логічним рівнем напруги. Перші вісім тактів у бітах даних після передачі сигналу зміною сигналу від високого рівня до низького представляють командний байт і знаходяться на одному рівні зі зсувом через всі мікросхеми LTC3300-1 в послідовній лінійці для того, щоб одночасно

зчитувати дані з усіх мікросхем LTC3300-1. Приклад командного байта 8-біт наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Структура командного байта

| Номер біта | 1<br>(MSB) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6<br>CMDA | 7<br>CMDDB | 8<br>(LSB) |
|------------|------------|---|---|---|---|-----------|------------|------------|
| Значення   | 1          | 0 | 1 | 0 | 1 | *         | *          | *          |

Перший біт (Most Significant bit MSB) старший значний біт, перші п'ять бітів відповідають внутрішнім фіксованим адресам наприклад [10101], який є загальним для всіх мікросхем LTC3300-1 в лінійці, всі наступні дані будуть ігноруватися до переходу виведення CSBI до високого рівня. Шостий і сьомий біт це програма однієї з чотирьох команд, як показано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Командні біти

| Біт  |       | Операція                                  |
|------|-------|-------------------------------------------|
| CMDA | CMDDB |                                           |
| 0    | 0     | Запис команди балансування (без запуску). |
| 0    | 1     | Зворотне зчитування команди балансування. |
| 1    | 0     | Зчитування статусу балансування.          |
| 1    | 1     | Запуск команди балансування.              |

Восьмий біт (Least Significant bit LSB) молодший біт байта команди має бути встановлений таким чином, щоб вся 8-бітна команди була парною. Якщо парність неправильна, поточна команда балансування виконується (від останнього раніше успішного запису) і припиняється негайно, все ж таки наступні дані (запис) ігнорується до переходу виводу CSBI до високого рівня, а потім знову до низького. Неправильне співвідношення парності допомагає

визначити, чи збігається адреса команди з допустимою чи ні. Це таким чином забезпечує швидку можливість негайного припинення процесу балансування комірок за допомогою навмисного запису командного байта з неправильною парністю.

Запис команди балансування. Якщо командні біти програми є командами «записом команди балансування», всі наступні записи повинні бути кратні шістнадцяти біт (до переходу виводу CSBI до високого рівня) або вони будуть проігноровані. Поточна команда балансування виконується (з останнього успішного запису) і буде виконуватися доти, доки не буде записана команда запуску балансування. Кожна мікросхема LTC3300-1 у лінійці очікує 16 біт даних запису (див. таблицю 3.3).

Таблиця 3.3 – Побітова структура команди запису балансування

| Номер біта | 1<br>(MSB) | 2   | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    | 8           |
|------------|------------|-----|-----|-----|------|------|------|-------------|
| Позначення | D1A        | D1B | D2A | D2B | D3A  | D3B  | D 4A | D4B         |
| Номер біта | 9          | 10  | 11  | 12  | 13   | 14   | 15   | 16<br>(LSB) |
| Позначення | D5A        | D5B | D6A | D6B | CRC3 | CRC2 | CRC1 | CRC0        |

Послідовні 16-розрядні дані запису зсунуті починаючи з найвищої мікросхеми LTC3300-1 в лінійці, сходячи вниз по лінійці мікросхем. Таким чином, перші шістнадцять біт записуватимуть дані для верхньої LTC3300-1 у лінійці та зміщені через усі інші мікросхеми LTC3300-1 у лінійці. Останні 16 бітів будуть записувати дані для нижньої мікросхеми LTC3300-1 в лінійці мікросхем. Перші 12 біт 16-бітної команди балансування використовуються для вказівки того, які ланцюги балансування (або кілька ланцюгів) активні та в якому напрямку (зарядка та розрядка). Кожен із шестиосередкових



