



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **109238** (13) **U**  
(51) МПК (2016.01)  
**H02J 7/35** (2006.01)  
**H02M 3/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

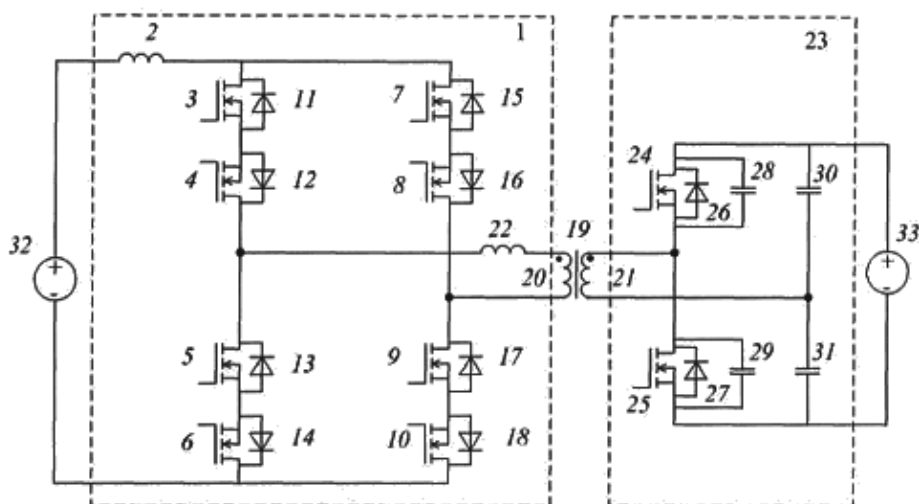
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

|  |                             |                     |  |
|--|-----------------------------|---------------------|--|
| (21) Номер заявки:   | <b>u 2015 07298</b>         | (72) Винахідник(и): | <b>Сокол Євген Іванович (UA),<br/>Івахно Володимир Вікторович (UA),<br/>Замаруєв Володимир Васильович (UA),<br/>Стисло Богдан Олександрович (UA)</b> |
| (22) Дата подання заявки:                                  | <b>20.07.2015</b>           | (73) Власник(и):    | <b>Сокол Євген Іванович,<br/>вул. Сухумська, 24, кв. 72, м. Харків, 61141<br/>(UA)</b>   |
| (24) Дата, з якої є чинними<br>права на корисну<br>модель: | <b>25.08.2016</b>           |                     |  |
| (46) Публікація відомостей<br>про видачу патенту:          | <b>25.08.2016, Бюл.№ 16</b> |                     |  |

## (54) ОБОРОТНИЙ НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ В ПОСТІЙНУ ІЗ РОЗДІЛЕНОЮ КОМУТАЦІЄЮ

### (57) Реферат:

Оборотний напівпровідниковий перетворювач постійної напруги в постійну із розділеною комутацією підключений до джерела вхідної постійної напруги, яке має можливість приймати енергію при зміні знаку середнього вхідного струму, і включає в себе вхідний фільтр, силовий комутатор первинної ланки, силовий роздільний трансформатор, силовий комутатор вторинної ланки, вихідний фільтр, а вихід перетворювача підключений до навантаження, при цьому силовий комутатор первинної ланки має вхідний фільтр індуктивного характеру та виконаний за мостовою схемою інвертора струму на керованих ключах, а силовий комутатор вторинної ланки виконаний за схемою напівмостового автономного інвертора напруги на керованих ключах без зворотної блокуючої спроможності, що шунтовані зворотними діодами, наприклад MOSFET, і снаберними конденсаторами, та має вихідний ємнісний фільтр. Керовані ключі комутатора первинної ланки виконані у вигляді двох зустрічно-послідовно включених транзисторів MOSFET.



UA 109238 U



Корисна модель належить до галузей енергетики та електроніки і може бути використана при розробці напівпровідникових перетворювачів електричної енергії.

