

ЕЛЕКТРИЧНІ ТА НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

УДК 621.472

БЕЗТРАНСФОРМАТОРНИЙ ПІДВИЩУЮЧИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

В.О. Войтех, канд. техн. наук
 Інститут електродинаміки НАН України,
 пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680 Україна
 e-mail: vladvoitek@ukr.net

Наведено схему заміщення та електричні характеристики фотоелектричної панелі, розглянуто переваги і недоліки послідовного з'єднання панелей та використання окремого мікроінвертора для кожної панелі. Представлено схему, принцип роботи та математичні рівняння boost-перетворювача для відновлюваної енергетики, наведено вирази для розрахунку індуктивності та ємності. Проведено аналіз використання розпиленого заліза, альсифера та ферита як осердя дроселя та їх електричних характеристик, наведено результати розрахунку дроселя boost-перетворювача з кількістю фотоелектричних панелей до 10. Бібл. 4, рис. 7, таблиця.

Ключові слова: boost-перетворювач, фотоелектрична панель, інвертор, мікроконтролер, відновлювані джерела енергії, індуктивність, розпилене залізо, альсифер, втрати, осердя.

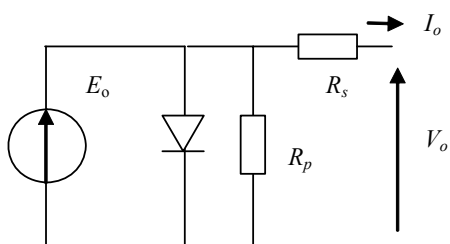


Рис. 1

Фотоелектричні панелі є найбільш поширеними відновлюваними джерелами енергії. Спрощена схема заміщення фотоелектричного елемента [3] показана на рис. 1.

Окремі елементи з'єднуються паралельно-послідовно у фотоелектричну панель, електричні характеристики якої наведено на рис. 2.

Максимальна потужність, що може бути генерована панеллю, як правило, досягається на рівні 80 % від напруги холостого ходу і 90 % від струму короткого замикання (КЗ).

Струм КЗ майже пропорційний освітленню, тоді як напруга холостого ходу може впасти на 10 % з падінням освітленості на 80 %. Панелі більш низької якості, або затемнені мають більш швидке падіння напруги при збільшенні струму, що призводить до зменшення корисної потужності панелі від 70 до 50 % або навіть до 25 %. Тому, чим більшу кількість фотоелектричних панелей буде з'єднано послідовно, тим меншим буде загальний ККД. З іншого боку, вартість системи, побудованої з окремих фотоелектричних панелей, кожна з яких підключена до свого мікроінвертора, що потім з'єднуються паралельно, набагато вища, ніж для системи з послідовно з'єднаними панелями та одним ін-

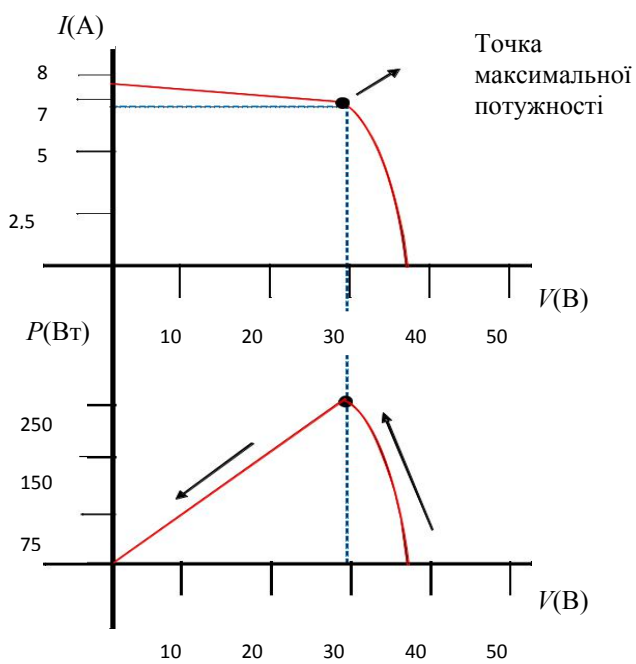


Рис. 2

вертором [1]. З рис. 2 видно, якщо кількість послідовно з'єднаних панелей менша 10, то вихідна напруга у точці максимальної потужності менша 300 В, що не дає змоги здійснити пряме підключення до автономного або мережевого інвертора. Тому для підвищення вихідної напруги фотоелектричних панелей до рівня амплітуди мережевої використовують спеціальні перетворювачі [2]. Розглянемо використання у якості підвищуючого *boost*-перетворювач постійної напруги.

