

УДК 621.472

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.65.112>

## РЕЖИМИ РОБОТИ ПІДВИЩУЮЧОГО ПОСТІЙНУ НАПРУГУ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОДУЛЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

**В.О. Войтех**, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Берестейський, 56, Київ, 03057, Україна  
e-mail: [vvoitek@gmail.com](mailto:vvoitek@gmail.com)

Досліджено процеси в підвищуючому постійну напругу перетворювачі, як елемента енергетичного модуля, що живиться від відновлюваних джерел енергії постійної напруги від 30 до 350 В. Розглянуто основні режими роботи (безперервний та переривчастий), а також різні варіанти співвідношень між тривалістю інтервалів замикання силового ключа перетворювача, вхідної напруги, параметрами дроселя і навантаження. Наведено графіки, що відображають процеси в перетворювачі. Бібл. 3, рис. 2., табл. 2.

**Ключові слова:** перетворювач, дросель, осердя, навантаження, відновлювані джерела енергії.

В умовах терористичних атак Росії на енергосистему України важливими стають розподільна генерація та можливість роботи малих електростанцій із відновлюваними джерелами. Дослідна експлуатація гібридного інвертора енергетичної комірки потужністю 2.5 кВт, розробленого та виготовленого в Інституті електродинаміки НАН України, довела можливість генерації біля 3000 кВт/год електроенергії за рік [1]. Перевагою такого інвертора є можливість генерації як за наявності загальної мережі, так і за відсутності електроенергії. Структурна схема розробленого гібридного інвертора наведена на рис. 1.

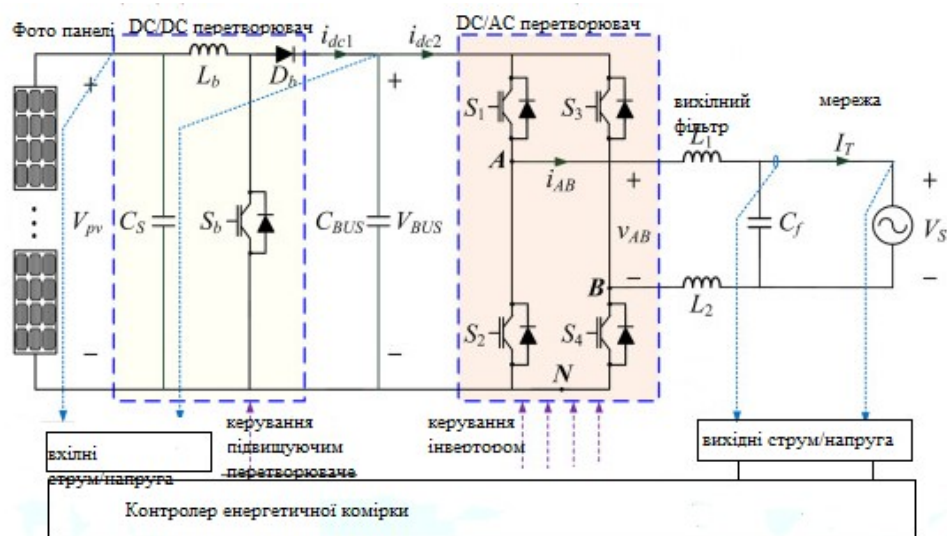


Рис. 1

Вхідна напруга може змінюватись у діапазоні від 0 до 350 В, залежно від типу та кількості фотоелектричних панелей, яка DC/DC перетворювачем підвищується до значення, близького до амплітуди мережевої, а потім DC/AC перетворюється в 220 В 50 Гц автономну, або мережеву. Перетворювач DC/DC може працювати в режимі безперервного або переривчастого струму дроселя. У безперервному режимі струм протікає в дроселі протягом усього циклу комутації. У переривчастому режимі струм у дроселі дорівнює нулю для частини циклу комутації. Особливістю фотоелектричних панелей є залежність вихідної напруги від струму, тому для нормальної роботи енергетичного модуля й забезпечення режиму MPPT бажано, щоб струм у дроселі не зменшувався до нуля, тобто був безперервним [2]. Спрощену електричну схему та діаграми роботи підвищуючого перетворювача для безперервного режиму роботи наведено на рис. 2.

