



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **97330** (13) **U**
(51) МПК
H02J 7/35 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2014 10068	(72) Винахідник(и): Сокол Євген Іванович (UA), Івахно Володимир Вікторович (UA), Замаруєв Володимир Васильович (UA), Стисло Богдан Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 15.09.2014	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.03.2015	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.03.2015, Бюл.№ 5	(73) Власник(и): Сокол Євген Іванович, вул. Сухумська, 24, кв. 72, м. Харків, 61141 (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 ПІДВИЩЕНОЇ ВХІДНОЇ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ В ПОСТІЙНУ ІЗ РОЗДІЛЕНОЮ КОМУТАЦІЄЮ

(57) Реферат:

Дволанковий напівпровідниковий перетворювач постійної напруги в постійну підключений до джерела вхідної постійної напруги і включає в себе вхідний фільтр індуктивного характеру, силовий комутатор первинної ланки, який побудований за схемою автономного інвертора струму на базі керованих силових ключів зі зворотною блокуючою спроможністю, силовий роздільний трансформатор, силовий комутатор вторинної ланки, який побудований за, наприклад, напівмостовою схемою автономного інвертора напруги на базі керованих силових ключів без зворотної блокуючої спроможності, шунтованими снаберними конденсаторами, причому вторинна обмотка трансформатора підключена до виводів змінного струму силового комутатора вторинної ланки, вихідний фільтр емнісного характеру, а вихід перетворювача підключений до навантаження, при цьому роль снаберних дроселів силових ключів силового комутатора первинної ланки може виконувати індуктивність розсіяння силового трансформатора. Як силовий комутатор первинної ланки використано автономний інвертор струму за схемою, яка являє собою послідовне сполучення двох силових комутаторів за мостовою схемою кожен, первинна сторона трансформатора має дві однакові первинні обмотки, а виводи змінного струму кожного з силових мостів силового комутатора первинної ланки приєднані до виводів з цих обмоток.

