



УКРАЇНА

(19) UA (11) 30099 (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

2

(21) u200711834

(22) 26.10.2007

(24) 11.02.2008

(72) ШАВЬОЛКІН ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСІЙОВИЧ,
UA, ГРИГОР'ЄВА ОЛЕНА ГЕННАДІЇВНА, UA(73) ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ, UA

(57) Несиметричний багаторівневий перетворювач частоти, що містить в кожній вихідній фазі три ізолюваних джерела постійної напруги та 4 пари напівпровідникових ключів двобічної провідності, що містять повністю керований тиристор або транзистор і паралельно включений зворотний діод, джерела за допомогою пари ключів з'єднані між собою зустрічно-паралельно, а перше і останнє джерела - відповідно з вхідним і вихідним виводами фази перетворювача, входи керування ключів кожної фази з'єднані з відповідними виходами формувачів імпульсів, блок модуляції, перший вхід якого з'єднаний з виходом генератора трикутної напруги, на якому формується трикутна напруга з частотою модуляції, другий вхід блока модуляції з'єднаний з виходом блока віднімання, перший вхід якого з'єднаний з першим виходом блока дискретизації за рівнем, а другий вхід - з виходом блока дискретизації за рівнем і відповідним виходом системи керування

електроприводом, на виходах якої формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача частоти складає $2\pi/3$, вхідні виводи фаз перетворювача з'єднані між собою, вихідні призначені для підключення навантаження, який відрізняється тим, що в нього додатково введені на кожну фазу розподільник імпульсів з двома входами модуляції і інформаційним входом, напруги джерел різні і задаються згідно з амплітудою максимальної вихідної напруги U_m із співвідношення $E_1=U_m/6$, $E_2=U_m/2=3E_1$, $E_3=U_m/3=2E_1$, причому максимальну напругу $3E_1$ має джерело E_2 , розподільник імпульсів здійснює поочередний вибір комбінацій вмикання ключів із можливих сполучень напруги джерел: перший рівень - 0 і E_1 , другий рівень - E_3 і E_1 , третій рівень - E_2 і E_3 , четвертий рівень - E_2 і (E_2+E_1) , п'ятий рівень - (E_2+E_3) і (E_2+E_1) , шостий рівень - $(E_1+E_2+E_3)$ і (E_3+E_2) , інформаційний вхід розподільника імпульсів з'єднаний з другим виходом блока дискретизації за рівнем, а входи модуляції - з відповідними виходами блока модуляції, виходи розподільника імпульсів з'єднані з входами відповідних формувачів імпульсів.

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 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 (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), три ізолюваних джерела постійної напруги (далі - джерело), 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,

(13) U

(11) 30099

(19) UA

зсув між якими для трифазного перетворювача частоти складає $2\pi/3$.

Перетворювач працює таким чином.

Синусоїдальний сигнал заданої амплітуди і частоти для кожної фази перетворювача подається на відповідні входи блоку 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 напів-хвилі вихідної напруги при максимальному її значенні дорівнює $n=(U_1+U_2+U_3)/U$. При цьому напруга відповідної сходинки визначається складанням або відніманням напруг інверторів. Цей перетворювач

1. При загальній кількості ключів 12 на фазу, 6 із них проводять струм одночасно. Це обумовлює значні витрати потужності, як статичні, так і на перемикання, що обумовлює зниження коефіцієнту корисної дії перетворювача в цілому і ускладнює систему охолодження.

2. Використання джерел з 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.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі, що заявляється, є багаторівневий перетворювач частоти [Патент України на винахід №77559 МПК H02P27/04, H02M5/00, опубл. 15.12.2006, Бюл. №12], що містить в кожній вихідній фазі три ізольованих джерела постійної напруги E та 4 пари напівпровідникових ключів двобічної провідності, що містять в собі повністю керований тиристор або транзистор і паралельно включений зворотний діод, джерела за допомогою пари ключів з'єднуються між собою зустрічно-паралельно, а перше і останнє джерела відповідно з вхідним і вихідним виводами фази перетворювача, входи керування ключів кожної фази з'єднані з відповідними виходами формувачів імпульсів, входи формувачів імпульсів першої пари ключів, що утворюють вхідний вивід фази з'єднані з виходами блока модуляції, перший вхід якого з'єднаний з виходом генератора трикутної напруги, на якому формується трикутна напруга з частотою модуляції, другий вхід блоку модуляції з'єднаний з виходом блоку віднімання, перший вхід якого з'єднаний з першим виходом блоку дискретизації за рівнем, а другий вхід з входом блоку дискретизації за рівнем і відповідним виходом системи керування електроприводом, на виходах якої формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача частоти складає $2\pi/3$, другий вхід блоку дискретизації за рівнем з'єднаний з входом

розподільника імпульсів, інформаційні виходи якого з'єднані з входами відповідних формувачів імпульсів (за винятком першої пари ключів), вихідні виходи фаз перетворювача частоти з'єднані між собою, вихідні призначені для підключення навантаження. Перетворювач працює таким чином.