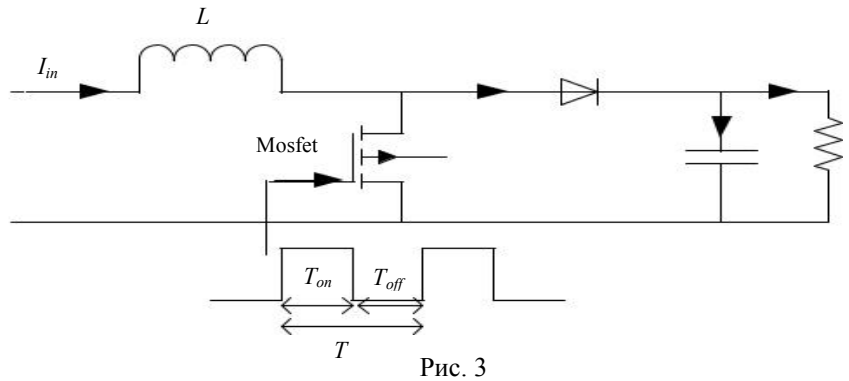


Рис. 3

Схема такого перетворювача зображена на рис. 3. Для неї використовуються два режими роботи: перший з них – це режим при замкненні *Mosfet* (T_{on}), коли енергія накопичується у дроселі L , і другий – при розмиканні *Mosfet* (T_{off}), коли енергія, накопичена у дроселі, передається у навантаження. Електричні схеми для цих режимів зображені на рис. 4 а, б.

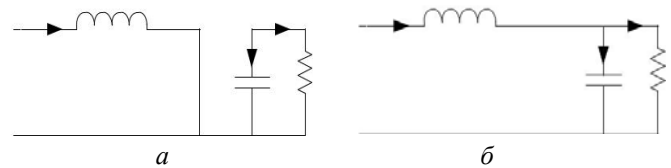


Рис. 4

Напруга на дроселі при замиканні *Mosfet* має вид

$$V_l = L \frac{di}{dt}; \tag{1}$$

приріст струму на дроселі у кінці T_{on} –

$$\Delta I = \frac{V_s}{L} T_{on}; \tag{2}$$

середня вихідна напруга на навантаженні –

$$V_{out} = V_s + L \frac{\Delta I}{T_{off}} = V_s \left(1 + \frac{T_{on}}{T_{off}} \right) = V_s \left(\frac{1}{1-K} \right). \tag{3}$$

де $K = 1 - \frac{T_{off}}{T_{on} + T_{off}}$ – коефіцієнт заповнення імпульсу.

З рівняння (3) можна зробити такі висновки: напруга на навантаженні може бути збільшена шляхом зміни значення K ; Мінімальна вихідна напруга V_s виходить, коли $K = 0$; перетворювач не може працювати при $K = 1$; для значень K , близьких до одиниці, вихідна напруга змінюється нелінійно.

На рис. 5 представлено залежність вихідної напруги від значення K .

Для розрахунку індуктивності L використовується рівняння [4]

$$L = \frac{V_{in} D}{\Delta I_1 F_s}, \tag{4}$$

де $D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$; F_s – частота комутації *Mosfet*. Вихідний конденсатор розраховується за формулою

$$C_{out} = \frac{D}{F_s V_l R_{out}}, \tag{5}$$

де R_{out} – вихідне навантаження.

Суттєвим недоліком *boost*-перетворювачів є висока ймовірність виходу з ладу *Mosfet* при несанкціонованому замиканні транзистора (рис. 3), внаслідок чого