UA 97330 U

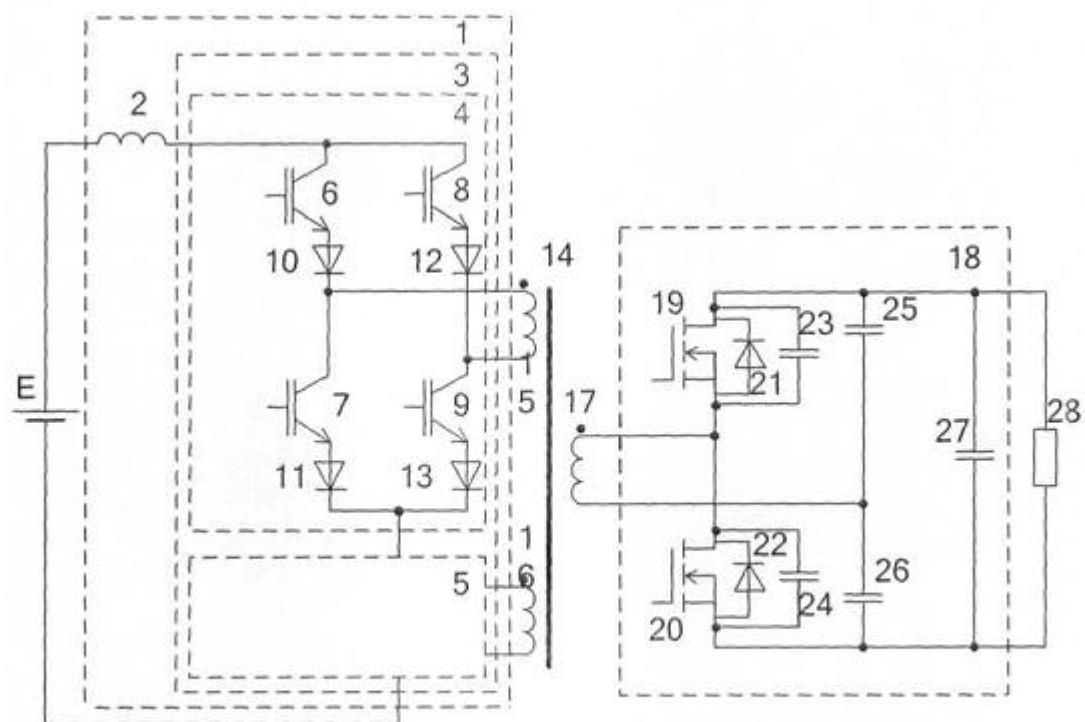


Fig. 1

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 (ШИМ) 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) як 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 високовольтовими. При більш високих значеннях вхідної напруги як СНК первинної ланки використовують складені ключі, що являють собою послідовно сполучені IGBT (з антипаралельними зворотними діодами). При цьому гранична напруга у вимкненому стані окремих IGBT повинна бути такою, щоб добуток граничної напруги окремого IGBT на число послідовно сполучених приладів з визначеним запасом був не меншим за величину максимального значення вхідної напруги перетворювача [2]: необхідно забезпечити такий розподіл вхідної напруги між одночасно вимкненими окремими IGBT, щоб фактична величина напруги на окремому приладі була меншою за відповідне граничне значення напруги у вимкненому стані. Вимога такого статичного розподілу (статичного вирівнювання) напруги у вимкненому стані окремих транзисторів справедлива також і для часових інтервалів перехідних процесів перемикання окремих ключів (динамічне вирівнювання напруги).

Для статичного вирівнювання напруг на вимкнених окремих приладах останні шунтують резисторами таким чином, щоб струм шунтуючого резистора суттєво (у декілька разів) перевищував максимальне значення струму витоку вимкненого приладу [2, 3].

Динамічне вирівнювання напруг на приладах, що вимикаються під струмом, може бути забезпечене, по-перше, строгою синхронністю (одночасністю) надходження керуючих імпульсів затворів окремих приладів СНК і, по-друге, використанням або спеціальних додаткових снаберних RC, RCVD та ін. ланок, що шунтують окремі прилади при використанні снаберного примусового вимикання ключів [2, 3]..., або, при використанні безснаберного примусового вимикання ключів, автоматичним регулюванням напруги на ключах, що вимикаються, за рахунок регулювання динамічного опору приладу шляхом регулювання струму затвора приладу [2, 3, 4].

Ці заходи по вирівнюванню напруги на приладах поза ввімкнутого стану ускладнюють схему перетворювача та зменшують його ККД.

У схемному рішенні [5,] перетворювача постійної напруги для перетворювача ПП2 постійної напруги величиною 3 кВ у постійну величиною 220-400 В використаний дволанковий перетворювач з трансформаторною гальванічною розв'язкою первинної та вторинної ланок. Перетворювач первинної ланки виконаний на базі автономного інвертора напруги (АІН), тобто на СПК знакозмінного струму (IGBT з антипаралельними зворотними діодами), причому силовий комутатор цього АІН складається з двох послідовно сполучених однакових напівмостових трирівневих АІН. Величина напруги на кожному з чотирьох послідовно сполучених конденсаторів вхідного фільтра АІН первинної ланки фіксована і у чотири рази менша за величину вхідної напруги. Навантаженням кожного з напівмостових АІН є відповідна первинна обмотка силового роздільного трансформатора, причому ці дві обмотки мають однакову кількість витків. У силовому комутаторі перетворювача вторинної ланки, який у даному випадку виконаний за нульовою схемою, теж використовуються як СПК силові ключі знакозмінного струму (IGBT з антипаралельними зворотними діодами або MOSFET). Навантаженням цього силового комутатора є силовий конденсатор вихідного фільтра.

У перетворювачі за цим рішенням відбувається ефективна фіксація амплітуди напруги на кожному з інверторних пліч перетворювача первинної ланки на рівні половини величини вхідної напруги. Дійсно, якщо ввімкнений один з СПК перетворювача вторинної ланки, то величина напруги на вторинній обмотці трансформатора дорівнює напрузі на конденсаторі вихідного фільтра, і на кожній з двох первинних обмоток трансформатора присутня напруга, величина

якої обумовлена напругою навантаження і коефіцієнтом трансформації. Напруга такої ж амплітуди присутня і на кожному з конденсаторів вхідного фільтра АІН, а на послідовно сполучених ключах кожного інверторного плеча перетворювача первинної ланки амплітуда напруги в два рази вища. Таким чином, завдяки фіксуючій дії первинних обмоток трансформатора вхідна напруга рівномірно розподіляється між двома послідовно сполученими АІН. У зв'язку з цим амплітуда напруги на кожному з двох послідовно сполучених СНК, що створюють інверторне плече перетворювача первинної ланки, вдвічі менша за величину вхідної напруги.