Серед існуючих технічних рішень перетворювачів постійної напруги в постійну, традиційною є структура, що має проміжну ланку підвищеної частоти. Вона складається із інвертора, виконаного на керованих силових напівпровідникових ключах (СНК) та некерованого випрямляча. Інвертор та випрямляч розділені між собою трансформатором для здійснення гальванічної розв'язки та узгодження рівнів напруг первинної та вторинної ланок [1]. Широко розповсюдженим алгоритмом керування ключами інвертора в таких випадках є алгоритм широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), що дозволяє за рахунок зміни відносної тривалості ввімкненого стану СНК змінювати середнє значення вихідної напруги. При величині вхідної напруги до 300-400 В як СНК первинної ланки використовуються польові транзистори з ізольованим затвором (MOSFET), а при напругах від приблизно 400 В і вище, приблизно до (3-4) кВ - біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT). Проте, при використанні таких схемних рішень відбувається примусова комутація керованих СНК первинної ланки, що супроводжується виділенням значної потужності динамічних втрат цих СНК, особливо при підвищених частотах ШІМ.

Вільними від зазначеного недоліку є резонансні інвертори. За рахунок наявного в їх схемі коливального контуру, комутація СНК відбувається природно (в нулях струму чи напруги), а отже втрати енергії на комутацію в СНК значно знижені [2]. Однак, наявність в схемі резонансного коливального контуру здорожує її та ускладнює керування таким перетворювачем.

В схемних рішеннях [3, 4] запропоновано схему перетворювача з розділеною комутацією. Таке схемне рішення дозволяє підвищити ККД перетворювача, зменшивши енергію втрат у СНК лише за рахунок відповідного алгоритму керування ключами, без наявності резонансного коливального контуру.

Схемне рішення [3], в якому у перетворювачі з розділеною комутацією з автономним інвертором напруги (АШ) у первинній ланці, запропоновано використання у вторинній ланці перетворювача силового комутатора автономного інвертора струму (АІС) за мостовою схемою і відповідного алгоритму керування СНК. Однак, такому схемному рішення притаманна зміна знаку середньої напруги на вході перетворювача при зміні напрямку потоку енергії, що робить неможливим двосторонній обмін енергією в структурі "акумуляторна батарея-перетворювач-мережа постійного струму" без додаткової зміни схеми перетворювача.

Найбільш близьким до пропонованого, є схемне рішення [4]. Воно являє собою перетворювач з розділеною комутацією. Первинна ланка виконана за мостовою схемою АІС. Як СНК первинної ланки використовуються двоквadrантні ключі із зворотною блокуючою спроможністю, як такі використовуються транзистори MOSFET з послідовно включеним діодом. Вторинна ланка виконана за схемою інвертора напруги з вихідним ємнісним фільтром, при цьому як СНК вторинної ланки використовуються MOSFET транзистори (двоквadrантні СНК без зворотної блокуючої спроможності). Таке схемне рішення при використанні відповідного алгоритму керування ключами дозволяє підвищити ККД перетворювача за рахунок суттєвого обмеження комутаційних втрат СНК. Оскільки ключі силового комутатора первинної ланки вимикаються природно і їх комутаційні втрати вимикання наближені до нуля. Втрати вмикання також обмежені за рахунок наявності індуктивного снабера (як такий виступає індуктивність розсіювання трансформатора). Комутаційні втрати вмикання СНК вторинної ланки відсутні (відбувається природне вмикання), а комутаційні втрати вимикання можуть бути суттєво зменшені шляхом збільшення ємності снаберних конденсаторів, які шунтують ці керовані ключі.

Схемному рішення [4] також притаманна зміна знаку середньої напруги на вході силового комутатора при зміні напрямку потоку енергії. Крім цього СНК першої ланки, що складаються із послідовно з'єднаних транзистора і діода, мають підвищене падіння напруги у ввімкненому стані, що приводить до збільшення потужності статичних втрат в СНК.

Таким чином, в існуючих схемних рішеннях перетворювачів електричної енергії із розділеною комутацією зміна знаку потоку енергії (з виходу на вхід) супроводжується зміною знаку середньої напруги на вході перетворювача, що унеможливує їх використання в системах із накопичувачами електричної енергії без додаткових заходів; наявність послідовних діодів в СНК інвертора струму на базі MOSFET призводять до збільшення потужності статичних втрат. Задачею пропонованої корисної моделі є усунення зазначених недоліків.

