



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93763** (13) **U**
(51) МПК
H02J 7/35 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2014 05491**
(22) Дата подання заявки: **22.05.2014**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.10.2014**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.10.2014, Бюл.№ 19**

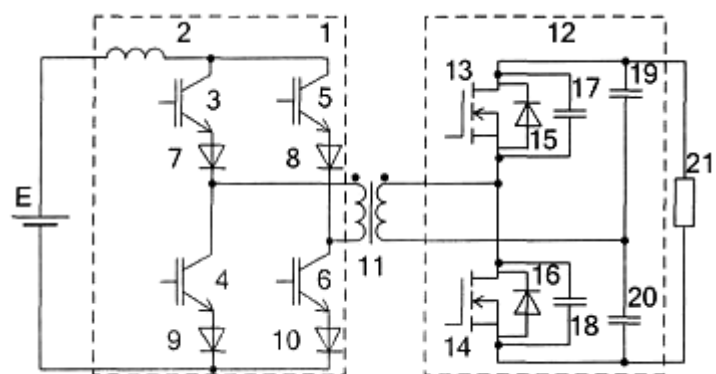
(72) Винахідник(и):
Сокол Євген Іванович (UA),
Гончаров Юрій Петрович (UA),
Івахно Володимир Вікторович (UA),
Замаруєв Володимир Васильович (UA),
Стисло Богдан Олександрович (UA)
(73) Власник(и):
Сокол Євген Іванович,
вул. Сухумська, 24, кв. 72, м. Харків, 61141 (UA),
Гончаров Юрій Петрович,
пров. Веселий, 6, сел. Високий, м. Харків, 62460 (UA),
Івахно Володимир Вікторович,
пр. Курчатова, 9, кв. 7, м. Харків, 61108 (UA),
Замаруєв Володимир Васильович,
вул. Гв. Широнінців, 38-б, кв. 140, м. Харків, 61123 (UA),
Стисло Богдан Олександрович,
вул. Балканська, 19, кв. 420, м. Харків, 61110 (UA)

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

(57) Реферат:

Дволанковий напівпровідниковий перетворювач постійної напруги в постійну, який підключений до джерела вхідної постійної напруги 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 однієї з ланок виконаний за схемою автономного інвертора напруги на керованих ключах без зворотної блокуючої спроможності, шунтованими зворотними діодами і снаберними конденсаторами, а силовий комутатор іншої ланки - за мостовою схемою автономного інвертора струму на керованих ключах зі зворотною блокуючою спроможністю. Силовий комутатор первинної ланки виконаний за схемою інвертора струму з вхідним фільтром індуктивного характеру, а вторинної ланки - за схемою інвертора напруги з вихідним ємнісним фільтром. Як силові ключі вторинної ланки використані польові транзистори з ізолюваним затвором.

UA 93763 U



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

В технології перетворення постійної напруги в постійну із гальванічною розв'язкою первинної та вторинної ланок дволанкового перетворювача широко використовується традиційна схема перетворювача на основі мостової, напівмостової або нульової схеми інвертора напруги на повністю керованих ключах з вхідним фільтром ємнісного характеру у первинній ланці, з силовим роздільним трансформатором, а також некерованим випрямлячем за мостовою або нульовою схемами та вихідним фільтром індуктивного характеру у вторинній ланці. Перемикання керованих силових напівпровідникових ключів (СНК) первинної ланки здійснюється за традиційним алгоритмом однократної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) з постійною частотою перемикань цих ключів, при якому за рахунок зміни відносної тривалості ввімкненого стану СНК можна змінювати величину середньої вихідної напруги та вихідного струму перетворювача. Подібне рішення використовується, наприклад, у джерелах вторинного електроживлення та ін. [1]. При вхідних напругах величини до (300-400 В) у якості СНК первинної ланки використовуються польові транзистори з ізолюваним затвором (MOSFET), а при напругах від приблизно 400 В і вище, приблизно до (3-4) кВ - біполярні транзистори з ізолюваним затвором (IGBT), які у цьому випадку повинні бути високовольними. Проте, при використанні таких схемних рішень відбувається примусова комутація керованих СНК первинної ланки, що супроводжується виділенням значної потужності динамічних втрат як вмикання, так і вимикання цих СНК, особливо при підвищених частотах ШІМ.

