

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-27>

УДК 681.5

МАРТИНЮК Валерій

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5758-4244>

e-mail: martynyuk.valeriy@gmail.com

ШВЕЦЬ Максим

Хмельницький національний університет

e-mail: mac30973097@gmail.com

МЕТОД САМООПТИМІЗУЮЧОГО КОНТРОЛЮ ЗАРЯДУ ТА РОЗРЯДУ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

У статті розроблено структурну схему, яка реалізує метод самооптимізуючого контролю заряду та розряду акумуляторної батареї. Для контролю напруги використовується ПІД - регулятор із двома додатковими полюсами.

Для керування струмом використовуємо контроль пікового струму. Перевага цього типу контролю полягає в обмеженні максимального значення вхідного струму системи. При живленні від батареї цей тип керування діє як захід безпеки, запобігаючи надмірному споживанню струму навантаженням.

Вхідний струм системи (або струм через котушку, оскільки вони рівні, коли працює Q_1) порівнюється з керуючим струмом i_c таким чином, що коли струм стає більшим за опорний струм, керуючий сигнал вимикача деактивується. Таким чином, i_c діє як граничне значення струму.

Ключові слова: контроль пікового струму, метод самооптимізуючого контролю заряду та розряду акумуляторної батареї.

MARTYNYUK Valeriy, SHVETS Maksym

Khmelnitskyi National University

METHOD OF SELF-OPTIMISING CONTROL OF BATTERY CHARGING AND DISCHARGE

The article develops a block diagram that implements a method of self-optimizing control of the charge and discharge of a battery. A PID controller with two additional poles is used to control the voltage.

For current control, we use peak current control. The advantage of this type of control is that it limits the maximum value of the input current of the system. When powered by a battery, this type of control acts as a safety measure, preventing excessive current consumption by the load.

The input current of the system (or the current through the coil, since they are equal when Q_1 is operating) is compared with the control current i_c in such a way that when the current becomes greater than the reference Q_1 current, the control signal of the switch is deactivated. Thus, i_c acts as a current limit.

Keywords: peak current control, a method of self-optimizing control of battery charge and discharge.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

На додаток до вимог контролю (які можуть включати спеціалізовані методи зарядки для різних типів акумуляторів), сучасні пристрої заряду акумуляторних батарей часто включають додаткові вимоги, деякі з яких є необхідними, наприклад, вимоги до електромагнітної сумісності при підключенні до мережі, але в основному для зручності та комфорту, наприклад, інтерфейси, які відображають інформацію про стан акумулятора для користувача, або дизайн системи підключення акумулятора.

З боку електромобілів існує багато розробок, що випробовують нові топології зарядних пристроїв, які не лише прагнуть покращити час заряджання за допомогою домашньої мережі, але й додають різні способи роботи, наприклад, можливість розряджання транспортного засобу та використання його для живлення інших елементів домашньої мікро-мережі [1, 2].

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Як можна побачити в джерелах [3, 4], існує безліч топологій, які можуть бути використані для пристроїв заряду батарей. Зрештою, будь-яке джерело живлення, яке можна належним чином контролювати під час різних фаз заряджання акумулятора, може бути використане для цієї мети.

Різні топології матимуть різні переваги або недоліки залежно від очікуваних умов заряджання системи (потужність, що подається, характеристики вхідної напруги, безперервність роботи).

Наприклад, залежно від різниці між напругою на вході зарядного пристрою та напругою акумулятора, буде необхідна знижувальна або підсилювальна топологія, зазвичай для підключення до мережі бажана топологія з гальванічною розв'язкою, або якщо реалізуються додаткові функції (наприклад, корекція коефіцієнта потужності), можна використовувати комбіновані топології, такі як показана в [5].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Процес розряду акумуляторної батареї можна розділити на 3 фази: перша початкова фаза, в якій напруга батареї падає експоненціально, поки не досягне значення, близького до номінального, друга стабільна фаза, в якій напруга залишається практично постійною, і остаточна фаза розряду, в якій напруга знову падає експоненціально.

Зміни вхідної напруги та опору навантаження відбуваються не стрибкоподібно, а через послідовність нескінченно малих змін. Математичні моделі відображають це або за допомогою класичних передавальних функцій, які описується виразом (1), або за допомогою моделювання на основі станів, які описується виразом (2). В обох випадках зміни відображаються за допомогою похідних.

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases} \quad (2)$$

Якщо вихідна напруга акумуляторної батареї повинна бути знижена, використовується перетворювач напруги, як показано на рис. 1.