балансирів управляється двома бітами цих даних, приклад наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Управляючі біти балансування комірок батареї

| Біт |     | Виконувана функція<br>(n=1..6)   |
|-----|-----|----------------------------------|
| DnA | DnB |                                  |
| 0   | 0   | —                                |
| 0   | 1   | Розрядка комірки n (асинхронний) |
| 1   | 0   | Розрядка комірки n (синхронний)  |
| 1   | 1   | Зарядження комірки n             |

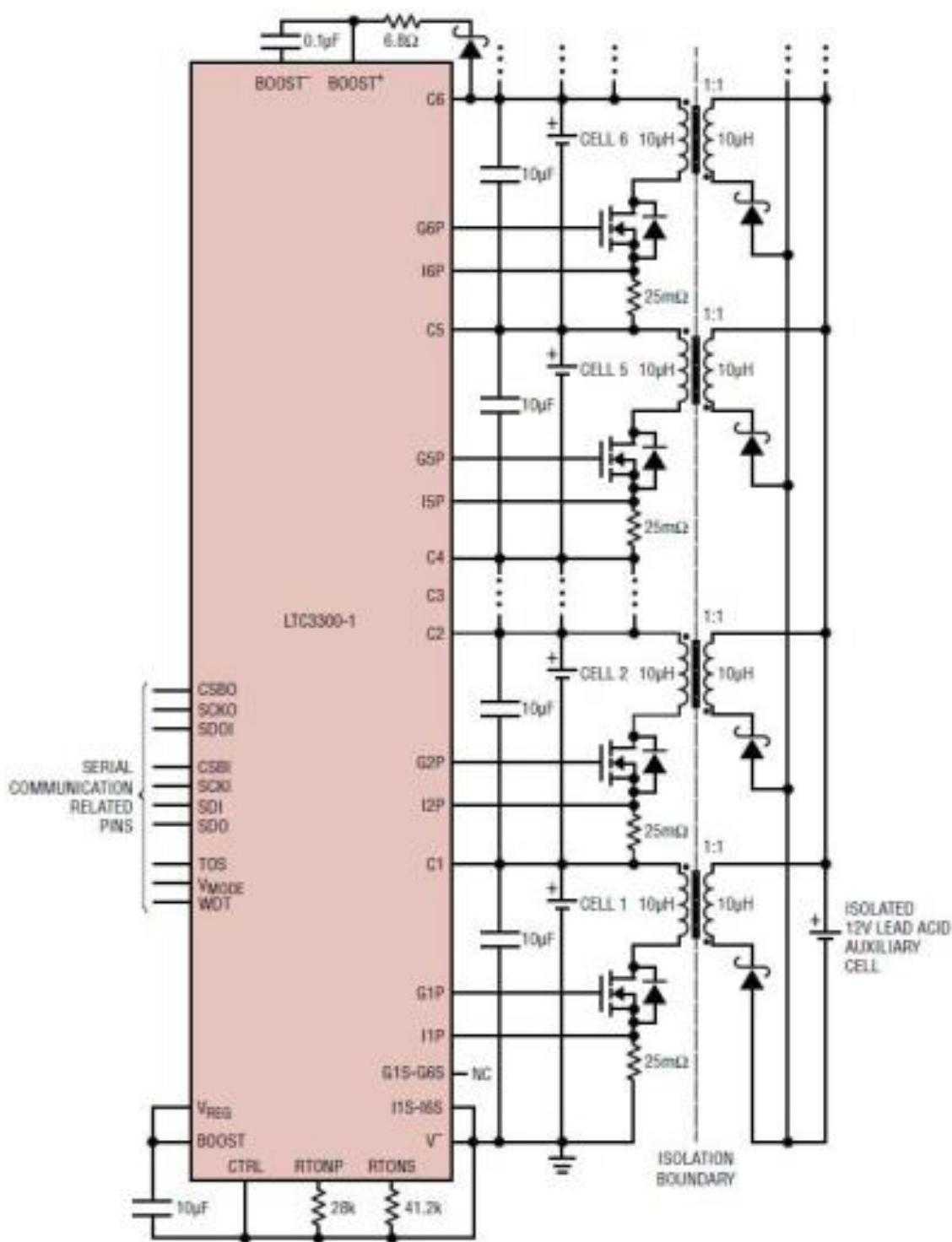
Сутність алгоритму балансування для комірки. Зарядка комірки n: лінійне підвищення струму у вторинній обмотці трансформатора до значення  $I_{PEAK}$ , лінійний спад струму в первинній обмотці трансформатора до значення