Недоліком такого рішення є те, що при роботі перетворювача для СПК первинної ланки має місце примусова комутація, що супроводжується виділенням значної потужності динамічних втрат як вмикання, так і вимикання цих СНК, особливо при підвищених частотах перетворення. Регулювання величини вихідної напруги при сталому значенні величини вхідної у цьому рішенні не передбачене, що також є недоліком.

Найбільш близьким до рішення, що пропонується, є рішення [6], у якому у дволанковому перетворювачі постійної напруги в постійну із гальванічною розв'язкою первинної та вторинної ланок первинна ланка виконана на базі автономного інвертора струму (АІС) за мостовою схемою з використанням як СНК з зворотною блокуючою спроможністю (послідовно сполучених IGBT і діода), а вторинна ланка - на базі АІН за напівмостовою схемою синхронного випрямляча з використанням як СНК без зворотної блокуючої спроможності (MOSFET або IGBT з антипаралельними зворотними діодами). Перетворювач має вхідний фільтр індуктивного характеру та вихідний фільтр ємнісного характеру. СНК вторинної ланки можуть бути шунтовані снаберними конденсаторами, а роль індуктивних снаберів СНК первинної ланки може виконувати індуктивність розсіювання трансформатора.

СНК перетворювача працюють за алгоритмом розділеної комутації. Згідно з цим алгоритмом, на початку півперіоду роботи ввімкнені і проводять струм СНК однієї з діагоналей силового комутатора АІС та один з СНК АІН разом із своїм зворотним діодом (інтервал передачі енергії до навантаження). Далі вмикають один з тих СНК первинної ланки, що до того не проводив струм. Цей СНК вмикається примусово. Формується інверторна стійка, в якій ввімкнені обидва СНК, при цьому струм СНК іншої стійки, який до того був ввімкнений, спадає до нуля. Цей СНК вимикається природно, без комутаційних втрат вимикання, і з нього знімають керуючий імпульс. Струм вхідного дроселя починає зростати (розпочинається інтервал накопичення енергії в дроселі), а струм первинної обмотки трансформатора відсутній. Після закінчення інтервалу накопичення вмикають СНК, який на цьому півперіоді ще не проводив струм. Цей СНК вмикається примусово, комутаційні втрати вмикання обмежуються індуктивністю розсіювання трансформатора. Струм первинної обмотки трансформатора починає протікати через СНК тієї діагоналі силового комутатора АІС, яка на цьому півперіоді ще не проводила струм, а знак струму первинної обмотки змінює знак відносно знаку струму на інтервалі передачі енергії до навантаження. Струм СНК, який не входить до складу робочої діагоналі силового комутатора, спадає і цей СНК вимикається природно, без комутаційних втрат вимикання, і з нього знімають керуючий імпульс. У зв'язку зі зміною знаку струму первинної обмотки змінюється і знак струму вторинної. Вимикається зворотний діод СНК АІН вторинної ланки, який проводив струм, а струм вторинної обмотки протікає через ввімкнений транзистор цього СНК. Напруга на вторинній та первинній обмотках залишається незмінною, оскільки СНК вторинної ланки продовжує бути ввімкненим. Починається відносно короткий інтервал повернення енергії до джерела вхідної напруги. По його закінченні примусово вимикають транзистор СНК вторинної ланки. Комутаційні втрати вимикання обмежуються завдяки наявності снаберних конденсаторів. Напруга на шунтуючому транзисторі, що проводив струм, конденсаторі, зростає до величини напруги навантаження, а на конденсаторі, що шунтує інший транзистор - спадає до нуля (струмом вторинної обмотки здійснюється перезаряд снаберних конденсаторів). Після спаду до нуля напруги на транзисторі, який на цьому півперіоді не проводив струм, вмикається зворотний діод цього транзистора. Після вмикання цього діода вмикають і його транзистор. Останній вмикається при нулі напруги, без комутаційних втрат вмикання. Відновлюється процес передачі енергії до навантаження. На наступному півперіоді роботи перетворювача процеси протікають аналогічно.

Робота схеми нагадує роботу підвищувача перетворювача постійної напруги, але з гальванічною розв'язкою: мають місце інтервали накопичення енергії в дроселі вхідного фільтра та інтервали передачі енергії до навантаження (інтервалом повернення енергії можна нехтувати), при цьому динамічні втрати в СНК суттєво обмежені. Вимикання СНК АІС природне, в нулях струму і не супроводжується комутаційними втратами, а втрати вмикання обмежені снаберними дроселями, роль яких може виконувати індуктивність розсіювання трансформатора.