В схемному рішенні [2], у якому у первинній ланці перетворювача використовується напівмостова схема, а у вторинній - нульова, реалізований принцип керування - розділена комутація. По перше, керовані СНК первинної ланки шунтовані зворотними діодами і снаберними конденсаторами. Схема силового комутатора первинної ланки являє собою схему силового комутатора автономного інвертора напруги (АІН), тобто складається з силових ключів двонаправленого струму без зворотної блокуючої спроможності, а інверторна стійка силового комутатора шунтована фільтровим конденсатором або послідовно з'єднаними конденсаторами. Як силові ключі двонаправленого струму без зворотної блокуючої спроможності використовуються IGBT, шунтовані зворотними діодами. Некеровані силові напівпровідникові ключі вторинної ланки - випрямляча (діоди) - замінені на керовані (на тиристори, останні можуть бути замінені на IGBT з послідовним діодом), а роль індуктивних снаберів може виконувати індуктивність розсіювання роздільного трансформатора. Схема силового комутатора вторинної ланки являє собою схему силового комутатора автономного інвертора струму (АІС), тобто складається з силових ключів однонаправленого струму зі зворотною блокуючою спроможністю, у колі постійного струму встановлений фільтровий дросель. По-друге, на періоді роботи перетворювача тривалість ввімкненого стану СНК як первинної, так і вторинної ланок наближена до напівперіоду частоти перетворення, а примусове вмикання СНК вторинної ланки здійснюється з деякою часовою затримкою відносно моменту примусового вимикання СНК первинної ланки. Регулювання величини середньої вихідної напруги та вихідного струму перетворювача здійснюється регулюванням величини вищезгаданої часової затримки. СНК первинної ланки вмикаються природно, тобто при нульовій напрузі на них, а вимикаються примусово, під струмом. СНК вторинної ланки, навпаки, вмикаються примусово, під прямою напругою, а вимикаються природно, при нульовому струмі. У зв'язку з природним характером вмикання СНК первинної ланки і вимикання СНК вторинної відповідні енергії динамічних втрат дорівнюють нулю. Енергія динамічних втрат вимикання СНК первинної ланки обмежується за рахунок того, що наявність снаберних конденсаторів забезпечує обмеження швидкості зростання напруги на СНК, що вимикається, тобто реалізується м'яка снаберна комутація ємнісного характеру. Енергія динамічних втрат вмикання СНК вторинної ланки обмежується за рахунок того, що наявність у контурі комутації індуктивності (наприклад, індуктивності розсіювання роздільного трансформатора) забезпечує обмеження швидкості зростання струму у СНК, що вмикається, тобто реалізується м'яка снаберна комутація індуктивного характеру. В результаті сумарна потужність динамічних втрат в СНК обох комутаторів значно скорочується, що є перевагою даного рішення.

Особливістю рішення [2] є те, що воно, на відміну від традиційних, має властивість оборотності: на часовому інтервалі від вимикання СНК АІН до вмикання СНК АІС добуток вихідного струму та вихідної напруги силових комутаторів як АІН, так і АІС, має негативний знак, тобто на цьому часовому інтервалі енергія надходить від навантаження до джерела вхідної напруги (інтервал повернення енергії); якщо тривалість цього інтервалу перевищує чверть періоду перетворення, то середня вихідна напруга негативна. Недоліком рішення [2] є те, що наявність інтервалу повернення енергії значної відносної величини, тобто значної циркуляції

потужності, призводить до необхідності збільшення амплітуди струму СНК при збереженні необхідної величини середнього вхідного струму перетворювача. Це призводить до збільшення потужності статичних втрат у СНК і зменшенню ККД перетворювача. Наявність часових інтервалів повернення енергії значної відносної величини з негативним знаком вхідного струму

5 силового комутатора первинної ланки призводить до необхідності, при збереженні прийнятної величини коефіцієнта пульсацій напруги на конденсаторі вхідного фільтра, збільшення ємності цього конденсатора, тобто вимагає також збільшення встановленої потужності вхідного фільтра та його вартості.