Поставлена задача вирішується тим, що у оборотному напівпровідниковому перетворювачі постійної напруги в постійну з розділеною комутацією, який підключений до джерела вхідної постійної напруги, яке має можливість приймати енергію при зміні знаку середнього вхідного струму, і включає в себе вхідний фільтр, силовий комутатор первинної ланки, силовий

роздільний трансформатор, силовий комутатор вторинної ланки, вихідний фільтр, а вихід перетворювача підключений до навантаження, при цьому силовий комутатор первинної ланки має вхідний фільтр індуктивного характеру та виконаний за мостовою схемою інвертора струму на керованих ключах, а силовий комутатор вторинної ланки виконаний за схемою

напівмостового автономного інвертора напруги на керованих ключах без зворотної блокуючої спроможності, що шунтовані зворотними діодами, наприклад MOSFET, і снаберними конденсаторами, та має вихідний ємнісний фільтр, при цьому керовані ключі комутатора первинної ланки виконані у вигляді двох зустрічно-послідовно включених транзисторів MOSFET.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням. До складу перетворювача входять: перетворювач первинної ланки 1, який виконаний за схемою автономного інвертора струму і вміщує вхідний фільтр (дросель) 2 та силовий комутатор за мостовою схемою на чотириквadrантних керованих ключах 3-18, силовий роздільний трансформатор 19, що має дві обмотки 20-21 з приведеною до первинної обмотки індуктивністю розсіяння 22, перетворювач вторинної ланки 23, який виконаний за схемою автономного інвертора напруги і вміщує силовий комутатор за напівмостовою схемою на керованих двоквadrантних ключах (польових транзисторах з ізольованим затвором 24-25, шунтованими зворотними діодами 26-27, які входять до складу структури цих транзисторів), шунтованими снаберними конденсаторами 28-29, та ємнісного дільника напруги, що виконаний на конденсаторах 30-31, при цьому роль вихідного фільтра інвертора напруги виконують ці ж конденсатори. Вхід перетворювача приєднано до джерела постійної напруги 32, а вихід - до навантаження (джерело постійної напруги) 33.

Принцип функціонування перетворювача полягає в наступному.

Нехай на початку напівперіоду перетворення, при якому має місце передача енергії в навантаження, ввімкнені ключі 3, 4, 9, 10, а також 24 (12 та 26 також приймають участь у проведенні струму), при цьому напруга джерела 32 менша за напругу на обмотці 20. Конденсатор 28 розряджений, 29 заряджений до рівня напруги джерела 33, струм в колі комутатора 1 спадає.

Після закінчення цього інтервалу виконується ввімкнення ключів 5 і 6. Струм обмотки 20 спадає до нуля, як і струми транзисторів 9 і 10. На цьому інтервалі струми транзисторів 5 і 6 зростають по модулю. Відбувається переведення струму комутатора 1 з ключів 9 і 10 на ключі 5 і 6 (комутація вентилів). Швидкість спадання струму ключів, що вимикаються, обмежується величиною індуктивності розсіяння 22, що відіграє роль індуктивного снабера ввімкнення транзисторів. Ефект наскрізних струмів додатково обмежується, оскільки на інтервалі провідності транзистора 10 значна (якщо не основна) доля струму ключа протікає не через діод 18 і накопичений в структурі діода надлишковий заряд може бути суттєво обмежений. В момент спаду до нуля струму обмотки (початок інтервалу холостого ходу), знімають керування транзисторами 9 і 10, вони вимикаються природно, в режимі нуля струму (ZCS-zero current switching). На інтервалі комутації напруга на обмотці 20 трансформатора відсутня. Після падіння до нуля струму обмотки, напруга на ній відновлюється, оскільки до вторинної обмотки 21 трансформатора через включений транзистор 24 прикладена напруга. До діоду 18 прикладається зворотна напруга, а до транзистора 7 - пряма. На інтервалі холостого ходу енергія в навантаження 33 не передається, а накопичується в дроселі 2, в цей час струм дроселя зростає (як в підвищуючому перетворювачі).

Після завершення інтервалу накопичення (холостого ходу) вмикають транзистори 7, 8, відбувається комутація (переведення струму) з транзисторів 3, 4 (відбувається процес, аналогічний переведенню струму з транзисторів 9, 10 на 5, 6). В результаті транзистори 3, 4 вимикаються природно, в режимі ZCS. Індуктивність розсіяння 22 обмежує крізний струм в ланцюзі комутації. В момент завершення переведення струму знімають керування з транзисторів 3, 4, а струм обмотки 20, як і 21, приймає знак, протилежний знаку відповідного струму на першому інтервалі.