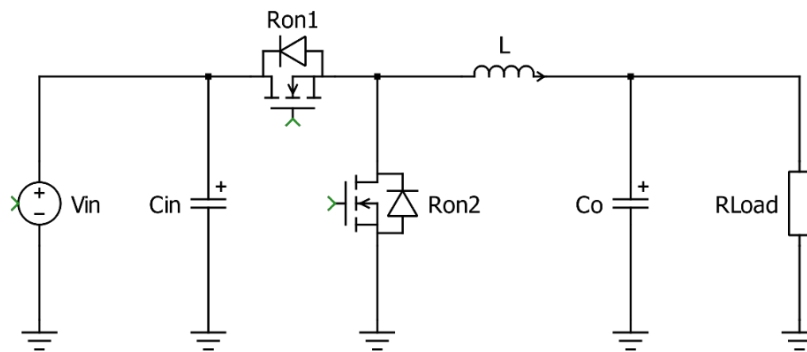


Рис. 1. Схема понижуючого перетворювача напруги

Для розробки математичної моделі процесу самооптимізуючого контролю заряду та розряду акумуляторної батареї необхідно визначити вхідні та вихідні параметри понижуючого перетворювача напруги. Базуючись на вхідній та вихідній напрузі та коефіцієнті корисної дії, розрахуємо мінімальний коефіцієнт заповнення імпульсів, який необхідно забезпечити, коли вхідна напруга буде максимальною, а отже, струм через котушку буде максимальним.

$$D_{min} = \frac{V_o}{V_{in \max}}. \quad (3)$$

Необхідно мати можливість контролювати як напругу, так і струм регуляторів. Контролювати напругу необхідно, щоб підтримувати задану напругу для живлення компонентів.

Контролювати струм необхідно, щоб уникнути споживання більшого струму від акумулятора, ніж це безпечно. Це досягається шляхом поділу всієї системи на дві послідовно з'єднані системи першого порядку: одна пов'язує струм з коефіцієнтом заповнення імпульсів, а інша - струм з вихідною напругою.

Це дозволяє розділити керування на два простих каскадних регулятора, замість одного регулятора, який контролює обидві змінні одночасно. Для каскадного керування (контур керування всередині більшого контуру керування) необхідно враховувати, що внутрішній контур керування повинен бути швидшим, ніж зовнішній, щоб полегшити керуваність і стабільність системи.

Контроль струму буде здійснюватися за допомогою контролю пікового струму, що забезпечує додаткову безпеку для акумуляторів, обмежуючи їх струм.

На рис. 2 зображено структурну схему, яка реалізує метод самооптимізуючого контролю заряду та розряду акумуляторної батареї. Для контролю напруги використовується ПІД - регулятор із двома додатковими полюсами.

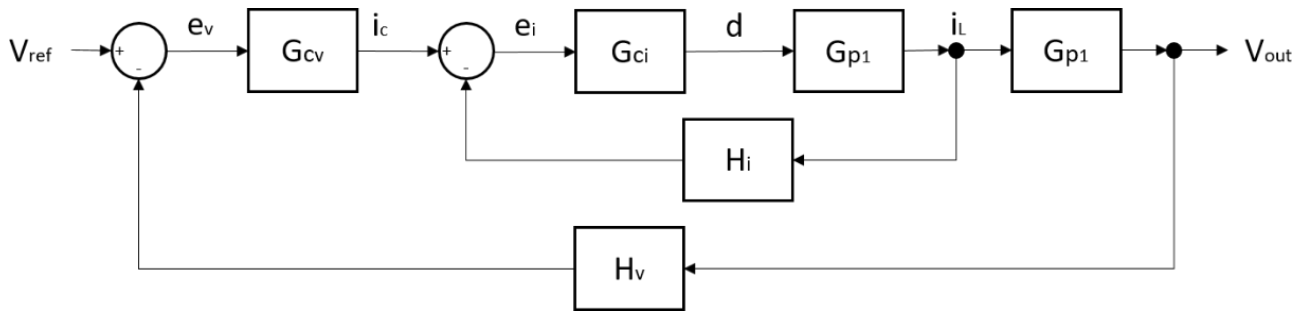


Рис. 2. Структурна схема, яка реалізує метод самооптимізуючого контролю заряду та розряду акумуляторної батареї

Для керування струмом використовуємо контроль пікового струму. Перевага цього типу контролю полягає в обмеженні максимального значення вхідного струму системи. При живленні від батареї цей тип керування діє як захід безпеки, запобігаючи надмірному споживанню струму навантаженням.

На рис. 3 зображена імітаційна модель понижувального перетворювача напруги в програмному середовищі PSIM.