Вмикання СНК АІН природне, в нулях напруги і не супроводжується комутаційними втратами, а втрати вимикання обмежені снаберними конденсаторами. Регулювання величини вихідної напруги може здійснюватися регулюванням відносної тривалості інтервалу накопичення енергії у вхідному дроселі.

5 На інтервалах комутації СНК АІС одночасно проводять струм три СНК, а вихідна напруга силового комутатора АІС дорівнює нулю. В силу відносно малої тривалості інтервалу комутації і значної величини індуктивності дроселя вхідного фільтра суттєвої зміни струму дроселя на цьому інтервалі нема.

10 Амплітуда напруги на СНК АІС поза інтервалів комутації співпадає з амплітудою напруги на первинній обмотці трансформатора (оскільки через ввімкнені ключі АІН вторинна обмотка трансформатора підключена до конденсатора дільника напруги силового комутатора) і визначається величиною напруги конденсатора вихідного фільтра (яка вдвічі більша за величину напруги конденсатора дільника) та коефіцієнтом трансформації. На інтервалах комутації СНК АІС напруга на них дорівнює нулю.

15 Перевагою описаного вище рішення є суттєве обмеження комутаційних втрат СНК та наближення сумарних втрат у СНК до статичних (втрат провідності), що дозволяє значно підвищити частоту перетворення у порівнянні з перетворювачами, які використовують примусову, а не природну комутацію своїх СНК. Це особливо корисне для перетворювачів з підвищеною величиною вхідної напруги (і, як наслідок, з підвищеною величиною напруги на вимкнених СНК перетворювача первинної ланки). Корисною особливістю рішення, що описано, є те, що у рішенні має місце природне вимикання високовольтових транзисторів перетворювача первинної ланки з нульовими втратами вимикання (відомо, що відносні динамічні втрати вимикання сучасних IGBT зростають із зростанням граничної напруги приладу при безснаберній комутації, а використання конденсаторної снаберної комутації дозволяє зменшити величину комутаційних втрат вимикання до рівня, що приблизно дорівнює половини енергії цих втрат при безснаберному вимиканні [6]).

Недоліком рішення [6] є його обмежена функціональна можливість, яка полягає в тому, що воно не може бути використане за умови, якщо амплітуда вхідної напруги перетворювача більша за величину граничної напруги у вимкненому стані для IGBT, які доступні для реалізації перетворювача (з деяким прийнятним запасом). У разі використання як СНК перетворювача первинної ланки СНК на базі послідовного сполучення окремих IGBT з послідовним діодом потрібні такі ж заходи для статичного і динамічного вирівнювання напруги на приладах, які були описані вище.

35 Таким чином, існуючим схемним рішенням дволанкових напівпровідникових перетворювачів підвищеної вхідної постійної напруги в постійну при відсутності наявності силових керованих ключів, гранична напруга яких менша (з деяким запасом) за величину амплітуди вхідної напруги властиві такі недоліки: необхідність як статичного, так і динамічного вирівнювання напруги на вимкнених послідовно сполучених силових ключах первинної ланки, що ускладнює схему та знижує ККД перетворювача, значні комутаційні втрати у разі застосування існуючих рішень з використанням двох (або більше) однакових первинних обмоток трансформатора та виконання перетворювача первинної ланки на базі послідовного сполучення силових комутаторів за схемою АІН.

45 Задачею пропонованої корисної моделі є усунення зазначених недоліків і розширення функціональних можливостей перетворювача, а саме забезпечення можливості підвищення рівня величини вхідної напруги перетворювача при наявності у доступі силових керованих напівпровідникових ключів зі зворотною блокуючою спроможністю (наприклад, СНК на базі послідовно сполучених IGBT і діода), гранична напруга яких менша (з деяким запасом) за величину амплітуди вхідної напруги.

50 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 індуктивного характеру, силовий комутатор первинної ланки, який побудований за схемою автономного інвертора струму на базі керованих силових ключів зі зворотною блокуючою спроможністю, силовий роздільний трансформатор, силовий комутатор вторинної ланки, який побудований за, наприклад, напівмостовою схемою автономного інвертора напруги на базі керованих силових ключів без зворотної блокуючої спроможності, шунтованими снаберними конденсаторами, причому вторинна обмотка трансформатора підключена до виводів змінного струму силового комутатора вторинної ланки, вихідний фільтр ємнісного характеру, а вихід перетворювача підключений до навантаження, при цьому роль снаберних дроселів силових ключів силового комутатора первинної ланки може виконувати індуктивність розсіяння силового трансформатора, як силовий комутатор первинної

ланки використано автономний інвертор струму за схемою, яка являє собою послідовне сполучення двох силових комутаторів за мостовою схемою кожен, первинна сторона трансформатора має дві однакові первинні обмотки, а виводи змінного струму кожного з силових мостів силового комутатора первинної ланки приєднані до виводів з цих обмоток.