Оскільки напруга на обмотці трансформатора знак не змінила, протягом цього короткого інтервалу часу відбувається передача енергії від джерела 33 джерелу 32. Струм ключа 24 змінює знак, і діод 26 закривається.

На початку наступного інтервалу роботи схеми вимикають транзистор 24, струмом обмотки 21 конденсатор 28 заряджається до рівня напруги джерела 33, а конденсатор 29 розряджається до нуля, тобто виконується снаберна комутація. Після зростання напруги транзистора 24 до величини напруги джерела 33, і спаду до нуля напруги на транзисторі 25 вмикається діод 27, і виконують ввімкнення транзистора 25 в режимі нуля напруги (ZVS-zero voltage switching); при цьому напруга на обмотці 20 змінила знак на протилежний. На наступному півперіоді роботи перетворення процеси відбуваються аналогічно.

В режимі передачі енергії з виходу перетворювача на вхід (навантаження 33 є джерелом) робота схеми схожа на роботу схеми понижуючого перетворювача, тобто є інтервали холостого ходу і інтервали передачі енергії до джерела 32. В цьому режимі струм дроселя 2 змінює напрям на протилежний.

5 На першому інтервалі часу передачі енергії в джерело 32 ввімкнені транзистори 5, 6, 7, 8, а також 25, при цьому напруга джерела 32 менша за напругу на обмотці 20 трансформатора 19, конденсатор 28 заряджений до напруги джерела 33, конденсатор 29 розряджений, струм в дроселі 2 зростає.

10 На початку наступного інтервалу роботи схеми вимикають транзистор 25, струмом обмотки 21 конденсатор 29 заряджається до напруги джерела 33, а конденсатор 28 розряджається до нуля, тобто виконується снаберна комутація. В кінці цього інтервалу, при зростанні напруги транзистора 25 до величини джерела 33, а напруга на транзисторі 24 спадає до нуля, включається діод 26, і виконують включення транзистора 24 (в режимі ZVS); при цьому напруга на обмотці 20 змінила знак на протилежний.

15 Оскільки напруга на обмотці трансформатора змінила знак, на протязі короткого інтервалу часу відбувається передача енергії від джерела 32 до джерела 33. Проводять струм транзистор 24 і діод 26.

20 Після завершення попереднього інтервалу часу вмикають транзистори 3, 4, відбувається комутація (переведення струму) з транзисторів 7, 8 в транзистори 3, 4. В результаті транзистори 7, 8 вимикаються природно, в режимі ZCS.

Індуктивність розсіяння 22 обмежує кризний струм в контурі комутації. В момент завершення переведення струму знімають керування з транзисторів 7, 8, а струм обмотки 20, як і 21, стає рівним нулю.

25 На інтервалі холостого ходу енергія у вхідне джерело не передається, при цьому струм дроселя 2 спадає (як в понижуючих перетворювачах). Напруга обмотки 20 зафіксована через ввімкнений стан транзистора 24.

30 Після завершення інтервалу холостого ходу вмикають транзистори 9 і 10. Струм обмотки 20 зростає, як і струми транзисторів 9 і 10, а ключів 5 і 6 - спадає (комутація вентилів). Індуктивність розсіяння 22 обмежує кризний струм в контурі комутації. В момент спаду до нуля струмів ключів 5 і 6 з них знімають керування, вони вимикаються природно, в режимі ZCS.

Після завершення інтервалу комутації, на наступному півперіоді роботи перетворювача, процеси проходять аналогічно.

35 При пошуку в патентній та науково-технічній літературі не виявлено об'єктів, подібних до відмінних ознак технічного рішення, що заявляється, на підставі чого можна зробити висновок про відповідність технічного рішення критерію "суттєві відмінності".

Позитивний ефект - можливість двостороннього обміну енергією без зміни знаку напруги на вході та виході перетворювача, та підвищення ККД - досягається за рахунок застосування як кожного з СНК первинної ланки двох зустрічно-послідовно включених MOSFET - транзисторів.

