

# Підвищення ефективності системи батарейного резервування за допомогою знижувально-підвищувального контролера

Д.К. Сінгх (D.K. Singh), Давид Жан (David Zhan), Renesas Electronics Corp.

**Побудова пристроїв резервного живлення постійного струму на основі двонапрявленої знижувально-підвищувальної архітектури забезпечує найбільшу ефективність і збільшує надійність усієї системи. У статті описуються способи розроблення недорогої апаратно-реалізованої автономної системи з використанням високовольтних знижувально-підвищувальних контролерів від Renesas Electronics. Такий підхід дає змогу зменшити вартість системи шляхом ефективнішого використання акумулятора, уникнувши застосування складних методів вимірювання струму та зарядних кіл.**

## ВСТУП

Пристрої зберігання електроенергії є основою сучасної революції в галузі сталої енергетики, а технології виробництва акумуляторів, що стрімко розвиваються, збільшують її розповсюдження в усіх галузях промисловості. Літєво-іонні акумулятори та суперконденсатори великої ємності набувають дедалі більшого поширення в сучасних проєктах. За оцінками фахівців, що займаються дослідженнями ринку, попит на літєво-іонні акумулятори в наступні декілька років подвоїться. Збільшується попит і на інші типи пристроїв зберігання електроенергії, наприклад на конденсатори великої ємності (суперконденсатори). Простий режим заряду і малий розмір цих пристроїв сприяють подальшому підвищенню їхньої популярності навіть у тих сегментах ринку, де раніше безроздільно панували свинцево-кислотні акумулятори. З іншого боку, витрати, пов'язані з простим відповідальним обладнанням, наприклад для телекомунікаційних систем, інтернет-хостингу або медичних застосувань, настільки високі, що застосування резервного джерела живлення в них стало майже обов'язковим.

Надмірність за схемою N+1 забезпечує резервування з урахуванням локальних відмов, але не може повністю компенсувати втрати електроенергії через відмову основного джерела живлення. Використання стандартного джерела безперебійного живлення (ДБЖ) за змінним струмом вимагає вкладення значних коштів і призводить до зайвої витрати електроенергії, оскільки таке джерело повинно мати більшу

потужність, ніж це необхідно. Крім того, через втрати на перетворення загальна ефективність ДБЖ змінного струму невелика. Водночас успіхи в технології виробництва акумуляторів прискорили їх застосування в ДБЖ постійного струму.

Локалізоване джерело живлення, що використовує акумулятор як резервний пристрій, забезпечує економне і надійне резервування для основного джерела електроенергії. Наявність локалізованого резервного живлення постійного струму для резервування допомагає оптимізувати схему живлення, оскільки дає змогу оцінити й відрегулювати рівень електроживлення відповідно до струму навантаження. Нова концепція енергетичного буфера використовується в промислових застосуваннях високого класу для резервування на відповідальних шинах живлення.

## ТИПОВА СИСТЕМА РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ ТА ХАРАКТЕРНІ ПРОБЛЕМИ

Основою системи батарейного резервування є акумулятор. У ній також є електронне обладнання для заряджання від джерела постійного струму та електронне обладнання для розряджання з метою передавання енергії акумулятора в систему в разі вимкнення основного джерела живлення. На рисунку 1 показано типову систему батарейного резервування. Загалом, різниця між напругами живлення на вході та виході більша за нуль, що є однією з головних причин низької ефективності.

Рисунок 2а дає загальне уявлення про внутрішні елементи системи батарейного резервування. Для зберігання енергії використовується акумулятор або інша система, яка заряджається за допомогою відповідного кола. Коло заряджання може бути або підвищувальним, або знижувальним, що залежить від напруги кола живлення та акумулятора. Іноді з метою економії

