



УКРАЇНА

(19) UA (11) 56686 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H02P 27/04МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) НЕСИМЕТРИЧНИЙ КАСКАДНИЙ БАГАТОРІВНЕВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ

1

2

(21) u201007787

(22) 21.06.2010

(24) 25.01.2011

(46) 25.01.2011, Бюл.№ 2, 2011 р.

(72) ШАВЬОЛКІН ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСІЙОВИЧ

(73) ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(57) Несиметричний каскадний багаторівневий перетворювач, що містить в кожній вихідній фазі три послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори, кожний інвертор складається з чотирьох ключів, трьох джерел постійного струму, що підключені у діагональ постійного струму інверторів, напруга джерел першого і другого інвертора однакова $U_1=U_2=U$, вільні виводи діагоналі змінного струму першого і останнього інверторів утворюють відповідно початок і кінець фази перетворювача частоти, початки фаз якого з'єднані між собою, кінці призначені для підключення навантаження, систему керування електроприводом, блок керування, входи керування ключів інверторів з'єднані з виходами блока керування з трьома

входами задання фазних напруг, на виходах системи керування електроприводом формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного багаторівневого перетворювача частоти складає $2\pi/3$, який відрізняється тим, що в нього додатково введені функціональний перетворювач, на кожну фазу суматор, система керування електроприводом має додаткові другий, третій і четвертий виходи, на яких формуються сигнал заданої амплітуди, синусоїди з частотою, що в три і дев'ять разів вище заданої частоти, перший, другий, третій входи функціонального перетворювача з'єднано з додатковими другим, третім, четвертим виходами системи керування електроприводом, виходи функціонального перетворювача з'єднано відповідно з другим і третім входами суматора, перший вхід якого з'єднано з виходом системи керування електроприводом, а вихід з входом задання фазної напруги блока керування, напруга джерела третього інвертора $U_3=4U$.

Корисна модель відноситься до області електротехніки і може бути використана в автоматизованому електроприводі для частотного керування електродвигунами змінного струму, а також для інших споживачів електроенергії змінного струму регульованої частоти.

Відомий каскадний багаторівневий перетворювач частоти (далі - перетворювач) [Jose Rodriguez, Jih-Sheng Lai, Fang Zheng Peng. Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls and Applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL. 49, № 4, AUGUST 2002, p.724-738], що містить в кожній з трьох фаз n послідовно з'єднаних однофазних мостових інверторів напруги (далі - інвертор), кожний інвертор складається з чотирьох ключів двобічної провідності, що містять в собі повністю керований тиристор або транзистор і паралельно включений зворотний діод (далі - ключ), n однакових ізольованих джерел постійної напруги (далі - джерело), що підключені у діагональ постійного струму інверторів, вільні виводи діагоналі змінного струму першого і останнього інверторів утворюють відповідно початок і кінець

фази багаторівневого перетворювача частоти, початки фаз якого з'єднані між собою, кінці призначені для підключення навантаження, входи керування ключів інверторів з'єднані з виходами блока керування з трьома входами задання фазних напруг, що з'єднані з відповідними виходами системи керування електроприводом, на яких формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного багаторівневого перетворювача частоти складає $2\pi/3$.

Цей багаторівневий перетворювач частоти має наступні недоліки.

1. Велика кількість ключів в силовій схемі відносно кількості рівнів вихідної напруги ($4n$ ключів на фазу відносно $(2n+1)$ рівнів напруги).

2. У фазі багаторівневого перетворювача частоти одночасно проводять струм $2n$ ключів, що обумовлює значні витрати потужності у ключах схеми, як наслідок, зниження коефіцієнту корисної дії перетворювача в цілому і ускладнює систему охолодження.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є несиметричний багаторівневий перетворю-

(13) U

(11) 56686

(19) UA

вач частоти (далі - перетворювач) [Rech C., Pinheiro J.R. Line Current Harmonics Reduction in Hybrid Multilevel Converters Using Phase-Shifting Transformers / 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference Aachen, Germany. - 2004. - P.2565-2571], який містить в кожній вихідній фазі три послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори, кожний інвертор складається з чотирьох ключів, трьох джерел постійного струму, що підключені у діагональ постійного струму інверторів, напруга джерел першого і другого інвертора $U_1=U_2=U$, напруга третього джерела $U_3=2U$, вільні виводи діагоналі змінного струму першого і останнього інверторів утворюють відповідно початок і кінець фази перетворювача частоти, початки фаз якого з'єднані між собою, кінці призначені для підключення навантаження, систему керування електроприводом, блок керування, входи керування ключів інверторів з'єднані з виходами блока керування з трьома входами завдання фазних напруг, що з'єднані з відповідними виходами системи керування електроприводом, на яких формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного багаторівневого перетворювача частоти складає $2\pi/3$.

