



УКРАЇНА

(19) UA (11) 30100 (13) U  
(51) МПК (2006)  
H02P 7/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) НЕСИМЕТРИЧНИЙ БАГАТОРІВНЕВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ

1

(21) u200711835

(22) 26.10.2007

(24) 11.02.2008

(72) ШАВЬОЛКІН ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСІЙОВИЧ,  
UA, УЛАНОВ РОМАН ВІТАЛІЙОВИЧ, UA, ГРИГО-  
Р'ЄВА ОЛЕНА ГЕННАДІЇВНА, UA(73) ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ, UA

(57) Багаторівневий перетворювач частоти, що містить в кожній вихідній фазі три послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори напруги, кожний інвертор складається з чотирьох ключів двобічної провідності, що містять повністю керований тиристор або транзистор і паралельно включений зворотний діод, три ізольованих джерела постійної напруги, що підключені у діагональ постійного струму інверторів, напруга джерела першого інвертора  $U_1 = U$  мінімальна, напруги джерел другого  $U_2$  і третього інверторів  $U_3$  різні і кратні  $U$ , причому кратність зростає від першого до третього інверторів, вільні виводи діагоналі змінного струму першого і останнього інверторів утворюють відповідно початок і кінець фази перетво-

2

рювача, 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, систему керування електроприводом, на виходах якої формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача складає  $2\pi/3$ , який відрізняється тим, що в нього додатково введені на кожну фазу суматор і функціональний перетворювач, що формує сигнал третьої відносно вихідної частоти гармоніки, амплітуда якої визначається амплітудою сигналу задання згідно з визначеною залежністю, вхід функціонального перетворювача з'єднаний з виходом системи керування і першим входом суматора, другий вхід суматора з'єднаний з виходом функціонального перетворювача, а вихід - з відповідним входом задання фазних напруг блока керування, напруги другого і третього джерел становлять відповідно  $U_2=3U$  і  $U_3=6U$ .

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 багаторівневий перетворювач частоти [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 вихідній фазі  $n$  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 остан-

нього інверторів утворюють відповідно початок і кінець фази 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 перетворювача частоти складає  $2\pi/3$ .

Багаторівневий перетворювач частоти 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

(13) U

(11) 30100

(19) UA

напругу за допомогою ШІМ у вигляді імпульсів, що приймають значення  $U$  та  $0$  (для позитивної напівхвилі),  $-U$  та  $0$  (для негативної напівхвилі), де  $U$  - напруга джерела, що підключено до інвертора. 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. При цьому кількість рівнів (сходинок) у кожній напівхвилі вихідної напруги дорівнює кількості інверторів і відповідно кількості джерел -  $n$ . Загальна кількість рівнів:  $K=2n+1$ .

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 і, як наслідок, зниження коефіцієнту корисної дії перетворювача в цілому і ускладнює систему охолодження.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є несиметричний багаторівневий перетворювач частоти (далі - перетворювач) [J. Song-Manguelle, A. Rufer. Asymmetrical Multilevel Inverter For Large Induction Machine Drives. EDPE 2001 - Slovakia p.101-107.], що містить в кожній вихідній фазі три послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори напруги, кожний інвертор складається з чотирьох ключів двобічної провідності, що містять в собі повністю керований тиристор або транзистор і паралельно включений зворотний діод, три ізольованих джерела постійної напруги, що підключені у діагональ постійного струму інверторів, напруга джерела першого інвертора  $U_1=U$  - мінімальна, напруги джерел другого  $U_2$  і третього інверторів  $U_3$  різні і кратні  $U$ , причому кратність зростає від першого до третього інверторів, вільні виводи діагоналі змінного струму першого і останнього інверторів утворюють відповідно початок і кінець фази перетворювача, 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 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 перетворювача складає  $2\pi/3$ .

Перетворювач працює таким чином.

Синусоїдальний сигнал заданої амплітуди і частоти для кожної фази перетворювача подається на відповідні входи блока керування, який формує імпульси керування на ключі відповідних інверторів, чим забезпечує формування вихідної напруги, що має східчасту форму з постійним кроком  $U$  і ШІМ регулюванням у межах кожної сходинки, що відтворює сигнал заданої амплітуди і частоти. Кількість рівнів (сходинок) у кожній напівхвилі вихідної напруги при максимальному її значенні дорівнює  $n=(U_1+U_2+U_3)/U$ . При цьому напруга від-

повідної сходинки визначається складанням або відніманням напруг інверторів.