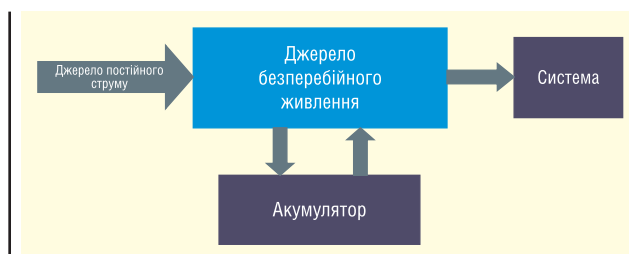
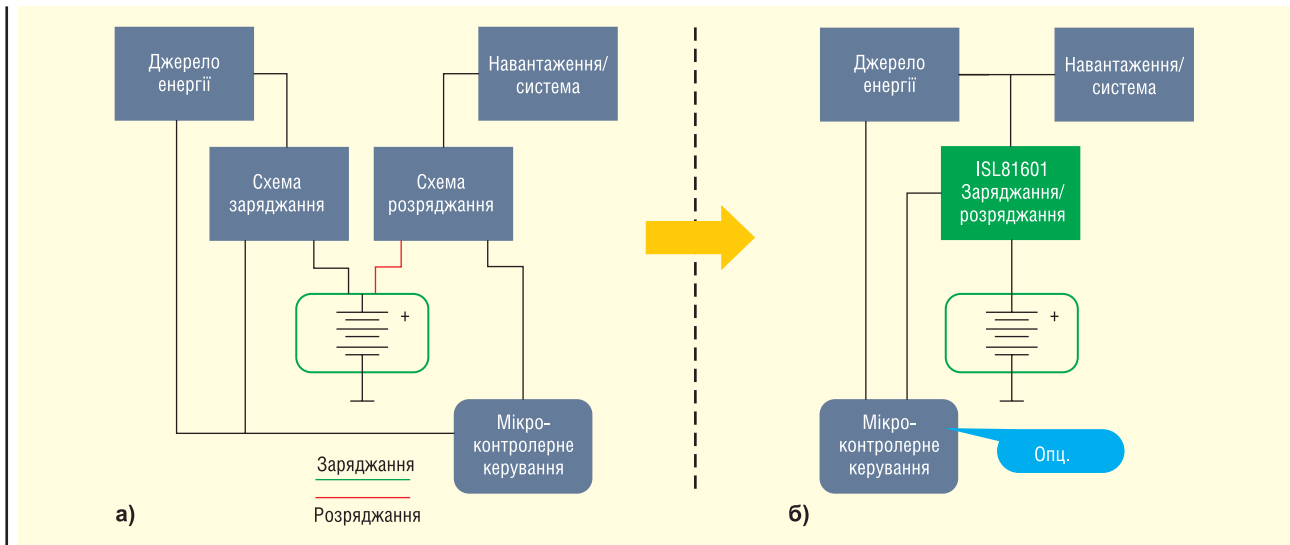


Рис. 1. Типова система батарейного резервування



**Рис. 2.** Типова система батарейного резервування (а); двонаправлений підхід до системи батарейного резервування (б)

для заряджання застосовується лінійний стабілізатор. Коло розряджання зазвичай складається зі знижувального перетворювача для подачі електроживлення на навантаження від джерела електроенергії шляхом перетворення напруги акумулятора в необхідну для системи напругу. Забезпечення стабільності в цьому разі пов'язане з певними проблемами: система надто громіздка і складна, а її активне коло потребує керування водночас із численними схемами захисту. Зі збільшенням числа елементів унаслідок ускладнення системи середній час безвідмовної роботи зменшується. Інша проблема в системах такого типу полягає в тому, що акумулятор постійно під'єднаний до ланцюга живлення системи від основного джерела, а це значить, що акумулятор завжди працює за умови функціонування системи. Таке компонування знижує його ресурс і не може застосовуватися з акумуляторами багатьох типів.

З погляду ефективності, системи такого типу (див. рис. 2а) зазвичай менш ефективні, оскільки їхній коефіцієнт заповнення далекий від ідеального (менше ніж 100% у знижувальному режимі і більше ніж 0% — у підвищувальному). Звичайно, є й інші чинники, до яких належать застосована архітектура живлення, склад компонентів, частота комутації, що впливають на ефективність системи. Однак найбільшою шкоди ефективності завдає різниця напруг VIN і VOUT. Загалом, якщо всі інші чинники незмінні, ефективність знижується при збільшенні різниці вхідної та вихідної напруги. Наприклад, перетворення 12 В/3.3 В здійснюється з меншою ефективністю, ніж 12 В/5 В. Вплив різниці

вхідної та вихідної напруг на ефективність перетворювача можна описати таким чином. Ефективність знижувального перетворювача збільшується разом із коефіцієнтом заповнення і досягає піка за його значення, що дорівнює 100%. Ефективність підвищувального перетворювача збільшується зі зменшенням коефіцієнта заповнення і досягає максимальної величини за 0%.