$I_{ZERO}$ . Повторення. Розрядка комірки n (синхронна): лінійне збільшення струму в первинній обмотці трансформатора до значення  $I_{PEAK}$ , лінійний спад струму у вторинній обмотці трансформатора до значення  $I_{ZERO}$ . Повторення.

Для несинхронної розрядки комірки n, вторинні обмотки трансформаторів, драйвера керування затворами транзисторів та датчики струму відключені.

Струм у вторинних обмотках буде проводити корпусний діод транзисторного ключа (якщо він присутній) або запасний діод Шоттки. Первинна обмотка трансформатора включатиметься тільки після того, як відключаться виводи захисних резисторів первинної обмотки. У спрямованому балансуванні з ключем у вторинній обмотці, можна досягти підвищення ефективності розряду вибираючи несинхронний режим розряду (якщо заряд на затворі транзистора перевищує додаткові втрати в діоді), але струм балансування буде менш стабільний, так як резистори захисних виводів вторинної обмотки повинні бути підібрані так, щоб час спадання

струму до нуля було більшим за очікуване, щоб гарантувати відсутність зворотного струму. У випадку, коли діод Шоттки виступає як ключ вторинної обмотки, можна побудувати односпрямований алгоритм розрядки тільки за допомогою балансування ізольованої допоміжної комірки, що заряджається, так як показано на рисунку 3.14.



|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |

ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ

Арк.

66

Рисунок 3.14 – Однонаправлене (тільки розрядка) балансування застосовується для заряджання ізольованої допоміжної комірки.

Останні чотири біти команди шістнадцяти бітної команди балансування використовуються для перевірки помилок пакета (Packet Error Checking PEC).

Шістнадцять біт даних запису (дванадцяти бітове повідомлення плюс чотири бітний циклічний надлишковий код Cyclic Redundancy Check CRC), надходять на вхід коду циклічної надмірності (CRC) блок з використанням стандартного характеристичного полінома:

$$x^4 + x + 1.$$

У даних запису, 4-бітовий CRC код, що додається до повідомлення, повинен бути обраний таким чином, щоб залишок від розподілу CRC дорівнював нулю. Всі біти CRC коду при записі команди балансування інвертуються, це робиться у тому, що " всі нулі " команда не виконувалася. Мікросхема LTC3300-1 ігноруватиме запис даних, якщо залишок від розподілу не дорівнює нулю, а внутрішній регістр очищений і може бути перевірений на зворотне читання команди. Поточна команда балансування буде виконуватися (від останнього раніше успішного запису), але всі активні ланцюги балансування будуть вимкнені, якщо команда запуску виконання балансування потім буде записана.

Зворотне зчитування команди балансування. Побітова структура команди зворотного зчитування балансування ідентична команді запису процесу балансування. Біти команди програми зворотного зчитування процесу балансування, послідовні шістнадцятирозрядні раніше записані дані (зафіксовані в дванадцяти бітовому повідомленні плюс знову розрахований чотирибітний CRC код зсунуті в тому ж побітовому порядку (MSB біт

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 67   |

перший), починаючи з найнижчої мікросхеми LTC3300-1 в лінійці мікросхеми і виходячи вгору по схемі. перед виконанням. Біти CRC коду також як і команди запису балансування інвертовані.

Зчитування статусу балансування. Командні біти програми читання статусу балансування це послідовні дані про стан шістнадцять біт (12 біт даних плюс чотирибітний CRC код) зсуваються старшими розрядами вперед (див. таблицю 3.5).