5 Суть корисної моделі пояснюється фіг. 1. До складу перетворювача входять: перетворювач первинної ланки 1, який виконаний за схемою автономного інвертора струму і вміщує вхідний фільтр (дросель) 2 та силовий комутатор 3 інвертора струму, який складається з двох однакових послідовно сполучених виводами постійного струму силових комутаторів 4 та 5, кожен з яких виконаний за мостовою схемою на керованих приладах зі зворотною блокуючою
10 спроможністю (біполярних транзисторах з ізольованим затвором 6-9 з послідовними діодами 10-13 для силового комутатора 4 та аналогічних приладів для силового комутатора 5), силовий трансформатор 14, який має дві однакові первинні обмотки 15 та 16, причому обмотка 15 приєднана до виводів змінного струму силового комутатора 15, а обмотка 16 - до аналогічних виводів силового комутатора 5, вторинна обмотка 17 трансформатора 14 приєднана до виводів змінного струму перетворювача вторинної ланки 18, який складається з автономного інвертора
15 напруги за напівмостовою схемою на керованих приладах без зворотної блокуючої спроможності (MOSFET 19, 20 та зворотних діодах 21, 22, шунтованих снаберними конденсаторами 23, 24) та конденсаторах 25, 26 дільника напруги, вихідний фільтр ємнісного характеру (його роль виконує вихідний конденсатор інвертора напруги 27 разом з конденсаторами 25, 26 дільника напруги). Вхід перетворювача приєднано до джерела постійної напруги E , а вихід - до навантаження 28.

Принцип функціонування перетворювача полягає в наступному.

Керування ключами перетворювача здійснюється за алгоритмом розділеної комутації та схоже на керування ключами за рішенням [7]; відмінність полягає в тому, що для СНК обох
25 мостових силових комутаторів первинної ланки керування здійснюється синхронно, тобто при видачі керуючого імпульсу на затвор одного з транзисторів комутатора 4 або зняття імпульсу з затвора цього транзистора також одночасно робиться подача керуючого імпульсу на затвор відповідного транзистора комутатора 5 або зняття керуючого імпульсу.

Нехай, на початку напівперіода частоти перетворення, ключі 6, 9 діагоналі комутатора 4, а також відповідні транзистори комутатора 5 ввімкнені, ввімкнений транзистор 19, при цьому величина вхідної напруги перетворювача менша за сумарну напругу на двох первинних обмотках 15 та 16 трансформатора 14. Вхідний струм перетворювача протікає в контурі позитивний вивід джерела живлення E - дросель 2 - транзистор 6 - діод 10 - первинна обмотка трансформатора 15 - транзистор 9 - діод 13 - відповідні транзистори та діоди комутатора 5 -
35 негативний вивід джерела живлення. Струм вторинної обмотки трансформатора розподілений між ввімкненим транзистором 19 та діодом 21. Конденсатор 23 розряджений, а конденсатор 24 заряджений, напруга на ньому дорівнює напрузі навантаження. Вхідний струм перетворювача спадає (відбувається передача енергії до навантаження). Величина прямої напруги на вимкнених ключах силових комутаторів 4 та 5 (для комутатора 4 це транзистори 8 та 7) дорівнює величині напруги на обмотках 15, 16, яка, в свою чергу, обумовлена величиною напруги на конденсаторах 25, 26 та величиною коефіцієнта трансформації. Величини напруг на вимкнених ключах комутаторів 4, 5 однакові.