Найбільш близьким до рішення, що пропонується, є рішення [3], в якому у перетворювачі з розділеною комутацією з АІН за напівмостовою схемою з IGBT, шунтованими зворотними діодами та снаберними конденсаторами у первинній ланці, запропоновано використання у вторинній ланці перетворювача силового комутатора АІС за мостовою схемою і модифікованого алгоритму керування СНК. Як і у рішенні [2], на періоді роботи перетворювача тривалість ввімкненого стану СНК АІН наближена до напівперіоду частоти перетворення. На часовому інтервалі ввімкненого стану двох СНК діагоналі комутатора АІС, після снаберного вимикання СНК АІН, в результаті чого напруга на іншому СНК АІН зменшується до нуля та вмикається його зворотний діод, вмикають цей СНК АІН. Він вмикається природно. Починається інтервал повернення енергії з навантаження до джерела вхідної напруги. На відміну від рішення [2], через проміжок часу, який складає невелику частку напівперіоду частоти перетворення,

20 вмикають один з тих СНК комутатора АІС, який до того на цьому напівперіоді струм не проводив. Цей СНК вмикається примусово, під напругою; індуктивність розсіяння роздільного трансформатора забезпечує обмеження енергії втрат вмикання. СНК однієї з інверторних стійок АІС переходять у ввімкнений стан. СНК іншої інверторної стійки АІС, який до того проводив струм, при цьому природно вимикається. Створюється контур холостого ходу, який складається з двох ввімкнених СНК інверторної стійки АІС, дроселя вихідного фільтра та навантаження, у

25 якому тече струм навантаження, при цьому припиняється повернення енергії від навантаження до джерела вхідної напруги. По закінченні тривалості існування контуру холостого ходу вмикають той СНК інверторної стійки АІС, що не приймала участі у формуванні контура холостого ходу на цьому напівперіоді роботи, який на цьому напівперіоді ще не проводив струм, тобто формують контур протікання струму навантаження через СНК іншої діагоналі силового комутатора АІС. Вмикання цього СНК АІС здійснюється примусово, під напругою; індуктивність розсіяння роздільного трансформатора забезпечує обмеження енергії втрат вмикання. Вимикання СНК діагоналі силового комутатора АІС, яка виводиться з роботи, здійснюється природно. В результаті цих перемикань відновлюється передача енергії від джерела вхідної

35 напруги до навантаження. У наступному напівперіоді процеси протікають аналогічно.

Регулювання величину середньої вихідної напруги та вихідного струму перетворювача здійснюється шляхом регулювання відносної тривалості існування контуру холостого ходу.

Можна бачити, що, якщо знехтувати відносно невеликою тривалістю інтервалу повернення енергії з навантаження до джерела вхідної напруги, то робота перетворювача згідно [3] мало відрізняється від роботи традиційних рішень з некерованим випрямлячем у вторинній ланці. Проте, рішення має властивість оберненості напрямку потоку енергії, а організація природної комутації СНК (вмикання для СНК первинної ланки і вимикання для СНК вторинної), разом зі снаберною комутацією (вимикання для СНК первинної ланки і вмикання для СНК вторинної) дозволяє значно підвищити ККД перетворювача. При цьому у зв'язку з малою тривалістю

45 інтервалу повернення енергії, збільшення амплітуди струму СНК при збереженні величини середнього вхідного струму і необхідність збільшення встановленої потужності вхідного фільтра не є потрібним.

Перетворювач за структурою і алгоритмом роботи згідно з [3] має недолік, який полягає у наступному. Експериментально доведено, у тому числі в [3], що шляхом збільшення ємності снаберних конденсаторів, які шунтують IGBT в АІН, можна зменшити енергію комутаційних втрат при вимиканні IGBT не більш, ніж до величини, яка складає приблизно половину від величини енергії комутаційних втрат при вимиканні IGBT при безснаберній комутації. Цей факт пояснюється тим, що при снаберному вимиканні IGBT збільшення ємності снаберних конденсаторів призводить до зменшення швидкості зростання прямої напруги на приладі, що

50 вимикається, але при цьому зростає тривалість так званого хвоста струму, наявність якого, як відомо, є особливістю сучасних IGBT і який відсутній у MOSFET.