Перетворювач працює таким чином.

Блок керування, згідно синусоїдального сигналу заданої амплітуди і частоти, для кожної фази багаторівневого перетворювача частоти на відповідних виходах формує імпульси, що розподіляються на ключі, чим забезпечує однополярну модуляцію їх вихідної напруги. В результаті кожний із послідовно з'єднаних інверторів формує змінну напругу у вигляді імпульсів, що приймають значення $U(2U)$ та 0 (для позитивної напівхвилі), $-U(-2U)$ та 0 (для негативної напівхвилі), де $U(2U)$ - напруга джерела, що підключено до інвертора. При цьому перший інвертор відпрацьовує напругу в режимі ШІМ, інші перемикаються з частотою вихідної напруги. Оскільки інвертори з'єднані послідовно, їх напруги складаються і на виході фази багаторівневого перетворювача частоти отримуємо напругу, що має східчасту форму з ШІМ регулюванням у межах кожної сходинки, що відтворює заданий синусоїдальний сигнал. Кількість рівнів (сходинок) у напівхвилі вихідної напруги дорівнює чотирьом.

Цей перетворювач має наступні недоліки.

1. Виключення циркуляції енергії між інверторами при використанні прийнятого принципу формування вхідної напруги досягається при максимальному значенні напруги третього інвертора $2U$. Чотири рівня у напівхвилі вихідної напруги недостатньо для забезпечення високої якості напруги.

2. Модуляційні складові вихідної напруги мають частоту, що дорівнює частоті модуляції першого інвертору. Щоб обмежити їх вплив на навантаження (двигун) потрібно мати достатньо високу частоту модуляції. Це обумовлює значні витрати енергії на перемикання ключів першого інвертору.

3. При однакових напругах джерел першого і другого інверторів їх завантаження відрізняється майже вдвічі (13.3 % і 23 %), що не дозволяє забезпечити при використанні складених багатofазних схем випрямлення ефективне придушення

вищих гармонік струму, що споживається перетворювачем від мережі змінного струму.

У корисній моделі поставлена задача підвищення енергетичних показників перетворювача і електроприводу в цілому. Це досягається:

1. Використанням модуляції завдання третьою і дев'ятою гармоніками згідно визначеним залежностям, що дозволяє збільшити кратність напруги третього інвертору по відношенню до напруг першого і другого інверторів до $4U$ і, відповідно, кількість рівнів у напівхвилі вихідної напруги до 6 при виключенні циркуляції енергії між інверторами. Це забезпечує суттєве покращення гармонійного складу вихідної напруги.

2. Вирівнюванням завантаження першого і другого інверторів за рахунок використання для них однополярної ШІМ зі зсувом їх модулюючих напруг на кут $\pi/2$. Це дозволяє вдвічі зменшити частоту модуляції і відповідні витрати енергії на перемикання ключів першого і другого інверторів. Однакове завантаження джерел першого і другого інверторів дозволяє використати для них двонадцятифазну схему випрямлення і покращити якість вхідного струму перетворювача, що споживається перетворювачем від мережі змінного струму.

Поставлена задача вирішується тим, що несиметричний каскадний багаторівневий перетворювач містить в кожній вихідній фазі три послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори, кожний інвертор складається з чотирьох ключів, трьох джерел постійного струму, що підключені у діагональ постійного струму інверторів, напруга джерел першого і другого інвертора однакова $U_1=U_2=U$, вільні виводи діагоналі змінного струму першого і останнього інверторів утворюють відповідно початок і кінець фази перетворювача частоти, початки фаз якого з'єднані між собою, кінці призначені для підключення навантаження, систему керування електроприводом, блок керування, входи керування ключів інверторів з'єднані з виходами блока керування з трьома входами завдання фазних напруг, на виходах системи керування електроприводом формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного багаторівневого перетворювача частоти складає $2\pi/3$ відповідно до корисної моделі перетворювач додатково вміщує функціональний перетворювач, на кожну фазу суматор, система керування електроприводом має додаткові другий, третій і четвертий виходи, на яких формуються сигнал заданої амплітуди, синусоїди з частотою, що в три і дев'ять разів вище заданої частоти, перший, другий, третій входи функціонального перетворювача з'єднані з додатковими другим, третім, четвертим виходами системи керування електроприводом, виходи функціонального перетворювача з'єднані відповідно з другим і третім входами суматора, перший вхід якого з'єднано з виходом системи керування електроприводом, а вихід з входом завдання фазної напруги блока керування, напруга джерела третього інвертора $U_3=4U$.