При підвищувальному і знижувальному підході до системи резервування живлення постійного струму вхідна напруга 12 В використовується для заряджання акумулятора з вищою напругою, яка зазвичай дорівнює 24 або 36 В, а для перетворення напруги акумулятора назад у 12 В використовується знижувальний перетворювач. Системи такого типу мають схожі проблеми і менш ефективні через неоптимальні коефіцієнти заповнення при перетворенні в обох напрямках.

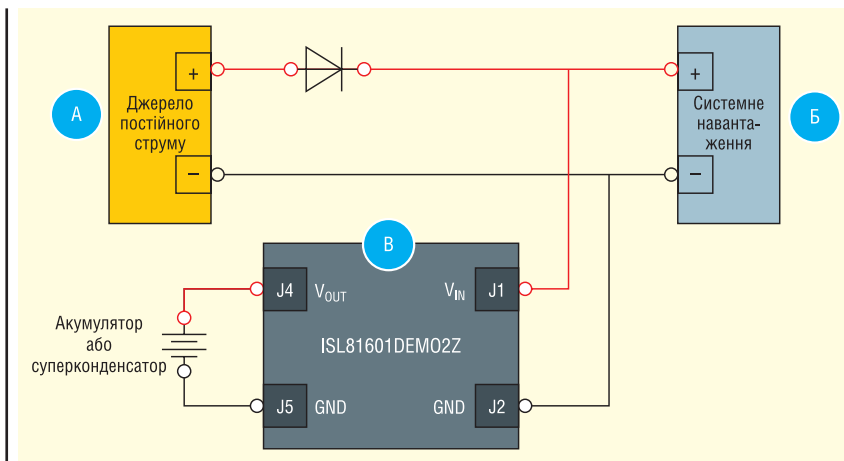
Щоб подолати явні проблеми з ефективністю, було запропоновано використовувати знижувальний перетворювач з вищим коефіцієнтом заповнення і акумулятори з напругою, близькою до напруги системи. За такого підвищувально-знижувального підходу коло підвищення використовується для заряджання акумулятора з напругою, яка незначно перевищує напругу системи, а для подачі напруги в систему використовується простий знижувальний перетворювач з високою ефективністю і меншою вартістю. Загальна вартість силових компонентів менша, коли одні й ті самі компоненти використовуються для заряджання та розряджання за допомогою мікроконтролера. Однак основний недолік описаного підходу

полягає в низькому коефіцієнті використання ємності акумулятора. Оскільки в цій системі акумулятор не може розряджатися нижче напруги системи, потрібні акумулятори більшої ємності. Зауважимо при цьому, що акумулятори є одними з найдорожчих елементів системи. За такого підходу акумулятор завжди зберігає високий рівень заряду, що негативно впливає на його термін служби.

Таким чином, можна вважати, що такі архітектури батарейного резервування складні, неефективні та ненадійні. Ці проблеми можна вирішити і тим самим збільшити загальну продуктивність системи, якщо скористатися двонаправленою схемою. Реально двонаправлена система дає змогу спростити конструкцію і значно збільшити надійність системи (див. рис. 2б).

### ДВОНАПРАВЛЕНИЙ ПІДХІД ДО БАТАРЕЙНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ

Двонаправлений підхід з використанням фактично двонаправленого контролера, наприклад ISL81601 або ISL81401, забезпечує численні переваги системі резервного живлення постійного струму або пристрою за живленням від акумуляторів. По-перше, він спрощує конструкцію і підвищує загальну надійність шляхом об'єднання складної архітектури заряджання і розряджання в одне коло. Наявність окремих кіл заряджання і розряджання вимагає двох індукторів (за умови, що для підвищення ефективності на обох етапах використовується імпульсний



**Рис. 3. Система батарейного резервування із застосуванням двонапрявленого контролера ISL81601**

економію з погляду розміру та вартості комплектувальних елементів.

На рисунку 4 показано діаграми сигналів під час роботи пристрою резервування електроживлення постійного струму. Для простоти пояснення в схемі використовується акумулятор на 12 В разом із регульованим джерелом постійного струму. Щойно напруга цього джерела зменшується з 18 до 9 В, акумулятор подає необхідне живлення в систему. У момент часу T1 напруга джерела становить 18 В, і воно живить навантаження й акумулятор. Щойно акумулятор повністю заряджається, джерело відключається в момент часу T2. У момент часу T2 досягається задане мінімальне значення напруги перетворювача, і він змінює напрямку струму на розрядження акумулятора, запобігаючи падінню напруги системи нижче 9 В. У момент часу T3 акумулятор або конденсатор великої ємності повністю розряджається, що, своєю чергою, призводить до зниження напруги живлення системи. Під час цього процесу система отримує достатньо часу для коректного завершення своєї роботи. Перемикання джерел живлення і зміна напрямку струму в момент часу T2 відбувається без будь-яких помітних проблем.