Таким чином, існуючим схемним рішенням перетворювачів електричної енергії із розділеною комутацією властиві такі недоліки: наявність значної циркуляції енергії, а також неможливість зменшити втрати вимикання високовольтного силового ключа АІН до величини, меншої за

60 приблизно за половину від цих втрат при безснаберному вимиканні.

Задачею пропонованої корисної моделі є усунення зазначених недоліків і підвищення ККД у випадках, коли величина вхідної напруги перетворювача робить доцільним використання у первинній ланці СНК на базі IGBT, а величина вихідної напруги робить доцільним використання у вторинній ланці СНК на базі MOSFET.

Задача вирішується тим, що у дволанковому напівпровідниковому перетворювачі постійної напруги в постійну з розділеною комутацією, який підключений до джерела вхідної постійної напруги 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 однієї з ланок виконаний за схемою автономного інвертора напруги на керованих ключах без зворотної блокуючої спроможності, шунтованими зворотними діодами і снаберними конденсаторами, а силовий комутатор іншої ланки - за мостовою схемою автономного інвертора струму на керованих ключах зі зворотною блокуючою спроможністю, силовий комутатор первинної ланки виконаний за схемою інвертора струму з вхідним фільтром індуктивного характеру, а вторинної ланки - за схемою інвертора напруги з вихідним ємнісним фільтром, при цьому як силові ключі вторинної ланки використовуються польові транзистори з ізольованим затвором.

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 керованих ключах зі зворотною блокуючою спроможністю (біполярних транзисторах з ізольованим затвором 3-6 з послідовними діодами 7-10), силовий роздільний трансформатор 11, перетворювач вторинної ланки 12, який виконаний за схемою автономного інвертора напруги і вміщує силовий комутатор за напівмостовою схемою на керованих ключах без зворотної блокуючої спроможності без ефекту хвоста струму (польових транзисторах з ізольованим затвором 13-14, шунтованими зворотними діодами 15-16, які входять до складу структури цих транзисторів), шунтованих снаберними конденсаторами 17-18 та конденсаторах 19-20, при цьому роль вихідного фільтра інвертора напруги виконують ці конденсатори. Вхід перетворювача приєднано до джерела постійної напруги Е, а вихід - до навантаження 21.

Принцип функціонування перетворювача полягає в наступному.

Нехай ключі 3, 6, а також 13 ввімкнені, при цьому вхідна напруга перетворювача менша за напругу на первинній обмотці трансформатора 11. Вхідний струм перетворювача протікає в контурі позитивний вивід джерела живлення Е - дросель 2 - транзистор 3 - діод 7 - первинна обмотка трансформатора 11 - транзистор 6 - діод 10 - негативний вивід джерела живлення. Струм вторинної обмотки трансформатора розподілений між ввімкненим транзистором 13 та діодом 15. Конденсатор 17 розряджений, а конденсатор 18 заряджений, напруга на ньому дорівнює напрузі навантаження. Вхідний струм перетворювача спадає (відбувається передача енергії до навантаження).

При примусовому вмиканні транзистора 4 і зняття керування з транзистора 6 діод 10 закривається, вхідний струм інвертора струму 1 (струм дроселя 2) протікає через транзистор 4 та діод 9 і збільшується, а струм в первинній обмотці трансформатора 11 зникає. Транзистор 6 вимикається в режимі нуля струму, тобто природно. Індуктивність розсіювання трансформатора 11 обмежує комутаційні втрати вмикання транзистора 4, тобто відбувається його снаберна комутація. Починається накопичення енергії в дроселі, і енергія джерела живлення не надходить до навантаження. В цей час напруга на первинній обмотці трансформатора 11 не змінюється, оскільки відкритий ключ 15. Після закінчення інтервалу накопичення вмикають транзистор 5 і знімають керування з транзистора 3. Діод 7 закривається. Вхідний струм інвертора струму 1 (струм дроселя 2) протікає через транзистор 5 та діод 8, первинну обмотку трансформатора 11, транзистор 4 та діод 9 у напрямку, протилежному відносно до напрямку протікання струму на інтервалі ввімкненого стану транзисторів 3 та 6. Транзистор 3 вимикається в режимі нуля струму, тобто природно. Індуктивність розсіювання трансформатора 11 обмежує комутаційні втрати вмикання транзистора 5, тобто відбувається його снаберна комутація. Незважаючи на зміну напрямку струму в первинній (а також у вторинній) обмотці трансформатора 11 напруга на обмотках свого знака не змінює, оскільки транзистор 13 залишається у ввімкненому стані; при цьому діод 15 вимикається і струм вторинної обмотки проводить лише транзистор 13. Починається інтервал повернення енергії до джерела живлення. Інтервал повернення енергії складає малу долю напівперіоду. По закінченні інтервалу повернення примусово вимикають транзистор 13, струмом вторинної обмотки трансформатора 11 конденсатор 17 заряджається до напруги навантаження, а конденсатор 18 розряджається до нуля, тобто виконується снаберна комутація транзистора 13. По досягненні напругою транзистора 13 величини напруги навантаження, а напругою на транзисторі 14 нуля