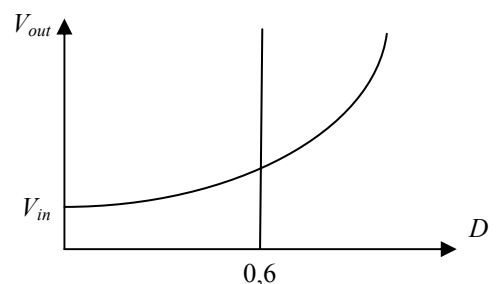


Рис. 5

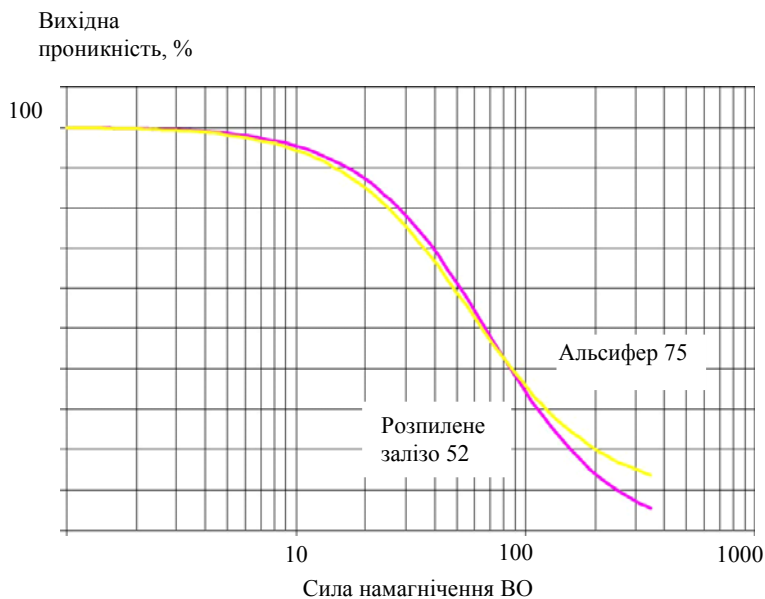


Рис. 6

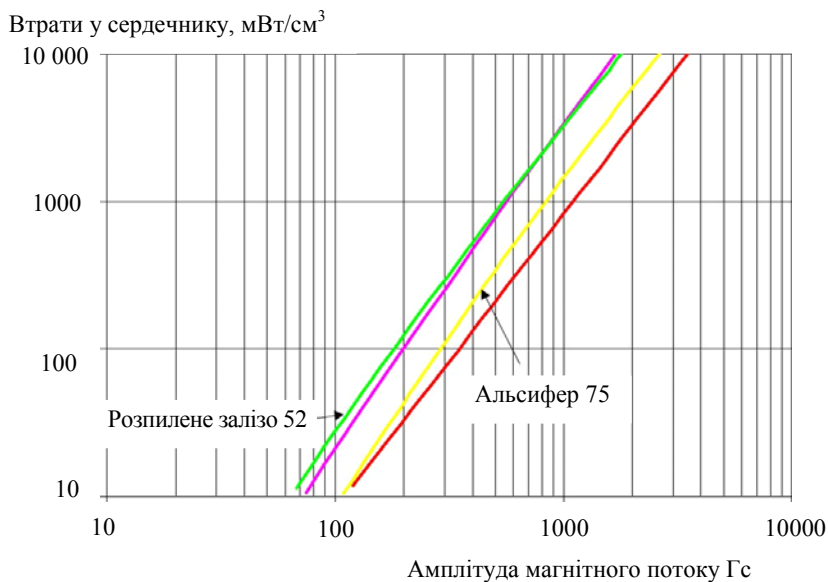


Рис. 7

boost-перетворювачів для розпиленого заліза 52 та альсифера 75. Приблизно до 100 ВО характеристики подібні, при перевищенні сили, що намагнічує, розпилене залізо 52 має дещо кращі характеристики.

На рис. 7 наведено характеристики втрат у сердечниках залежно від амплітуди магнітного потоку при частоті 100 кГц. Видно, що у альсифері ці втрати приблизно у 3-4 рази менші, ніж у розпиленого заліза 52.

У таблиці наведено порівняльні розрахункові характеристики дроселів для підвищуючого перетворювача постійної напруги відновлюваних джерел енергії, виготовлених на осердях з розпиленого заліза та альсифера. З результатів розрахунку видно, що осердя мають близькі параметри (число витків, розмір, ККД), разом з тим втрати в альсифері у чотири рази менші, ніж у розпиленому залізі. При цьому вартість осердя з альсифера у п'ять разів вища за аналогічне осердя з аморфного заліза.

Висновки. 1. *Boost*-перетворювачі здатні забезпечити збільшення напруги фотоелектричних панелей з 30 до 300 В постійного струму, необхідних для генерування енергії в автономну або загальну електричну мережу без використання трансформатора.