Джерела інформації:

40 1. М. Браун. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. - К.: МК Пресс, 2005. - 288 с.

2. S. Jalbrzykowsky, T. Citko. A bidirectional DC-DC converter for renewable energy systems / Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. - 2009. - Vol. 57, №. 4. - P. 363-368

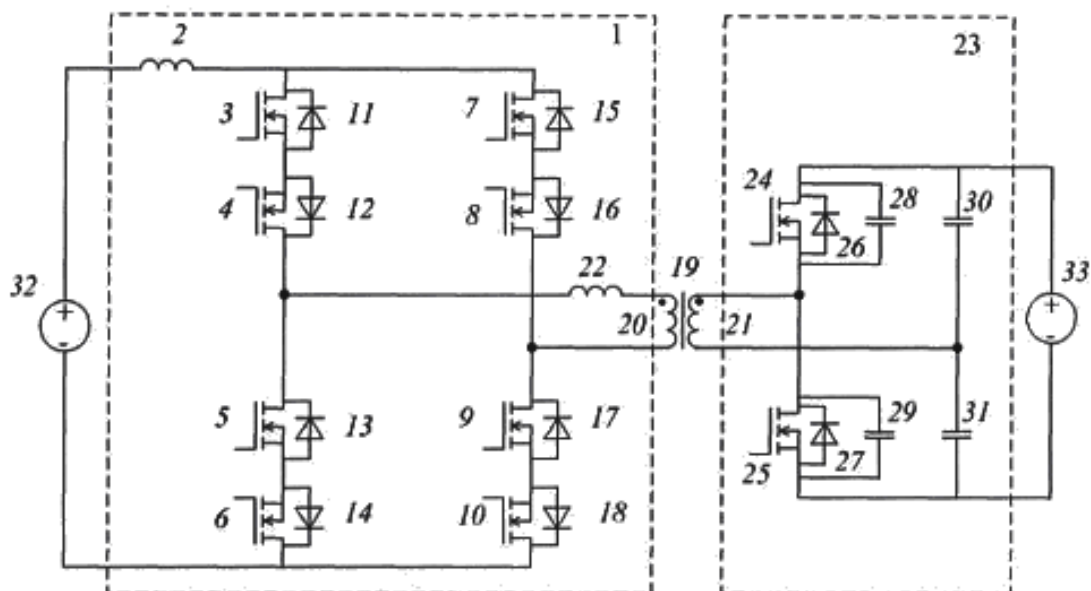
45 3. Andrei Blinov, Volodymyr Ivakhno, Volodymyr Zamaruev, Dmitri Vinnikov, Oleksandr Husev. Experimental Verification of DC/DC Converter with Full-Bridge Active Rectifier/ The 38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2012) IEEE IES IECON 2012 Montreal, Canada 25-28 OCT 2012. - P. 5161-5166.

50 4. Blinov, A.; Vinnikov, D.; Ivakhno, V. Full soft-switching high step-up DC/DC converter for photovoltaic applications. In: Proceedings of the 16th Conference on Power Electronics and Applications, EPE'14-ECCE Europe: The 16th Conference on Power Electronics and Applications, EPE'14-ECCE Europe, 26.-28.8.2014, Lappeenranta, Finland. IEEE, P.1-7.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

55 Оборотний напівпровідниковий перетворювач постійної напруги в постійну із розділеною комутацією, який підключений до джерела вхідної постійної напруги, яке має можливість приймати енергію при зміні знаку середнього вхідного струму, і включає в себе вхідний фільтр, силовий комутатор первинної ланки, силовий роздільний трансформатор, силовий комутатор вторинної ланки, вихідний фільтр, а вихід перетворювача підключений до навантаження, при  
60 цьому силовий комутатор первинної ланки має вхідний фільтр індуктивного характеру та

- виконаний за мостовою схемою інвертора струму на керованих ключах, а силовий комутатор вторинної ланки виконаний за схемою напівмостового автономного інвертора напруги на керованих ключах без зворотної блокуючої спроможності, що шунтовані зворотними діодами, наприклад MOSFET, і снаберними конденсаторами, та має вихідний ємнісний фільтр, який
- 5 **відрізняється** тим, що керовані ключі комутатора первинної ланки виконані у вигляді двох зустрічно-послідовно включених транзисторів MOSFET.



Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601