При примусовому вмиканні транзистора 7 і аналогічного в комутаторі 5 струм в транзисторі 9, діоді 13 та в аналогічних ключах комутатора 5 починає спадати, а в транзисторі 7, діоді 11 та аналогічних ключах комутатора 5 - зростати. Починається процес переходу струму з обмотки 15 (ключів 9, 13) до ключів 7, 11, тобто процес комутації. Транзистор 7 вмикається примусово, а діод 13 вимикається природно. Час процесу комутації визначається величиною індуктивності у контурі комутації (у даному випадку - індуктивністю розсіяння трансформатора, яка приведена до первинної обмотки 15). Наявність індуктивності розсіяння обмежує комутаційні втрати
50 вмикання транзистора. На інтервалі комутації величина напруги на обмотці 15 дорівнює нулю, і також дорівнює нулю напруга на складеному ключі з послідовно сполучених транзистора 8 та діода 12. Аналогічні процеси комутації відбуваються у комутаторі 5. По закінченні інтервалу комутації знімають імпульси керування з транзистора 9 та аналогічного у комутаторі 5. Оскільки струм у цих транзисторах відсутній, їх вимикання відбувається природно, без комутаційних втрат. На інтервалі комутації, під час існування нульової напруги обмоток трансформатора, вхідний струм перетворювача практично не змінюється завдяки наявності вхідного дроселя, який має індуктивність значної величини.

Після закінчення інтервалу комутації вхідний струм інвертора струму 1 (струм дроселя 2) протікає через транзистори 6, 7 та діоди 10, 11 однієї з інверторних стійок комутатора 4 та аналогічної стійки комутатора 5 і збільшується, а струм в первинних обмотках 15, 16
60

трансформатора 14 зникає. Починається інтервал накопичення енергії в дроселі, і енергія джерела живлення не надходить до навантаження. На цьому інтервалі напруга на обмотках трансформатора відновлена, оскільки транзистор 19, як і раніше, ввімкнений і підключає вторинну обмотку трансформатора до конденсатора 25. Напруга на складеному ключі з транзистора 8 та діода 12 має позитивний знак і ту ж амплітуду, як і на інтервалі передачі енергії до навантаження, а на складеному ключі з транзистора 9 та діода 13 - таку ж амплітуду, але негативний знак.

Після закінчення інтервалу накопичення примусово вмикають транзистор 8 в комутаторі 4 і аналогічний в комутаторі 5. При примусовому вмиканні транзистора 8 і аналогічного в комутаторі 5 струм в транзисторі 6, діоді 10 та в аналогічних ключах комутатора 5 починає спадати, а в транзисторі 8, діоді 12 та аналогічних ключах комутатора 5 - зростати. Починається процес переходу струму з інверторної стійки, що складалася з ключів 6, 10, 7 та 11, до кола транзистор 8 - діод 12 - обмотка 15 - транзистор 7 - діод 11, тобто процес комутації. Транзистор 8 вмикається примусово, а діод 10 вимикається природно. Час процесу комутації визначається величиною індуктивності у контурі комутації (у даному випадку - індуктивністю розсіювання трансформатора, яка приведена до первинної обмотки 15). Наявність індуктивності розсіювання обмежує комутаційні втрати вмикання транзистора. На інтервалі комутації величина напруги на обмотці 15 дорівнює нулю і також дорівнює нулю напруга на складеному ключі з послідовно сполучених транзистора 9 та діода 13. Аналогічні процеси комутації відбуваються у комутаторі 5. По закінченні інтервалу комутації знімають імпульси керування з транзистора 6 та аналогічного у комутаторі 5. Оскільки струм у цих транзисторах відсутній, їх вимикання відбувається природно, без комутаційних втрат. На інтервалі комутації, під час існування нульової напруги обмоток трансформатора, вхідний струм перетворювача практично не змінюється завдяки наявності вхідного дроселя, який має індуктивність значної величини.

Після закінчення інтервалу комутації вхідний струм інвертора струму 1 (струм дроселя 2) протікає через транзистори 8, 7, діоди 12, 11 та обмотку 15 тієї діагоналі силового комутатора 4, яка на даному півперіоді струм ще не проводила та аналогічної діагоналі комутатора 5. Струм обмоток змінює напрямок протікання у порівнянні з напрямком на інтервалі передачі енергії до навантаження, при цьому струм вторинної обмотки також змінює напрямок і протікає через транзистор 19. Напруга на обмотці 17 не змінює свій знак і величину, оскільки визначається напругою конденсатора 25, який через ввімкнений транзистор 19 підключений до цієї обмотки. Не змінюють свого знака і величину у порівнянні з інтервалом передачі енергії до навантаження і інтервалом накопичення і напруги на обмотках 15, 16. Напруга на складених ключах 6, 10 і 9, 13 та аналогічних комутатора 5 - зворотна з тією ж амплітудою, що визначається напругою на конденсаторі 25 і коефіцієнтом трансформації.