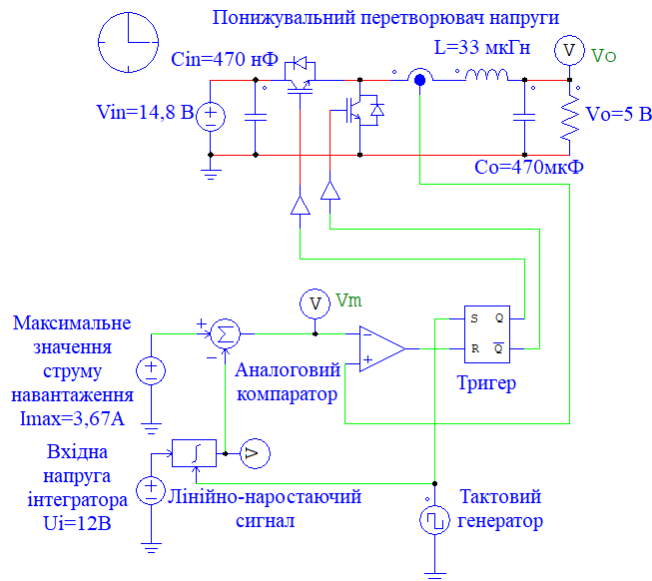


Рис. 2. Імітаційна модель понижувального перетворювача напруги в програмному середовищі PSIM

На рис. 4 зображено графік зміни вихідної напруги V_o в часі в результаті проведеного імітаційного моделювання понижувального перетворювача напруги в програмному середовищі PSIM.

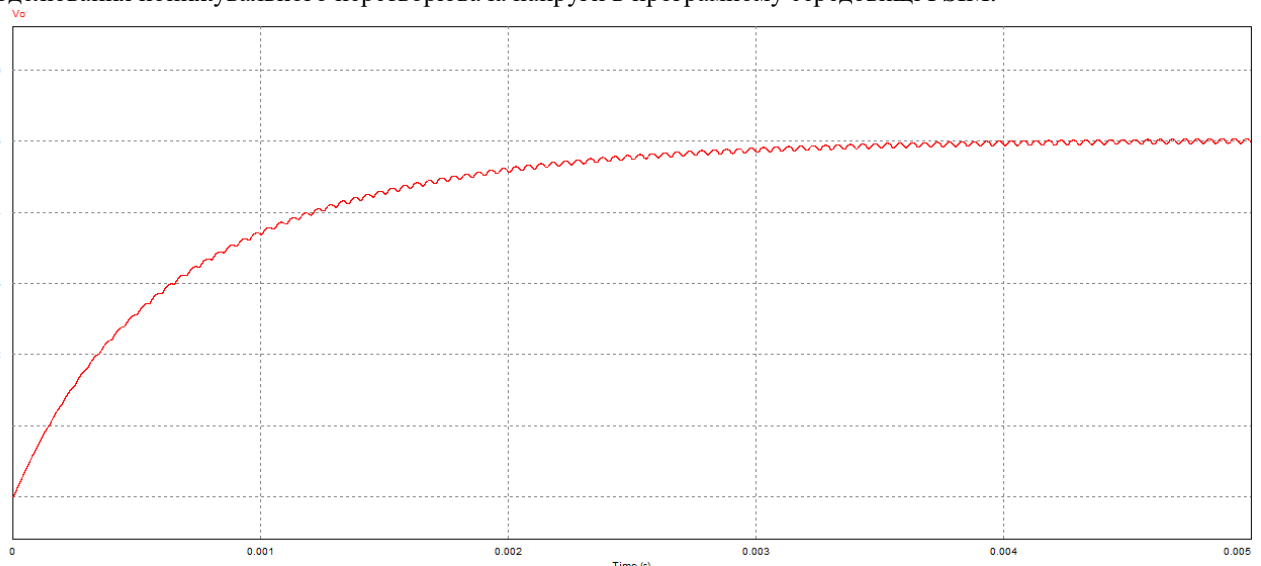


Рис. 4. Графік зміни вихідної напруги V_o в часі в результаті проведеного імітаційного моделювання понижувального перетворювача напруги в програмному середовищі PSIM

На рис. 5 зображено графік зміни вихідного струму I_L в часі в результаті проведеного імітаційного моделювання понижувального перетворювача напруги в програмному середовищі PSIM.