Таблиця 3.5 – Побітова структура команди читання статусу балансування

| Номер біта | 1 (MSB)         | 2               | 3               | 4               | 5               | 6               | 7            | 8          |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|------------|
| Позначення | Gate Drive 1 OK | Gate Drive 2 OK | Gate Drive 3 OK | Gate Drive 4 OK | Gate Drive 5 OK | Gate Drive 6 OK | Cells not OV | Sec not OV |
| Номер біта | 9               | 10              | 11              | 12              | 13              | 14              | 15           | 16         |
| Позначення | Temp OK         | 0               | 0               | 0               | CRC3            | CRC2            | CRC1         | CRC0       |

Аналогічно команда зворотного читання балансування, останні 4 біти в кожній шістнадцятибітній команді статусу стану балансування використовуються для виявлення помилок. Перші дванадцять біт стану надходять до блоку циклічного надлишкового коду (CRC) з використанням того ж неприводимого полінома як і для запису команди балансування. Мікросхема LTC3300-1 розраховує і додає відповідний чотирибітний CRC код вихідного дванадцяти бітового повідомлення, яке потім обробляється мікропроцесором для перевірки помилок. Послідовність вихідних даних під

час зворотного зчитування є наступною: дані про стан нижнього чіпа, дані про стан другого чіпа знизу, ..., дані про стан верхнього чіпа, всі біти CRC коду в команді читання статусу балансування інвертовані. Перші шість бітів команди читання статусу балансування показують статус драйверів затвора (Gate Drive OK) транзисторів кожного з шести ланцюгів балансування. На них може бути лише високий логічний рівень напруги, якщо виконується команда за участю ланцюга балансування даного драйвера затвора або низький логічний рівень, якщо ланцюг балансування не активний. Біти з сьомого по дев'ятий показують, що на всіх шести комірках немає перенапруги, що немає перенапруги на вторинній обмотці трансформатора, і що температура мікросхеми LTC3300-1 в межах норми. Ці три біти можуть мати лише високий логічний рівень напруги в ході виконання команди балансування принаймні одного ланцюга балансування. Десятий, одинадцятий, дванадцятий біти в команді читання статусу балансування не використовуються і завжди матимуть низький логічний рівень напруги. Як приклад, якщо активні ланцюги балансування першого і четвертого осередку за відсутності несправностей напруги або температури, дванадцяти розрядний код читання статусу балансування буде такий: 100100111000.

Виконання команди балансування. Якщо командні біти програми запуску команди балансування, останній раз успішно записані в пам'ять, команда запуску балансування буде негайно виконана. Всі наступні дані, що записуються, будуть ігноруватися доти, поки на виводі CSBI мікросхеми LTC-3300-1 не буде високого рівня напруги, а потім знову низького.

Пауза/відновлення процесу балансування (через SPI порт). Мікросхема LTC3300-1 забезпечує простий засіб для переривання процесу балансування (всієї лінійки мікросхем), а потім перезапуск без перезапису попередньої команди балансування всіх мікросхем LTC3300-1 у лінійці. Призупинення балансування відбувається, якщо записується восьми бітна команда запуску процесу балансування з інвертованим бітом парності: 10101110.

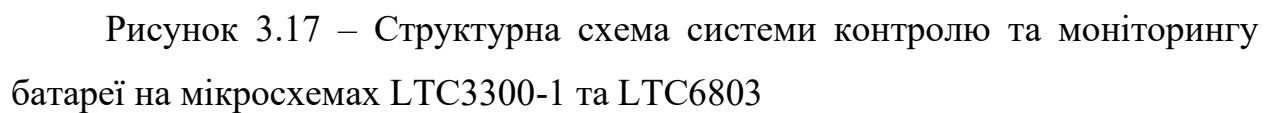
|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 69   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

Відновлюється процес балансування, записом команди запуску процесу балансування з правильним бітом парності: 10101111. Ця функція корисна при точному вимірі напруги комірки з метою підвищення продуктивності під час балансування лінійки комірок. Негайна пауза в процесі балансування відбуватиметься при записі будь-якого восьми бітового байта команди з неправильним співвідношенням парності. Час повторного запуску, як правило, становить 2 мс, яке є таким же, як час затримки початку нової або іншої команди балансування ( $t_{DLY\_START}$ ).