для джерел напруги з малим внутрішнім опором (акумулятори, обертові генератори і т.д.) виникають аварійно-великі значення струму. Для фотоелектричних панелей з характеристиками, представленими на рис. 2, цей недолік відсутній, бо навіть при КЗ струм збільшується тільки на 10...15 %. Тому при використанні у системах з фотоелектричними панелями *boost*-перетворювач має високу надійність при збереженні властивих йому переваг (простота конструкції та алгоритмів керування, мала вартість).

Найчастіше як матеріал для осердя дроселя L використовуються ферит, альсифер (*Sendust*) або розпилене залізо (*Iron Powder*). Ферит має найменше значення індукції, нелінійні температурні характеристики і відносно високу вартість, що обмежує його використання у якості осердь дроселів *boost*-перетворювачів постійної напруги для відновлюваної енергетики [2]. Тому вибирати треба або розпилене залізо, або альсифер.

На рис. 6 наведені характеристики насичення постійним струмом дроселів для

	Розпилене залізо	Альсифер
Тип сердечника	T200-52	KS200060
Кількість витків обмотки	50	48
Амплітуда індукції, Т	0,3	0,28
Потужність втрат в осерді, Вт	3,1	0,74
Потужність втрат у обмотці, Вт	2,8	2,6
Повна потужність втрат, Вт	5,9	3,34
Очікувана температура перегріву, °С	40	24
ККД (без урахування втрат в обмотці), %	99,1	99,2
Частота струму, кГц	100	100
Об'єм осердя, см ³	16,5	16,5
Вартість осердя, грн	32	151

2. Для фотоелектричних панелей, що мають значення струму КЗ лише на 10 % більше за номінальне, несанкціоноване включення *Mosfet* не призводить до аварійно-високих значень струму КЗ, тому при використанні у системах з фотоелектричними панелями boost-перетворювачі мають високу надійність.

3. Використання розпиленого заліза у якості сердечника дроселя boost-перетворювача є більш доцільним у порівнянні з альсифером, бо він у п'ять разів дешевше, маючи на цих частотах практично такі ж електричні характеристики.

1. *Войтех В.О.* Энергетичні комірки для відновлюваних джерел енергії // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2016. – Вип. 44. – С. 29–34.
2. *Mohan N., Undeland T. M. and Robbins W. P.* Power Electronics: Converters, Applications, and Design (John Wiley & Sons Inc, Hoboken, NJ, 2003).
3. *Neamen*, Semiconductor Device Physics: Basic Principles, 4th ed. (McGraw-Hill, New York, NY, USA, 2012).
4. *Wang J., Peng F.Z., Anderson J., Joseph A., Buffenbarger R.* Low cost fuel cell converter system for residential power generation // IEEE Trans. On Power Electronics. –Vol. 19, No. 5. – P. 1315–1322, Sep. 2004

УДК 621.472

В.А. Войтех, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03057, Україна

Бестрансформаторный повышающий преобразователь постоянного напряжения для возобновляемых источников энергии

Приведены схема замещения и электрические характеристики фотоэлектрической панели, рассмотрены преимущества и недостатки последовательного соединения панелей и использование отдельного микроинвертора для каждой панели. Представлены схема, принцип работы и математические уравнения boost-преобразователя для возобновляемой энергетики, приведены выражения для расчета индуктивности и емкости. Проведен анализ использования распыленного железа, альсифера и феррита в качестве сердечника дросселя и их электрических характеристик, приведены результаты расчета дросселя boost-преобразователя с числом фотоэлектрических панелей до 10. Библ. 4, рис. 7, таблица.

Ключевые слова: boost-преобразователь, фотоэлектрическая панель, инвертор, микроконтроллер, возобновляемые источники энергии, индуктивность, распыленное железо, альсифер, потери, сердечник.

V.O.Voitek

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine

Transformless DC upconverter for renewable energy

Photovoltaic panels scheme and electrical characteristics have showed, advantages and disadvantages serial panels connection and use of separate microinverter for each panel have considered. Boost-converter for renewable energy scheme, the working principles, mathematical equations and expressions for calculation of inductance and capacitance have presented. Analysis of iron powder, sendust and ferrite using as materials for inductor core and their electrical characteristics have made, the calculation results for boost-converter inductor with the number of photovoltaic panels to 10 have showed. References 4, figures 7, table.

Key words: boost-converter, photovoltaic panels, inverter, microcontroller, renewable energy, inductance, iron powder, sendust, loss, core.

Надійшла 20.02.2017

Received 20.02.2017