Цей перетворювач має наступні недоліки.

Використання джерел із різними напругами обумовлює зміну режиму роботи перших двох у процесі регулювання вихідної напруги і необхідність використання для них джерел з двобічною провідністю. Джерело з більшою напругою передає у навантаження більше енергії ніж потребується, відповідна різниця повертається у мережу джерелом з меншою напругою. Таким чином, має місце безцільна циркуляція енергії у ланці постійного струму, що обумовлює додаткові витрати енергії у схемі і погіршує енергетичні показники перетворювача.

Ознаки найближчого аналогу, які збігаються з ознаками корисної моделі, що заявляється: несиметричний багаторівневий перетворювач частоти, що містить в кожній вихідній фазі три послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори напруги, кожний інвертор складається з чотирьох ключів двобічної провідності, що містять в собі повністю керований тиристор або транзистор і паралельно включений зворотний діод, три ізольованих джерела постійної напруги, що підключені у діагональ постійного струму інверторів, напруга джерела першого інвертора  $U_1=U$  мінімальна, напруги джерел другого  $U_2$  і третього інверторів  $U_3$  різні і кратні  $U$ , причому кратність зростає від першого до третього інверторів, вільні виводи діагоналі змінного струму першого і останнього інверторів утворюють відповідно початок і кінець фази перетворювача, 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 завдання фазних напруг, систему керування електроприводом, на виходах якої формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача складає  $2\pi/3$ .

Задача корисної моделі є підвищення енергетичних показників перетворювача і електроприводу в цілому. Це досягається:

Виключенням циркуляції енергії у ланці постійного струму і відповідних додаткових витрат у схемі перетворювача за рахунок того, що: вибір співвідношення напруг джерел інверторів обмежено значенням  $1:3:6$ , який виключає зміну напрямку передавання енергії другого джерела; а також використання попередньої модуляції сигналу завдання третьою гармонікою, амплітуда якої задається визначеною залежністю від амплітуди вихідної напруги, що виключає зміну напрямку передавання енергії першого джерела.

Поставлена задача вирішується тим, що у перетворювач, що містить в кожній вихідній фазі три послідовно з'єднаних інвертори, кожний інвертор складається з чотирьох ключів, три джерела, що підключені у діагональ постійного струму інверторів, напруга джерела першого інвертора  $U_1=U$  мінімальна, напруги джерел другого  $U_2$  і третього інверторів  $U_3$  різні і кратні  $U$ , причому кратність зростає від першого до третього інверторів, 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, входи керування ключів інверторів з'єднані з виходами блока керування з трьома входами завдання фазних напруг, систему керування електроприводом, на виходах якої формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача частоти складає  $2\pi/3$ , відповідно до корисної моделі, додатково вміщує на кожну фазу суматор і функціональний перетворювач, що формує сигнал третьої відносно вихідної частоти гармоніки, амплітуда якої визначається амплітудою сигналу завдання згідно з визначеною залежністю, вхід функціонального перетворювача з'єднано з виходом системи керування електроприводом і першим входом суматора, другий вхід суматора з'єднано з виходом функціонального перетворювача, а вихід до відповідного входу завдання фазних напруг блока керування, напруга другого і третього джерел становлять відповідно  $U_2=3U$  і  $U_3=6U$ .

Введення у схему додаткових суматора і функціонального перетворювача забезпечує попередню модуляцію сигналу завдання, що виключає зміну напрямку передавання енергії першим джерелом, для другого джерела зміну напрямку передавання енергії виключає вибір співвідношення напруг 1:3:6.

Запропоновані ознаки дозволяють виключити безцільну циркуляцію енергії в схемі перетворювача і додаткові витрати у схемі. Суть корисної моделі пояснюється кресленнями:

- Фіг.1 - функціональна схема несиметричного багаторівневого перетворювача частоти;

- Фіг.2 - функціональна схема однієї фази несиметричного багаторівневого перетворювача частоти;

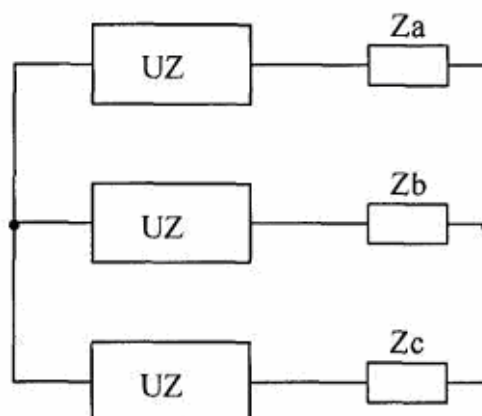
Несиметричний багаторівневий перетворювач частоти складається (Фіг.1) з трьох ідентичних фазних блоків, що з'єднані за схемою «зірка». Навантаження  $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_c$  (обмотка статора двигуна змінного струму) підключено до виходів перетворювача.