### 3.5 Каскадне з'єднання мікросхем балансування та моніторингу

Мікросхема LTC3300-1 є сумісною та зручною у використанні з усіма чіпами мікросхем моніторингу виробника LTC, такими як мікросхеми LTC6803 та LTC6804. В даному випадку ми використовуємо мікросхему LTC6803, принципову схему підключення системи контролю батареї на мікросхемах LTC3300-1 та LTC6803 з використанням загального SPI порту показано на рисунку 3.14. Висновки SCKI, SDI та SDO ліній нижніх мікросхем LTC3300-1 та LTC6803-1 пов'язані між собою. Висновки CSBI розділені, щоб запобігти одночасному зв'язку мікросхем. Це забезпечується за допомогою підключення виведення GPIO мікросхеми LTC6803-1 через інвертор до виведення CSBI мікросхеми LTC3300-1. При такому підключенні обмін даними з LTC6803-1 нічим не відрізняється ніж без мікросхеми LTC3300-1, оскільки висновок GPIO1 за умовчанням має високий рівень напруги. Для того, щоб зробити обмін даними з мікросхемою LTC3300-1, стан виведення GPIO1 повинен бути скинутий мікроконтролером у низький рівень і назад у високий після завершення процедури обміну даними. Зв'язок вгору лінійкою мікросхем і з осередками батареї проходить між мікросхемами LTC3300-1 і LTC6803-1, як показано на рисунку 3.17.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 70   |

71

## ВИСНОВКИ

Відповідно до вихідних даних було підібрано акумуляторний накопичувач енергії, зібраний на літій-ферофосфатних комірках. Для обраного накопичувача енергії була розроблена система контролю акумуляторних батарей, яка є сумісною та оптимізованою для роботи з цим типом накопичувачів. У ході розробки системи контролю було розроблено її структурну схему, алгоритми роботи її основних складових, а також проведено необхідний підбір елементів даної системи.

Застосування даної системи контролю, як очікується, дозволить покращити експлуатаційні показники акумуляторних накопичувачів, знизити витрати на їх експлуатацію, продовжити термін служби накопичувачів, збільшити їх ККД, а також їхню надійність.

Розроблена система контролю є реальним зразком, який введено в експлуатацію на реальному об'єкті. В результаті експериментального дослідження режимів заряду та розряду накопичувача отримано практичні позитивні дані про функціонування даної системи.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 72   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |



## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт компанії SPN Group. Автономні системи енергозабезпечення. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://energystorage.com.ua/avtonomnye-sistemy-elektrosnabzheniya/>.
2. Офіційний сайт компанії VIYAN. Автономне електропостачання: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://home-ideas.ru/2015/06/avtonomnye-sistemyi-elektrosnabzheniya>
3. Аграрний медіа холдинг Landlord. Переваги та недоліки систем автономного електропостачання для вашого будинку. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://landlord.ua/agrolife-en/sistemi-avtonomnogo-elektropostachannya-perevagi-ta-nedoliki-dlya-vashogo-budinku>
4. Дурас М. В. Типи автономних джерел електричної енергії в Україні та способи їх підключення до споживачів. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 29 (68) Ч. 2 № 4 – 2018. – С. 36-40. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/635952.pdf>
5. Офіційний сайт компанії "Правильне Електроживлення". Сонячна енергетика. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/>
6. Офіційний сайт компанії DEPS. Типи акумуляторних батарей: повний огляд. Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/10591.html>.
7. Ribeiro P. F., Johnson B. K., Crow M. L., Arsoy A., Liu Y. Energy Storage Systems for Advanced Power Applications // Proceedings of the IEEE, 2001. – Vol. 89. – No. 12. – P. 1744–1756.
8. Шембель О. М., Білогуров В. А. Основні характеристики сучасних хімічних джерел струму різних електрохімічних систем // Сучасна спеціальна техніка. Науково-практичний журнал. — № 2(17), 2009. С.66-86.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 73   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |

9. Офіційний сайт компанії «DeltaBatter»: [Електронний ресурс].  
Режим доступа: <http://www.delta-batt.com/catalog/gel>

10. J.I. San Martín, I. Zamora, J.J. San Martín V. Aperribay, P. Eguía. Energy Storage Technologies for Electric Applications. International Conference Renewable Energies and Power Quality. (ICREPQ'11) Las Palmas de Gran Canaria (Spain), 13th to 15th April, 2011, P. 1-7.

11. K.C. Divya, J. Ostergaard, "Battery energy storage technology for power systems - An overview", Electric Power Systems Research, Vol.79, p.511-520, 2009.

12. Palamar A., Karpinskyy M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering» and «Doctoral School of Energy and Geotechnology II», Pärnu, Estonia. 2011. P. 80–84.

13. Haram M. H. S. M., Lee J. W., Ramasamy, G. Ngu, E. E., Thiagarajah S. P., Lee, Y. H. Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, asse

14. Аргун Щ.В., Двадненко В.Я., Гнатов А.В. Оптимізована система управління бустерною літій-залізо-фосфатною акумуляторною батареєю. // Transport infrastructure, development of a network of charging stations for eco-cars. Information and communication technologies in transport. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, Вип. 26, 2024 – С. 44-54.

15. Vanadium redox battery: [Електронний ресурс]. Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Vanadium\\_redox\\_battery](http://en.wikipedia.org/wiki/Vanadium_redox_battery) (дата обращения: 14.05.2016).

16. Barsukov Y. Battery cell balancing: What to balance and how //Texas Instruments. – 2009. – 8 p.

17. The fast charging staion for Electric Vehicle from Nissan. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<http://www.pluginamerica.org/accessories/nissannsqc-44-series/>

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКИТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 74   |

18. Q.PRO-G4 255-265 Polycrystalline solar module: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.q-cells.com> (дата звернення: 17.05.2016).

19. GreenTriplex PM060M02 Mono-Crystalline Photovoltaic Module: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.benqsolar.com> (дата звернення: 17.05.2016).

20. SMA Sunny Tripower 20000TL / 25000TL solar inverter: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.sma.de> (дата звернення: 17.05.2016).

21. TESVOLT Lithium Batterie Speicher System Li 60 kWh: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.tesvolt.com> (дата звернення: 17.05.2016).

22. SMA Sunny Island 8.0H battery inverter: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.sma.de> (дата звернення: 17.05.2016).

23. Linear Technology High Efficiency Bidirectional Multicell Battery Balancer: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.linear.com> (дата звернення: 18.05.2016).

24. Serial Peripheral Interface: [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface](http://ru.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface) (дата звернення: 21.05.2016).

25. Coilcraft MA5421-AL Flyback Transformer: [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.coilcraft.com/ma5421.cfm> (дата звернення: 22.05.2016).

26. Загальні методичні рекомендації з підготовки, оформлення, захисту та оцінювання кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого «бакалаврського» і другого «магістерського» рівнів. // Укладачі: В. М. Островерхов, Л. І. Біловус, К. З. Возьний, О. О. Луцишин, Г. Л. Монастирський, С. В. Питель, С. А. Надвиничний, С. К. Шандрук. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. – 89 с.

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               | 75   |

ДОДАТОК А

|     |      |          |       |      |                               |      |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------------------|------|
|     |      |          |       |      | ДП.АКІТ. 9702554.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |       |      |                               | 76   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |                               |      |