Оскільки добуток знака струму та знака напруги на навантаженні силових комутаторів (тобто на обмотках 15, 16) перетворювача первинної ланки негативний, має місце повернення енергії з навантаження перетворювача до джерела живлення. Тривалість цього інтервалу мала у порівнянні з тривалістю півперіоду частоти перетворення.

По закінченні інтервалу повернення примусово вмикають транзистор 19, струмом вторинної обмотки трансформатора 14 конденсатор 23 заряджається до напруги навантаження, а конденсатор 24 розряджається до нуля, тобто виконується примусова снаберна комутація транзистора 19. Снаберні конденсатори обмежують швидкість зростання напруги на транзисторі 19, обмежуючи тим самим величину енергії втрат при примусовому вимиканні транзистора 19.

По досягненні напругою транзистора 19 величини напруги навантаження, а напругою на транзисторі 20 нуля вмикається діод 16, і виконують вмикання транзистора 14 (в режимі нуля напруги, тобто природно, без комутаційних втрат вмикання); при цьому напруга на первинній обмотці трансформатора змінює знак на протилежний до величини напруги на конденсаторі 26, напруги на обмотках 15, 16 теж змінюють знаки на протилежні. Напруги на вимкнених ключах комутаторів також змінюють знаки на прями з амплітудами, що визначаються величиною напруги на конденсаторі 26 та коефіцієнтом трансформації, тобто такими ж. Після спаду до нуля напруги на транзисторі 20 струм вторинної обмотки 17 трансформатора розподілений між ввімкненим транзистором 20 та діодом 22. Починається інтервал передачі енергії до навантаження і наступний півперіод, процеси протягом котрого протікають аналогічно.

Із розгляду роботи перетворювача видно, що на будь-якому інтервалі часу роботи перетворювача, за виключенням комутаційних інтервалів, амплітуда напруги на вимкнених ключах силових комутаторів перетворювача первинної ланки стала і визначається однаковими напругами на конденсаторах дільника напруги силового комутатора вторинної ланки та коефіцієнтом трансформації, тобто досягається ефективне вирівнювання амплітуд напруг на вимкнених силових ключах (з урахуванням знаків цих напруг). На інтервалах комутації ключів

перетворювача первинної ланки на ключах, що не проводять струм, присутня нульова напруга. У той же час зберігаються позитивні властивості рішення - прототипу у сенсі суттєвого обмеження комутаційних втрат силових керованих ключів завдяки примусовому снаберному вмиканню і природному вимиканню керованих ключів силових комутаторів первинної ланки та примусовому снаберному вимиканню і природному вмиканню керованих ключів силового комутатора вторинної ланки.

Позитивний ефект - розширення функціональних можливостей перетворювача - полягає у можливості підвищити величину вхідної напруги до рівня, який перевищує величину граничної напруги окремих силових ключів силового комутатора перетворювача первинної ланки при одночасному наблизенні потужності втрат у силових напівпровідникових ключах перетворювача до рівня втрат провідності. Цей позитивний ефект досягається завдяки використанню розділеної комутації як алгоритму керування ключами перетворювача, що забезпечує снаберне вмикання керованих ключів перетворювача первинної ланки та природне вимикання цих ключів і снаберне вимикання керованих ключів перетворювача вторинної ланки та природне вимикання цих ключів, з одночасним ефективним рівномірним розподілом і вирівнюванням напруги на вимкнених силових ключах перетворювача вторинної ланки, яке досягається завдяки послідовному сполученню двох силових мостових комутаторів перетворювача первинної ланки, розділення первинної обмотки трансформатора на дві однакові первинні обмотки і приєднання кожної з цих обмоток до відповідних виводів змінного струму силових мостів перетворювача первинної ланки, в результаті чого має місце фіксація амплітуди напруги на вимкнених силових ключах цього перетворювача на рівні, що визначається величиною напруги на конденсаторах силового вихідного фільтра перетворювача вторинної ланки та коефіцієнтом трансформації силового трансформатора.

