

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційних систем та технологій



2-а Міжнародна науково-практична конференція

«ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ:
РЕЗУЛЬТАТИ І ПЕРСПЕКТИВИ»
(IST 2025)



5 березня 2025 р.

ІНВЕРТОРНИЙ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Павло Ковальчук, Юлій Бойко, Леся Карпова

Анотація. Розглянуто фазозсувний повномостовий DC-DC перетворювач із подвоювачем напруги для застосування у відновлюваних джерелах енергії. Обґрунтовано необхідність використання подвоювача напруги для підвищення вихідної напруги порівняно з традиційним PSFB-перетворювачем. Описано принцип роботи перетворювача на частоті 20-25 кГц, що дозволяє підвищити щільність потужності завдяки одиничному коефіцієнту витків розділювального трансформатора. Проведено порівняльний аналіз запропонованої схеми та класичного повного мостового перетворювача з фазовим зсувом, зокрема розглянуто ефективність та розміри трансформатора.

Ключові слова: імпульсні джерела живлення, енергетична ефективність, перетворювачі напруги.

I. ВСТУП

У сучасних інформаційних системах і технологіях важливу роль відіграють ефективні системи енергопостачання, які забезпечують стабільну роботу електронних пристроїв. Зокрема, імпульсні джерела живлення широко застосовуються в промислових та телекомунікаційних системах, обчислювальній техніці, медичному обладнанні та інших високотехнологічних галузях. В умовах постійного зростання вимог до енергоефективності, зменшення габаритів та підвищення надійності електронних систем розробка високоефективних схем імпульсних перетворювачів стає особливо актуальною [1, 2].

Імпульсні джерела живлення використовуються для стабілізації напруги постійного струму в промислових електронних пристроях. Звичайні імпульсні перетворювачі, що працюють за принципом жорсткого перемикання, мають значні втрати енергії під час комутації силових ключів, що знижує загальний коефіцієнт корисної дії системи.

З огляду на вартість і складність схемотехнічної реалізації, у низькопотужних застосуваннях використовують зворотні та прямі перетворювачі, тоді як для середньої потужності зазвичай застосовується напівмостовий перетворювач. Напівмостова схема має нижчу вартість порівняно з повномостовою, однак у системах середньої та високої потужності повномостовий перетворювач демонструє вищу продуктивність.

Для підвищення ефективності роботи комутаційних схем застосовують методи м'якого перемикання, зокрема технології перемикання при нульовій напрузі та перемикання при нульовому струмі. Одним із перспективних рішень є повномостовий перетворювач з фазовим зсувом, що дозволяє реалізувати перемикання при нульовій напрузі, використовуючи індуктивність витoku трансформатора та паразитну ємність силових ключів. Це значно знижує втрати під час комутації, підвищує загальний коефіцієнт корисної дії та сприяє мінімізації теплових навантажень на силові компоненти.

Розробка таких схем є важливим напрямом досліджень у сфері інформаційних систем та технологій, оскільки ефективні імпульсні перетворювачі енергії дозволяють створювати більш продуктивні, компактні та економічні електронні пристрої для широкого спектра застосувань.

II. ДАНІ ТА МЕТОДИ

Перетворювач з фазовим зсувом широко використовується у високовольтних та високопотужних системах завдяки його простій конструкції та здатності до комутації при нульовій напрузі. Однак повна реалізація цього режиму можлива лише в обмеженому діапазоні навантажень і вхідних напруг. Для розширення діапазону роботи при нульовій

напрузі зазвичай додають додаткову індуктивність у первинну обмотку трансформатора або застосовують допоміжні резонансні кола [3].

Класичні повномостові перетворювачі з фазовим зсувом мають дві ключові проблеми. Перша – необхідність підвищення коефіцієнта трансформації високочастотного трансформатора для досягнення великого коефіцієнта підсилення напруги, що призводить до збільшення розмірів трансформатора та зменшення щільності потужності. Друга – зростання індуктивності витoku трансформатора при збільшенні кількості витків вторинної обмотки, що негативно впливає на динамічні характеристики перетворювача.

Для подолання цих недоліків розглядається повномостовий перетворювач з фазовим зсувом, доповнений випрямлячем-подвоювачем напруги. Використання подвоювача напруги дає змогу підвищити коефіцієнт підсилення без необхідності збільшення коефіцієнта трансформації. Для зниження струмових коливань, спричинених прямим підключенням випрямляча-подвоювача до трансформатора, між ними вводять додатковий індуктивний елемент. Цей індуктор також виконує функцію резонансного елемента, що забезпечує розширений діапазон роботи при нульовій напрузі, усуваючи обмеження, які притаманні класичним перетворювачам, де використовується лише індуктивність витoku трансформатора.