Напруги джерел однакові і дорівнюють E . Керування ключами в процесі формування вихідної напруги здійснюється таким чином, що ключі кожної пари знаходяться у протилежних станах, при цьому по чергово використовуються комбінації ключів, що дозволяють отримати на виході значення напруги: $U=0, \pm E, \pm 2E, \pm 3E$.

Синусоїдальна напруга заданої амплітуди і частоти $U_{\text{зад}}$ з виходу системи керування електроприводом надходить на вхід блоку дискретизації за рівнем, де вона перетворюється відповідно рівню дискретизації, що дорівнює $1/3$ амплітуди $U_{\text{задмак}}$ в сигнал східчастої форми $U_{\text{сх}}$ на першому виході блоку дискретизації і послідовність імпульсів, що фіксують тривалість кожної сходинки $U_{\text{сх}}$, на другому виході блоку. Відповідно отриманим імпульсам здійснюється керування парами ключів, що з'єднують джерела між собою, а останнє з вихідним виводом фази перетворювача. Це забезпечує формування з напруг другого та третього джерел сигналу східчастої форми, що відтворює $U_{\text{сх}}$. Різниця між $U_{\text{зад}}$ і $U_{\text{сх}}$ $U_1=(U_{\text{зад}}-U_{\text{сх}})$ - похибка дискретизації, відпрацьовується методом ШІМ з напруги першого джерела при використанні першої пари ключів. У результаті вихідна напруга фази перетворювача формується як сума відповідних напруг. Кількість ключів на фазу при той же кількості джерел зменшилась з 12 до 8, відповідно зменшилась до 4 і кількість ключів, що одночасно проводять струм.

Цей перетворювач має наступні недоліки.

1. Кількість рівнів у кривій напівхвилі вихідної напруги при однакових напругах джерел $n=3$, що навіть при використанні широтно - імпульсної модуляції (ШІМ) напруги джерел обумовлює чималий коефіцієнт викривлення вихідної напруги (THD) і погіршення її гармонійного складу. Як наслідок - додаткові витрати енергії у

2. Обмеження кількості можливих комбінацій у процесі формування вихідної напруги (напруги суміжних джерел - першого і другого, другого і третього складаються, а напруги крайніх - першого і третього віднімаються) не дозволяє забезпечити формування вихідної напруги з постійним кроком U при довільному співвідношенні напруг джерел. Максимальне співвідношення напруг при використанні ШІМ становить 1:2:2 або 1:1:3 ($n=5$).

3. Використання джерел з різними напругами обумовлює необхідність використання операції віднімання їх напруги і можливість змінювання режиму роботи джерел у процесі регулювання вихідної напруги. Це обумовлює необхідність використання випрямлячів 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 ізольованих джерела постійної напруги та 4 пари напівпровідникових ключів двобічної провідності, що містять в собі повністю керований тиристор або транзистор і паралельно включений зворотний діод, джерела за допомогою пари ключів з'єднуються між собою зустрічно-паралельно, а перше і останнє джерела відповідно з вхідним і вихідним виводами фази перетворювача, входи керування напівпровідникових ключів кожної фази з'єднані з відповідними виходами формувачів імпульсів, блок модуляції, перший вхід якого з'єднаний з виходом генератора трикутної напруги, на якому формується трикутна напруга з частотою модуляції, другий вхід блоку модуляції з'єднаний з виходом блоку віднімання, перший вхід якого з'єднаний з першим виходом блоку дискретизації за рівнем, а другий вхід з виходом блоку дискретизації за рівнем і відповідним виходом системи керування електроприводом, на виходах якої формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача частоти складає $2\pi/3$, вхідні виводи фаз перетворювача частоти з'єднані між собою, вихідні призначені для підключення

Задачею корисної моделі є покращення енергетичних показників перетворювача частоти і електроприводу в цілому. Це досягається шляхом:

- покращення гармонійного складу вихідної напруги за рахунок збільшення кількості рівнів у кривій вихідної напруги при незмінній кількості напівпровідникових ключів у силовій схемі;
- виключення циркуляції енергії в ланці постійного струму.