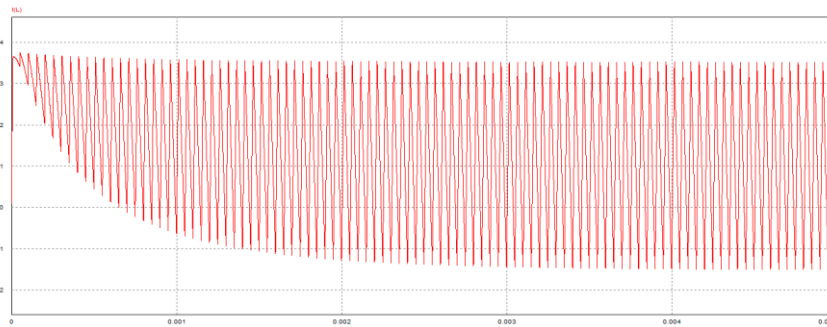


Рис. 5. Графік зміни вихідного струму I_L в часі в результаті проведеного імітаційного моделювання понижувального перетворювача напруги в програмному середовищі PSIM

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

1. Для керування струмом використовуємо контроль пікового струму. Перевага цього типу контролю полягає в обмеженні максимального значення вхідного струму системи. При живленні від батареї цей тип керування діє як захід безпеки, запобігаючи надмірному споживанню струму навантаженням.
2. Вхідний струм системи (або струм через котушку, оскільки вони рівні, коли працює Q_1) порівнюється з керуючим струмом i_c таким чином, що коли струм стає більшим за опорний струм, керуючий сигнал вимикача деактивується. Таким чином, i_c діє як граничне значення струму.
3. Розроблено імітаційну модель понижувального перетворювача напруги в програмному середовищі PSIM. В результаті імітаційного моделювання понижувального перетворювача напруги в програмному середовищі PSIM отримано графіки зміни вихідної напруги у часі, зміни вихідного струму у часі, сигналів керування силовими ключами, а також керуючи лінійно-наростаючий сигнал інтегратора та сигнал помилки на вході аналогового компаратора.
4. Отримані значення амплітуди пульсації вихідної напруги понижувального перетворювача напруги перевищують задані на початку дослідження значення (1% по відношенню до вихідної напруги) $V_{O_{pp}} = 0,001 \cdot 5 = 0,005 \text{ В} = 5 \text{ мВ}$. Для зменшення рівня пульсацій до $V_{O_{pp}} = 5 \text{ мВ}$ необхідно збільшити ємність вихідного конденсатора до $C_o = 1000 \text{ мкФ}$.

Література

1. S. Ebrahimi, M. Taghavi, F. Tahami and H. Oraee, "A single-phase integrated bidirectional plug-in hybrid electric vehicle battery charger", IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Dallas, TX, USA, 2014, pp. 1137-1142.
2. J. G. Pinto, V. Monteiro, H. Gonçalves and J.L. Afonso, "Onboard Reconfigurable Battery Charger for Electric Vehicles With Traction-to-Auxiliary Mode", in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 63, no. 3, pp. 1104-1116, March 2014.
3. K. Fahem, D.E. Chariag and L. Sbita, "On-board bidirectional battery chargers topologies for plug-in hybrid electric vehicles", 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS), Hammamet, Tunisia, 2017, pp. 1-6.
4. G.B. Sahinler and G. Poyrazoglu, "V2G Applicable Electric Vehicle Chargers, Power Converters & Their Controllers: A Review", 2020 2nd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), Izmir, Turkey, 2020, pp. 59-64.
5. C.-Y. Hung, J.-C. Wu, Y.-L. Chen and H. -L. Jou, "A grid-connected battery charger with power factor correction", 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Hefei, China, 2016, pp. 1446-1452

References

1. S. Ebrahimi, M. Taghavi, F. Tahami and H. Oraee, "A single-phase integrated bidirectional plug-in hybrid electric vehicle battery charger", IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Dallas, TX, USA, 2014, pp. 1137-1142.
2. J. G. Pinto, V. Monteiro, H. Gonçalves and J.L. Afonso, "Onboard Reconfigurable Battery Charger for Electric Vehicles With Traction-to-Auxiliary Mode", in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 63, no. 3, pp. 1104-1116, March 2014.
3. K. Fahem, D.E. Chariag and L. Sbita, "On-board bidirectional battery chargers topologies for plug-in hybrid electric vehicles", 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS), Hammamet, Tunisia, 2017, pp. 1-6.
4. G.B. Sahinler and G. Poyrazoglu, "V2G Applicable Electric Vehicle Chargers, Power Converters & Their Controllers: A Review", 2020 2nd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), Izmir, Turkey, 2020, pp. 59-64.
5. C.-Y. Hung, J.-C. Wu, Y.-L. Chen and H. -L. Jou, "A grid-connected battery charger with power factor correction", 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Hefei, China, 2016, pp. 1446-1452