Збільшення кратності напруги третього інвертора по відношенню до напруг першого і другого до $4U$ дозволяє зменшити витрати енергії у ключах

перетворювача та двигуні за рахунок покращення гармонійного складу вихідної напруги.

Введення у схему функціонального перетворювача і суматора, використання додаткових регулюючих параметрів - амплітуди третьої і дев'ятої гармоніки, корегування функцій системи керування електроприводом з використанням визначених залежностей для регулюючих параметрів, що відтворюються функціональним перетворювачем виключає циркуляцію енергії між інверторами і змінювання напрямку передавання енергії ними. Це дозволяє зменшити витрати енергії у силових колах перетворювача.

Корегування функцій блока керування по переводу другого інвертору у режим формування напруги з використанням ШІМ і забезпеченні роботи першого і другого інверторів при однаковому завданні і зсуві модулюючих напруг на кут $\pi/2$ дозволяє вирівняти завантаження їх джерел і при використанні багатозафазних схем випрямлення покращити гармонійний склад вхідного струму перетворювача, а також зменшити частоту перемикачів ключів інверторів і витрати енергії в них.

Запропоновані ознаки дозволяють покращити енергетичні показники електроприводу.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де приведена функціональна схема фази несиметричного каскадного багаторівневого перетворювача частоти.

На фіг. представлені: система керування електроприводом 1, функціональний перетворювач 2, суматор 3, блок керування 4, інвертори 5, 6, 7, джерела 8, 9, 10, напруги яких становлять $U_1=U_2=U$, $U_3=4U$. При живленні від мережі змінного струму в якості джерела використовується трифазний випрямляч на діодах 11 з конденсатором фільтру 12 на виході, що отримує живлення від ізолюваної трифазної обмотки вхідного трансформатору.

Несиметричний каскадний багаторівневий перетворювач частоти працює таким чином.

Синусоїдальна напруга $A\sin\omega t$ заданої амплітуди A (у відносних одиницях становить від 0 до 6.9) і частоти ω з виходу системи керування електроприводом 1 надходить до одного з входів суматора 3. Функціональний перетворювач 2, на входи

якого з відповідних виходів системи керування електроприводом 1 надходять сигнали A , $\sin(3\omega t)$ і $\sin(9\omega t)$, формує на першому виході напругу $A_3\sin(3\omega t)$, а на другому $A_9\sin(9\omega t)$. Значення A_3 і A_9 визначаються певними залежностями від A за умови, що перша гармоніка вихідної напруги однофазного інвертора позитивна і споживання активної потужності інверторами 5, 6 із змінюванням напрямку передавання енергії їх джерелами відсутнє. Напруги $A_3\sin(3\omega t)$ і $A_9\sin(9\omega t)$ з виходу функціонального перетворювача 2 надходять до входів суматора 3. Вихідна напруга суматора $u_{3\text{АД}}=A\sin\omega t+A_3\sin(3\omega t)+A_9\sin(9\omega t)$ надходить до виходу блоку керування 4.

Згідно $u_{3\text{АД}}$ формується напруга керування u_3 третім інвертором 7, яка приймає значення $u_3=4$ при $u_{3\text{АД}} > 2$ і $u_3=-4$ при $u_{3\text{АД}} < -2$, у інших випадках $u_3=0$. Для інверторів 5 і 6 формування вихідної напруги здійснюється із застосуванням однополярної ШІМ, їх напруга керування формується як

$$u_1 = u_2 = \frac{u_{3\text{АД}} - u_3}{2}.$$

При цьому для них використо-

вуються двополярні модулюючі напруги трикутної форми з частотою f_m , що мають одиничну амплітуду і зсунуті за фазою на кут $\pi/2$. Як наслідок, модуляційні складові напруги фази перетворювача знаходяться у смузі частот з центром, що має кратність частоти $m_f = 4f_m/f$, у той час як ключі інверторів перемикаються з частотою f_m .

При однаковому завантаженні джерел 8 і 9 для них може бути використана дванадцятифазна схема випрямлення, коли напруги обмоток від яких здійснюється їх живлення зсунуті за фазою на кут 30° . Для джерел 10 у фазах перетворювача можна використати вісімнадцятифазну схему випрямлення, коли напруги обмоток від яких здійснюється їх живлення зсунуті за фазою на кут 20° . Таким чином забезпечується ефективне придушення вищих гармонік струму у первинній обмотці вхідного трансформатору.

Застосування запропонованої корисної моделі дозволяє зменшити витрати енергії у ключах перетворювача та двигуні, що сприяє покращенню енергетичних показників електроприводу.