вмикається діод 16, і виконують вмикання транзистора 14 (в режимі нуля напруги); при цьому напруга на первинній обмотці трансформатора змінює знак на протилежний. На наступному напівперіоді роботи перетворювача процеси відбуваються аналогічно.

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 - підвищення ККД - досягається за рахунок суттєвого обмеження комутаційних втрат керованих силових напівпровідникових ключів перетворювача, оскільки високовольтові керовані ключі силового комутатора первинної ланки вимикаються природно і їхні комутаційні втрати вимикання наближені до нуля, а комутаційні втрати вимикання керованих ключів силового комутатора вторинної ланки, оскільки у застосованих керованих ключах цієї ланки відсутній ефект хвоста струму, можуть бути обмежені до скільки завгодно малого рівня шляхом збільшення ємності снаберних конденсаторів, які шунтують ці керовані ключі.

Джерела інформації:

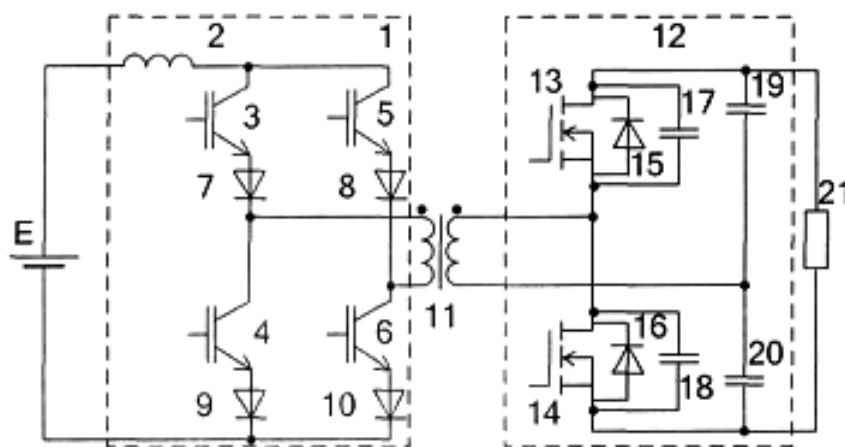
1. М. Браун. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. - К.: МК Пресс, 2005-288 с.

2. Гончаров Ю.П., Панасенко М.В., Семененко О.І., Хворост М.В. Статичні перетворювачі тягового рухомого складу: Навч. Посібник / За ред. Ю.П. Гончарова. - Харків: НТУ "ХПІ", 2007. - 192 с.

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 PP. 5161-5166.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Дволанковий напівпровідниковий перетворювач постійної напруги в постійну, який підключений до джерела вхідної постійної напруги 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 однієї з ланок виконаний за схемою автономного інвертора напруги на керованих ключах без зворотної блокуючої спроможності, шунтованими зворотними діодами і снаберними конденсаторами, а силовий комутатор іншої ланки - за мостовою схемою автономного інвертора струму на керованих ключах зі зворотною блокуючою спроможністю, який відрізняється тим, що силовий комутатор первинної ланки виконаний за схемою інвертора струму з вхідним фільтром індуктивного характеру, а вторинної ланки - за схемою інвертора напруги з вихідним ємнісним фільтром, при цьому як силові ключі вторинної ланки використані польові транзистори з ізольованим затвором.



Комп'ютерна верстка М. Мацело

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

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