Джерела інформації:

1. М. Браун. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. - К.: МК Пресс, 2005 - 288 с.
2. <http://sm-7.net/upload/EUVM/Spravochniki/Rukovodstvo%20po%20MOSFET.pdf> рис. 3.72.
3. <http://sm-7.net/upload/EUVM/Spravochniki/Rukovodstvo%20po%20MOSFET.pdf> рис. 3.73.
4. <http://sm-7.net/upload/EUVM/Spravochniki/Rukovodstvo%20po%20MOSFET.pdf> рис. 3.74.
5. Сокол Е.И., Гончаров Ю.П., Ивахно В.В., Замаруев В.В., Лобко А.В., Войтович Ю.С., Опанасенко Е.И. Применение однофазного переменного тока повышенной частоты в низковольтных распределительных сетях электроснабжения / Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск 2013 р. - Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2013. - С. 128-135.
6. Ивахно В.В., Замаруев В.В., Стысло Б.А. «О возможности снижения динамических потерь в двухзвенном преобразователе постоянного напряжения с разделенной коммутацией». Технічна електродинаміка інститут електродинаміки національної академії наук України № 4, 2014 (июль/август) С. 84-86.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Дволанковий напівпровідниковий перетворювач постійної напруги в постійну, який підключений до джерела вхідної постійної напруги і включає в себе вхідний фільтр індуктивного характеру, силовий комутатор первинної ланки, який побудований за схемою автономного інвертора струму на базі керованих силових ключів зі зворотною блокуючою спроможністю, силовий роздільний трансформатор, силовий комутатор вторинної ланки, який побудований за, наприклад, напівмостовою схемою автономного інвертора напруги на базі керованих силових ключів без зворотної блокуючої спроможності, шунтованими снаберними конденсаторами, причому вторинна обмотка трансформатора підключена до виводів змінного струму силового комутатора вторинної ланки, вихідний фільтр ємнісного характеру, а вихід перетворювача підключений до навантаження, при цьому роль снаберних дроселів силових ключів силового комутатора первинної ланки може виконувати індуктивність розсіяння силового трансформатора, який відрізняється тим, що як силовий комутатор первинної ланки використано автономний інвертор струму за схемою, яка являє собою послідовне сполучення двох силових комутаторів за мостовою схемою кожен, первинна сторона трансформатора має дві однакові первинні обмотки, а виводи змінного струму кожного з силових мостів силового комутатора первинної ланки приєднані до виводів з цих обмоток.

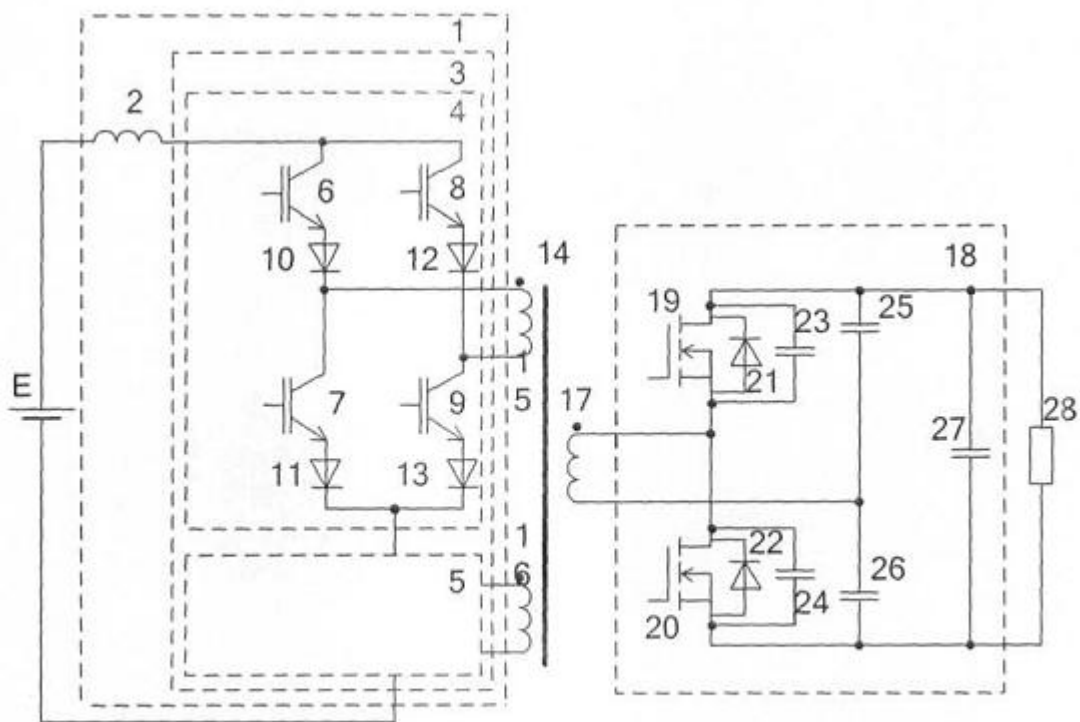


Fig. 1