Ці пристрої використовують модуляцію пікового струму для керування в підвищувальному режимі і модуляцію струму впадін для керування в знижувальному режимі. Така архітектура дає змогу здійснювати контроль і вимірювання істинного пікового струму в обох напрямках.

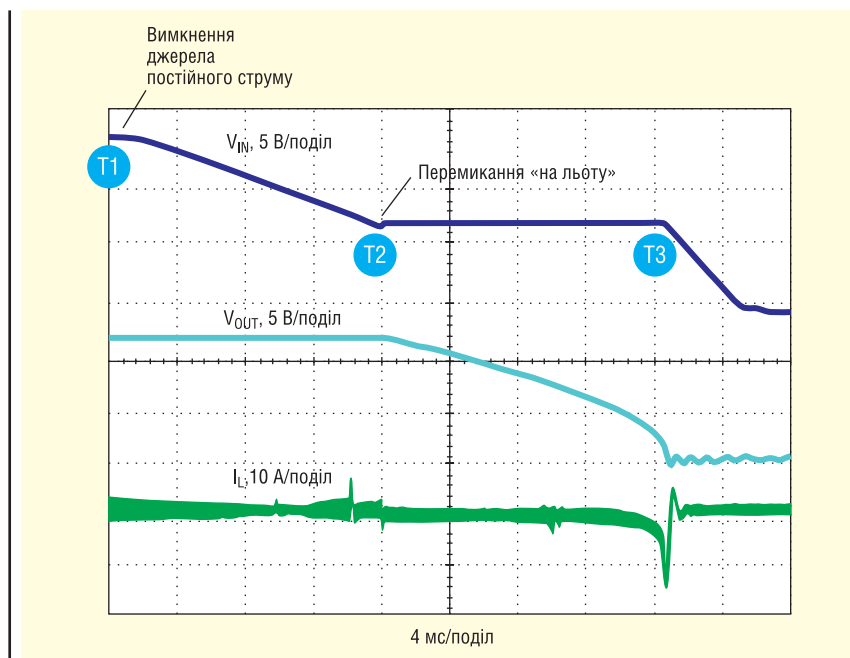
перетворювач), тоді як двонапрявленій архітектурі потрібен лише один індуктор. При використанні такої архітектури один і той самий комплект електроніки змінює напрямку руху струму для забезпечення заряджання і розряджання. Двонапрявлений знижувально-підвищувальний контролер значно збільшує загальну ефективність системи, оскільки величину напруги акумулятора або іншого елемента зберігання можна вибрати ближче до напруги системи. Оскільки різниця між напругами акумулятора і системи зменшується, перетворювач завжди працює в режимі, що забезпечує максимальну ефективність. Водночас система може за потреби сильніше розрядити батарею, збільшивши, таким чином, коефіцієнт використання ємності акумулятора.

У конструкції на основі знижувально-підвищувального перетворювача напруга акумулятора і напруга, необхідна для роботи системи, можуть підтримуватися на одному рівні. Ще одним позитивним моментом є стан акумулятора. При використанні пропонованої архітектури рівні заряджання і розряджання акумулятора можна запрограмувати відповідно до стану акумулятора.

На рисунку 3 показано просту конфігурацію для двонапрявленої роботи перетворювача. Джерело постійного струму А з'єднане з навантаженням Б, і те саме джерело приєднується до акумулятора або конденсатора великої ємності через двонапрявлений знижувально-підвищувальний перетворювач В. Напруга акумулятора може мати будь-яке значення, що відповідає напрузі перетворювача.