Запропонована схема повномостового перетворювача з фазовим зсувом представлена на рисунку 1. Для зменшення розмірів і маси розділового трансформатора у вторинному колі використано випрямляч-подвоювач напруги замість традиційної діодної випрямної схеми.

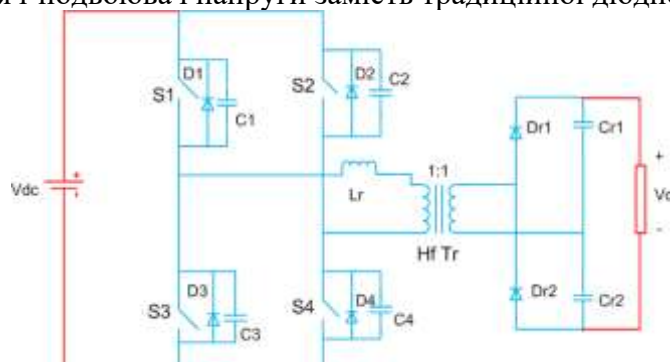


Рисунок 1. Схема повномостового перетворювача з фазовим зсувом

Для проведення аналізу роботи перетворювача в стаціонарному режимі прийнято низку ідеалізованих припущень. Зокрема, вважається, що всі комутаційні елементи (силові транзистори) є ідеальними, а паразитні ємності, пов'язані з комутуючими елементами (позначені як C1–C4), мають однакові значення. Також передбачається, що внутрішні діоди (D1–D4), які присутні в структурі силових ключів, ідентичні за параметрами. Вихідна напруга перетворювача в аналізі приймається постійною. Ці ідеалізації дозволяють значно спростити математичну модель і зробити розрахунки більш зручними для отримання попередніх результатів. Проте реальна робота перетворювача може дещо відрізнятись через вплив паразитних параметрів, таких як індуктивності витoku трансформатора, які не враховуються в спрощеній моделі.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ

У запропонованій схемі реалізовано підхід до підвищення ефективності перетворення електроенергії шляхом використання випрямляча з подвоювачем напруги замість традиційного повнохвильового випрямляча на вторинній стороні трансформатора. Така модифікація дозволяє зменшити габарити трансформатора та підвищити коефіцієнт корисної дії системи за рахунок зниження втрат енергії у випрямлячі.

У цій схемі вторинна обмотка трансформатора безпосередньо підключена до випрямляча з подвоєнням напруги, як показано на рисунку 2. Осцилограма вихідного сигналу наведена на рисунку 3. Проведено вимірювання вхідних та вихідних параметрів, згідно з якими вихідна напруга виявилася приблизно вдвічі більшою за вхідну. Це дозволяє досягти вищої щільності потужності без необхідності збільшення кількості витків вторинної обмотки, що позитивно позначається на розмірах та вартості пристрою.