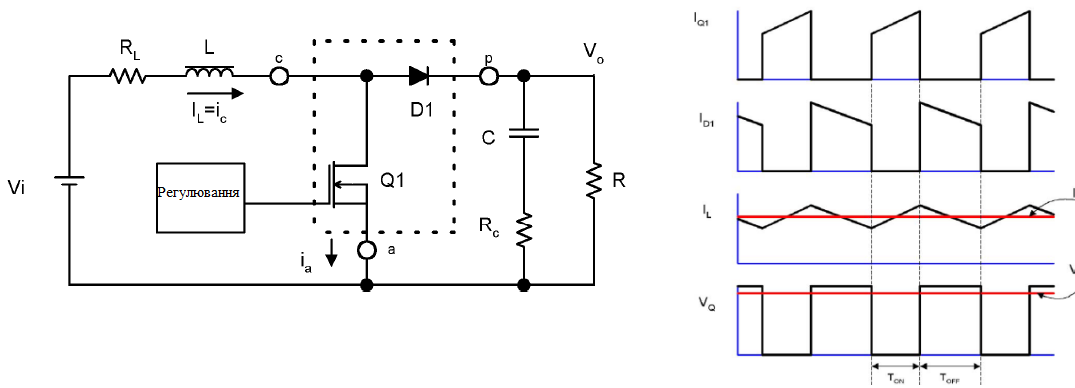


Рис. 2

Напруга на навантаженні у безперервному режимі [3]

$$V_o = (V_i - I_L * R_L) * \left(1 - \frac{T_{on}}{T_{off}}\right) - V_d - V_Q * \left(\frac{T_{on}}{T_{off}}\right) \tag{1}$$

Вводимо змінну D:

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_s} \quad \text{та} \quad (1 - D) = \frac{T_{off}}{T_s}$$

причому  $T_s = T_{on} + T_{off}$ , що виконується тільки для безперервного режиму.

Тоді для сталого стану (1) набуде вигляду:

$$V_o = \frac{V_i - I_L * R_L}{1 - D} - V_d - V_Q * \frac{D}{1 - D} \tag{2}$$

Вищевказане співвідношення доводить, що значення  $V_o$  можна регулювати, змінюючи робочий цикл D, і воно завжди більше за вхідну напругу, оскільки D – число між 0 і 1. Значеннями  $V_Q$ ,  $R_L$  і  $R_C$  нехтуємо. Тоді наведене рівняння значно спрощується:

$$V_o = \frac{V_i}{1 - D} \tag{3}$$

А струм через дросель відносно струму навантаження:

$$I_{L(av)} = \left(\frac{I_o}{1 - D}\right) \tag{4}$$

Попередній аналіз роботи підвищувача перетворювача проводився для безперервного та переривчастого режимів за стаціонарної роботи. Робота перетворювача залежить від вхідної та вихідної напруги; вихідного струму та параметрів дроселя. Діапазон вхідної напруги, вихідна напруга та струм навантаження визначаються потужністю, а значення індуктивності та тип дроселя є головним параметром для розрахунку та проектування перетворювача, що працює в найбільш ефективному режимі – безперервному. Мінімальне значення індуктивності дроселя для підтримки режиму безперервної провідності визначається наведеною нижче процедурою.

Спочатку визначається  $I_{OB}$  (струм навантаження), як мінімальний вихідний струм для підтримки безперервної провідності, що зазвичай називають критичним струмом. Для його забезпечення повинна виконуватись вимога для значення струму навантаження та індуктивності дроселя:

$$I_{OB} \geq \frac{V_o * D * (1 - D)^2 * T_s}{2 * L} \quad L_{min} \geq \frac{V_o * D * (1 - D)^2 * T_s}{2 * I_{OB}}$$

Тобто, значення індуктивності дроселя залежить від вихідної напруги  $V_o$  та струму  $I_{OB}$  перетворювача; періоду комутації транзистора  $T_s$  та діапазона регулювання сквапності імпульсів керування D.

Суттєвим недоліком перетворювачів є висока ймовірність виходу з ладу силового транзистору в разі несанкціонованого замикання, внаслідок чого для джерел напруги з малим внутрішнім опором (акумулятори, обертові генератори і т.ін.) виникають аварійні значення

струму. Для фотоелектричних панелей з характеристиками, близькими до джерел струму, цей недолік відсутній, бо навіть у разі короткого замикання струм збільшується тільки на 10–15 %. Тому під час використання в системах із фотоелектричними панелями підвищуючий перетворювач у складі енергетичного модуля має високу надійність та збереження властивих йому переваг (простота конструкції та алгоритмів керування, мала вартість).

У більшості випадків як матеріалу для осердя дроселя L використовуються ферит, альсифер, шихтоване або розпилене залізо. Із наведених матеріалів ферит має найменше значення індукції, нелінійні температурні характеристики й відносно високу вартість, що обмежує його використання як осердя дроселя підвищуючих перетворювачів постійної напруги для енергетичного модуля. Тому вибір необхідно робити між розпилим, шихтованим залізом та альсифером. У табл. 1 наведено порівняльні розрахункові характеристики дроселів для підвищуючого перетворювача постійної напруги енергетичного модуля потужністю 2.5 кВт, виготовлених на осердях із розпиленого, шихтованого заліза та альсиферу.