ISL81601/401 від Renesas — двонапрявлений знижувально-підвищувальний контролер, що дає змогу визначити

значення пікового струму і забезпечує контроль з обох боків. Ці пристрої використовують модуляцію пікового струму для керування в підвищувальному режимі і модуляцію струмів впадін для керування в знижувальному режимі. Подібні пристрої також мають властивість покрокового обмеження максимального від'ємного значення струму індуктора для захисту системи під час роботи у зворотному напрямку. Однак напрямку руху струму можна поміняти в апаратних налаштуваннях або за допомогою мікроконтролера з відповідною інтерфейсною схемою. Це підвищує простоту й ефективність конструктивних рішень для пристроїв резервування живлення постійного струму, а також забезпечує значну



**Рис. 4. Двонапрявлена робота ISL81601/401: перемикання здійснюється на ходу**

Таблиця 1. Лінійка знижувально-підвищувальних контролерів високої напруги від Renesas

Найменування пристрою	Діапазон вхідної напруги, В	Відмінні риси	Напруга керування, В
ISL81601	4.5–60	Двонапрямлений	8
ISL81401	4.5–40	Двонапрямлений	5.3
ISL81401A	4.5–40	Однонапрямлений	5.3

## ДВОНАПРЯМЛЕНІ ЗНИЖУВАЛЬНО- ПІДВИЩУВАЛЬНІ КОНТРОЛЕРИ RENESAS

Як провідний постачальник інтегрованих контролерів для керування живленням, корпорація Renesas Electronics пропонує не тільки двонапрямлені, а й однонапрямлені знижувально-підвищувальні контролери.

Лінійка мікросхем ISL81601/ISL81401 від Renesas складається з двонапрямлених знижувально-підвищувальних контролерів із чотирма зовнішніми ключами, які мають вражаючий перелік характеристик. До них належить згладжування частоти та наявність зовнішнього зсуву, що дають змогу зменшити фінансові витрати та час. Унікальна архітектура цих ІС гарантує контроль і вимірювання пікового струму індуктора з обох сторін. Крім того, мікросхеми мають два виводи для контролю вхідного і вихідного струму, які можна використовувати для керування постійним струмом (CC) і постійною напругою (CV), а також керування системою в інших випадках.

Характер роботи цієї архітектури забезпечує дуже надійний захист від будь-яких несправностей з кожної зі сторін системи. Вона обладнана чотирма незалежними колами для керування вхідною напругою, вихідною напругою, вхідним струмом і вихідним струмом. У результаті досягається повний і незалежний контроль над вхідною і вихідною напругами та налаштуваннями струмових величин, як-от зарядження й розрядження, що буває дуже корисним у застосуваннях з резервування електроживлення постійного струму, оскільки зарядження й розрядження, як правило, здійснюються з різними швидкостями. У таблиці 1 перераховано деякі основні параметри знижувально-підвищувальних контролерів високої напруги від Renesas.

Визначення пікового струму з обох боків, а також його покрокове обмеження в цій лінійці контролерів гарантує експлуатаційну надійність завдяки безперервному обмеженню струму в умовах перехідних процесів і на вході, і на виході. Робота за постійного струму аж до дуже

низьких значень напруги запобігає виходу схеми з-під контролю в разі перевантаження або короткого замикання.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІНІЙКИ КОНТРОЛЕРІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

Контролери високої напруги мають наступні характеристики:

- робота з високою напругою (до 60 В), що прийнятно для більшості сучасних акумуляторів;
- двонапрямлена схема роботи зменшує розмір друкованих плат і знижує загальну вартість пристрою;
- унікальна схема модуляції забезпечує найнижчі рівні пульсацій і плавний перехід між режимами;
- функція перемикавання «на льоту» адаптована під мікроконтролери;
- робота в режимах з постійним струмом (CC) і постійною напругою (CV) підтримує заряд акумулятора, мінімізує кількість зовнішніх компонентів;
- багаторівневий захист від перевантаження за струмом забезпечує надійну експлуатацію;
- зовнішнє зміщення дає змогу мінімізувати втрати потужності, збільшити ефективність;
- режим ефективної роботи в режимі малих навантажень дає змогу підвищити ефективність і збільшити термін служби акумулятора;
- розширений захист від збоїв забезпечує надійну експлуатацію;
- синхронізація частоти дає змогу зменшити ЕМЗ;
- розмивання частоти також дає змогу зменшити ЕМЗ;
- контроль вхідного і вихідного струму покращує керованість системи;
- можливість каскадування і розподілу струму забезпечує масштабованість схеми.

Тестувальну плату (плата розробника) від Renesas для ISL81601 див. на [1].

Література:

1. [www.renesas.com/eu/en/products/software-tools/boards-and-kits/eval-kits/isl81601evalz.html](http://www.renesas.com/eu/en/products/software-tools/boards-and-kits/eval-kits/isl81601evalz.html)

CN

РАДІОМАГ  
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

[www.radiomag.com.ua](http://www.radiomag.com.ua)