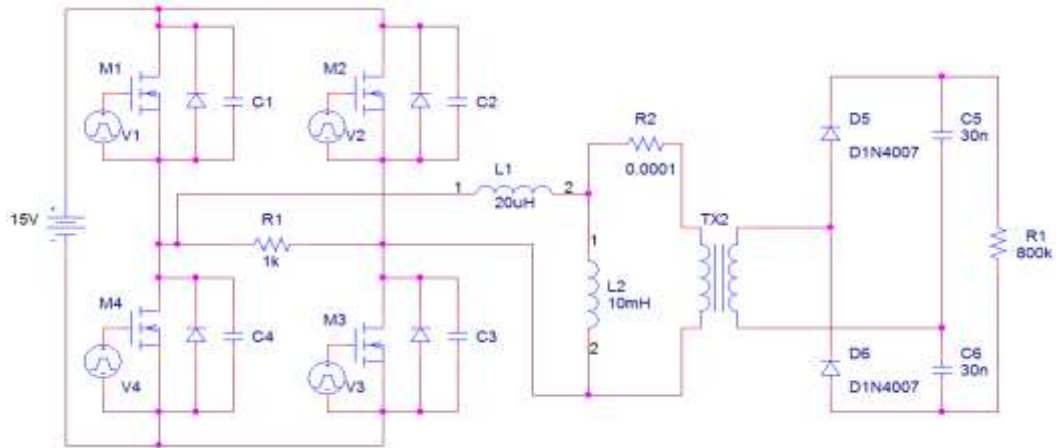


Рисунок 2. Схема моделювання повномостового перетворювача з фазовим зсувом

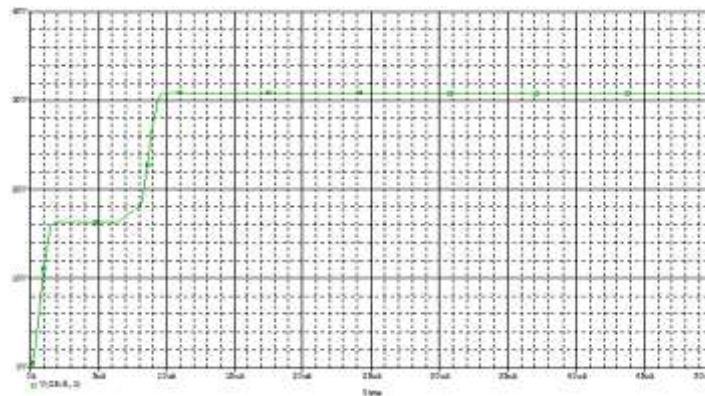


Рисунок 3. Осцилограма вихідного сигналу стандартного повномостового перетворювача з фазовим зсувом

Аналізуючи отриману осцилограму, можна помітити, що напруга величиною 12 вольт перетворюється на 24 вольти при співвідношенні кількості витків первинної та вторинної обмоток трансформатора 25:25 (1:1). Це досягається завдяки використанню випрямляча з подвоювачем напруги, що значно покращує ефективність перетворення. У порівнянні зі стандартними перетворювачами, запропонована схема забезпечує вищу щільність потужності та підвищений коефіцієнт корисної дії, що дозволяє зменшити розміри та вагу пристрою без зниження його продуктивності.

Такий підхід є перспективним для застосувань в інформаційних системах та технологіях, де важливими є компактність та ефективність енергозабезпечення [4]. Висока щільність потужності та знижені енергетичні втрати відкривають нові можливості для розвитку енергоефективних систем у різних сферах, включаючи мобільні пристрої, відновлювану енергетику та високотехнологічні пристрої з обмеженими ресурсами. Запропонована схема може стати основою для розробки більш ефективних і економічних рішень у галузі інформаційних технологій

IV. ОБГОВОРЕННЯ ТА ВИСНОВКИ

На основі аналізу розглянутої схеми перетворювача можна зробити висновок, що використання випрямляча з подвоювачем напруги замість традиційного повнохвильового випрямляча дозволяє значно підвищити ефективність перетворення енергії, зменшити розміри трансформатора та знизити енергетичні втрати. Така схема підвищує коефіцієнт корисної дії та щільність потужності, що робить пристрій більш компактним та економічним. Це відкриває нові можливості для застосування в різних інформаційних системах та технологіях, зокрема в електронних пристроях, що працюють в умовах обмежених ресурсів та високих вимог до ефективності енергозабезпечення. Таким чином, розглянута схема має великий потенціал для покращення енергетичної ефективності в різних сферах.

ДЖЕРЕЛА

1. Sype, D.M., Bossche, A.P.M., & Melkebeek, J.A (2002). Gate-drive circuit for zero-voltage-switching half-and full-bridge converters. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 38(5), 1380–1388.
2. Sabate, J.A., Vlatkovic, V., Ridley, R.B., & Lee, F.C. (1991). High-voltage high-power ZVS full-bridge PWM converter employing an active snubber. In: *Sixth Annual Applied Power Electronics Conference and Exhibition (APEC '91)* (pp. 158–163), IEEE Press.
3. Rajesh, R., Prabaharan, N, & Santhosh, T. K. (2023). Design and Analysis of a Non-Isolated DC-DC Converter With a High-Voltage Conversion Ratio. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. 70(6), 2036-2041.
4. Martynyuk, V. V., Voynarenko, M. P., Boiko, J. M. & Svistunov, O. (2021). Simulation of photovoltaic system as a tool of a state's energy security. *International Journal of Engineering*, 34(2), 487-492.



ПАВЛО КОВАЛЬЧУК

здобувач ступеню бакалавра з телекомунікацій та радіотехніки, група TP2-21-1, у Хмельницькому національному університеті (Хмельницький, Україна).

E-mail: boiko_julius@ukr.net



ЮЛІЙ БОЙКО

д.т.н., професор, професор кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницький національний університет.

ORCID:0000-0003-0603-7827

E-mail: boykoym@khnmu.edu.ua



ЛЕСЯ КАРПОВА

к.т.н., доцент, доцент кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницький національний університет.

ORCID ID: 0000-0001-5015-2107

E-mail: rtlesya@gmail.com