На Фіг.2 представлені: система керування електроприводом 1, функціональний перетворювач 2, суматор 3, блок керування 4, інвертори 5, 6, 7, джерела 8, 9, 10, напруги яких становлять  $U_1=U$ ,  $U_2=3U$ ,  $U_3=6U$ .

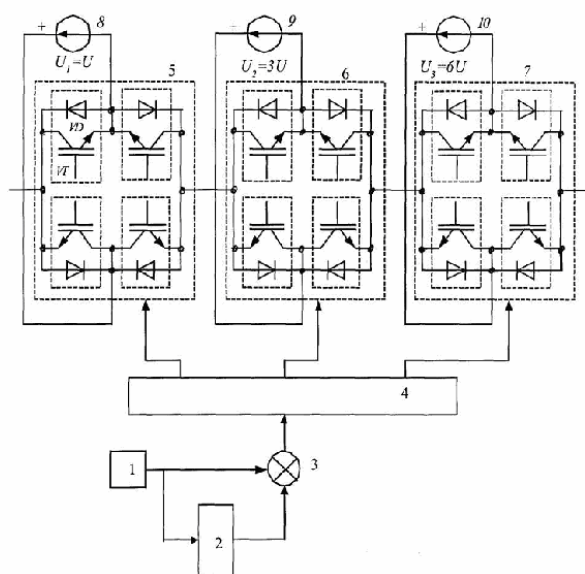
Несиметричний багаторівневий перетворювач частоти працює таким чином.

Синусоїдальна напруга заданої амплітуди і частоти  $u_{\text{зад}} = A \sin \omega t$  з виходу системи керування електроприводом 1 і напруга потроєної до заданої частоти  $A_3 \sin(3\omega t)$  і визначеної амплітуди  $A_3=f(A)$  з виходу функціонального перетворювача 2 надходять до входів суматора 3. Вихідна напруга суматора  $u_{\text{Зад1}} = (A \sin \omega t + A_3 \sin(3\omega t))$  надходить до входу блока керування 4. Блок керування 4 формує імпульси керування на ключі відповідних інверторів 5, 6, 7, чим забезпечує формування вихідної напруги фази перетворювача, яка має східчасту форму з постійним кроком  $U$ , що відтворює сигнал  $u_{\text{Зад1}}$ . Кількість рівнів (сходинок) у кожній напівхвилі вихідної напруги при максимальному її значенні дорівнює  $n=(U_1+U_2+U_3)/U=10$ . При цьому напруга відповідної сходинок визначається складанням або відніманням напруг інверторів. Введення третьої гармоніки дозволяє здійснити перерозподіл завантаження джерел, таким чином, що виключає зміну напрямку передавання енергії першого джерела 8 і в певних межах надає можливість регулювання потужності, що споживається від нього. За відсутності нульового дроту третя гармоніка у фазній напрузі навантаження відсутня і не впливає на його роботу. Використання співвідношення напруг джерел 1:3:6, коли в процесі формування вихідної напруги не використовується комбінацій напруг з відніманням напруги другого джерела 9 від напруги третього джерела 10, забезпечує його роботу з передаванням енергії у навантаження у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги.

Застосування запропонованої корисної моделі дозволяє, за рахунок вибору співвідношення напруг джерел інверторів 1:3:6 виключити циркуляцію енергії у ланці постійного струму, а також виключити зміну напрямку передавання енергії першим джерелом, при використанні попередньої модуляції сигналу завдання третьою гармонікою, амплітуда якої задається визначеною залежністю від амплітуди вихідної напруги. При живленні перетворювача від мережі змінного струму у якості джерел можуть бути використані некеровані випрямлячі на діодах з однобічною провідністю, що живляться від ізольованих обмоток трансформатору. Це спрощує схему перетворювача.



Фиг. 1



Фиг. 2