Як видно з результатів розрахунку, втрати в альсифері в 3 рази менші, ніж у розпиленому, або шихтованому залізі. Водночас вартість осердя з альсиферу в 4 рази вище.

Таблиця 1

	Розпилене залізо	Альсифер	Шихтоване залізо
Тип осердя	T250-52	KS250060 2 у паралель	Ш-образне із зазором 1мм
Індуктивність, мГн	50	50	50
Число витків обмотки	150	200	100
Амплітуда індукції, Т	0,3	0,28	1.2
Потужність втрат у сердечнику, Вт	15	5	12
Потужність втрат у обмотці, Вт	18	26	13
Повна потужність втрат, Вт	32	31	25
Очікувана температура перегріву, град Цельсія	40	38	35
Ккд (без урахування втрат в обмотці), %	89	91	87
Частота струму, кГц	30	30	30
Об'єм осердя, см <sup>3</sup>	48,5	94	81
Вартість осердя, грн	160	480	120

Таблиця 2

Кількість панелей	V <sub>in</sub> , В макс	Вхідна потужність, Вт	I <sub>out</sub> , А	Вихідна потужність, Вт	Потужність втрат, Вт	ККД, %	Сквапність імпульсу
1	35	350	0.9	283	67	80	0.88
2	70	700	2	636	64	90	0.79
3	105	1050	3.1	988	62	94	0.69
4	140	1400	4.2	1339	61	95	0.59
5	175	1750	5.3	1692	58	96	0.49
6	210	2100	6.5	2045	55	97	0.39
7	245	2450	7.6	2396	54	97.7	0.29
8	280	2800	8.7	2748	52	98	0.19
9	315	3150	9.8	3100	50	98.4	0.08

**Висновки.** 1. Значення індуктивності дроселя вибирають, виходячи з умови забезпечення безперервного режиму струму, що споживається від відновлюваних джерел енергії.

2. Осердя дроселя може бути виконано з розпиленого або шихтованого заліза.

3. ККД підвищуючого постійну напругу перетворювача збільшується відповідно до кількості фотоелектричних панелей і досягає максимуму при 9.

Фінансується за держбюджетною темою «Дослідження та розробка спеціалізованих магнітно-напівпровідникових імпульсних пристроїв силової електроніки та засобів їх живлення від відновлюваних джерел енергії порівняної потужності та зі смарткеруванням» (шифр «ДОМЕН2»), що виконується за Постановою Бюро ВФТПЕ НАН України від 09.07.2020 р., протокол № 6. Державний реєстраційний номер теми 0120U105674

1. Войтех В.О. Результати експлуатації дослідного зразка гібридної дахової електростанції потужністю 2.5кВт. Відновлювальна енергетика та енергоефективність у XXI столітті. *Матеріали XXIII науково-практичної конференції*. Київ. 19-20 травня 2022. С. 168–170.
2. Войтех В.О., Волков І.В. Гібридна система електропостачання. Патент України №125948, 2022.
3. Войтех В.О. Безтрансформаторний підвищуючий перетворювач постійної напруги для відновлювальних джерел енергії. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2017. Вип. 46. С. 56–59. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2017.46.056>

## RENEWABLE ENERGY SOURCES ENERGY MODULE INCREASING DC VOLTAGE CONVERTER OPERATION MODES

**V.O. Voitek**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Beresteiskiy ave., 56, Kyiv, 03057, Ukraine  
e-mail: [vvoitek@gmail.com](mailto:vvoitek@gmail.com)

*The processes in the step-up DC voltage converter, as an element of the power module powered by DC voltage renewable energy sources 30 to 350 V, were studied. The main modes of operation (continuous and intermittent) were considered, as well as various options for ratios between the duration of the closing intervals of the power switch of the converter, input voltage, choke and load parameters. Graphs showing the processes in the converter are given. Ref. 3, fig. 2, tables 2.*

**Keywords:** converter, choke, core, load, renewable energy sources.

1. Voitek V.O. Results of the operation of the prototype hybrid roof power plant with a capacity of 2.5 kW. *Proc. 23 Scientific and practical conference Renewable energy and energy efficiency in the 21st century*. Kyiv. May 19–20 2022. Pp. 168–170. (Ukr)
2. Voitek V.O., Volkov I.V. Hybrid power supply system Patent UA No 125948, 2022. (Ukr)
3. Voitek V.O. Transformless DC upconverter for renewable energy. *Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. 2017. Vol. 46. Pp. 56–59. (Ukr) DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2017.46.056>

Надійшла: 31.05.2023

Прийнята: 20.06.2023

Submitted: 31.05.2023

Accepted: 20.06.2023