Поставлена задача вирішується тим, що у несиметричний багаторівневий перетворювач частоти, що містить в кожній вихідній фазі три ізольованих джерела постійної напруги та 4 пари напівпровідникових ключів двобічної провідності, що містять в собі повністю керований тиристор або транзистор і паралельно включений зворотний діод, джерела за допомогою пари ключів з'єднуються між собою зустрічно-паралельно, а перше і останнє джерела відповідно з вхідним і вихідним виводами фази перетворювача, входи керування ключів кожної фази з'єднані з відповідними виходами формувачів імпульсів, блок модуляції, перший вхід якого з'єднаний з виходом генератора трикутної напруги, на якому формується трикутна напруга з частотою модуляції, другий вхід блоку модуляції з'єднаний з виходом блоку віднімання, перший вхід якого з'єднаний з першим виходом блоку дискретизації за рівнем, а другий вхід з виходом блоку дискретизації за рівнем і відповідним виходом системи керування електроприводом, на виходах якої формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача частоти складає $2\pi/3$, вхідні виводи фаз перетворювача з'єднані між собою, вихідні призначені для підключення

навантаження, відповідно до корисної моделі, в нього додатково введені: розподільник імпульсів з двома входами модуляції і інформаційним входом, напруги джерел різні і задаються згідно амплітуди максимальної вихідної напруги U_m із співвідношення $E_1 = U_m/6$, $E_2 = U_m/2 = 3E_1$, $E_3 = U_m/3 = 2E_1$, причому максимальну напругу $3E_1$ має джерело E_2 , розподільник імпульсів здійснює почерговий вибір комбінацій вмикання ключів із можливих сполучень напруги джерел: перший рівень - 0 і E_1 , другий рівень - E_3 і E_1 , третій рівень - E_2 і E_3 , четвертий рівень - E_2 і $(E_2 + E_1)$, п'ятий рівень - $(E_2 + E_3)$ і $(E_2 + E_1)$, шостий рівень - $(E_1 + E_2 + E_3)$ і $(E_3 + E_2)$, інформаційний вхід розподільника імпульсів з'єднано з другим виходом блоку дискретизації за рівнем, а входи модуляції з відповідними виходами блоку модуляції, виходи розподільника імпульсів з'єднані з входами відповідних формувачів імпульсів. Запропоновані ознаки дозволяють:

1. Використати співвідношення напруг 1:3:2 і отримати 6 додаткових рівнів з постійним кроком у кривій вихідної напруги фази перетворювача при незмінній її амплітуді і тій самій кількості джерел і ключів. Це дозволяє суттєво зменшити коефіцієнт кривилінійності напруги (THD) у всьому діапазоні її регулювання.

2. Забезпечити роботу всіх джерел у випрямному режимі з передаванням енергії у коло навантаження. Це дозволяє виключити циркуляцію енергії у ланці постійного струму. Суть корисної моделі пояснюється кресленнями:

- Фіг.1 - функціональна схема фази несиметричного багаторівневого перетворювача

- Фіг.2 - часові діаграми сигналів для фази несиметричного багаторівневого перетворювача частоти при максимальній амплітуді вихідної напруги.

Перетворювач складається з трьох ідентичних фазних блоків, що з'єднані за схемою «зірка». Система керування електроприводом 1 має виходи, на яких формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти з зсувом $2\pi/3$ для кожної з фаз перетворювача. Кожна фаза перетворювача (Фіг.1) містить блок дискретизації за рівнем 2, блок віднімання 3, розподільник імпульсів 4, блок модуляції 5, генератор трикутної напруги 6, формувачі імпульсів 7 і 8, три джерела

Перетворювач працює таким чином.

Синусоїдальна напруга заданої амплітуди і частоти $U_{\text{зад}}$ з виходу системи керування електроприводом 1 надходить на вхід блоку дискретизації за рівнем 2, де вона перетворюється в сигнал східчастої форми $U_{\text{сх}}$ (Фіг.2), згідно якому на виході блоку 2 формується послідовність імпульсів, відповідних рівнів, що фіксують тривалість відповідних сходенок $U_{\text{сх}}$. Розподільник імпульсів 4 формує на своїх виходах 8 послідовностей імпульсів, що через формувачі імпульсів 7 і 8 надходять на входи відповідних ключів 12-19, формувачі імпульсів 7 і 8 забезпечують підсилення імпульсів до необхідного рівня, часову затримку по передньому фронту для запобігання коротких перемикань при одночасному вмиканні ключів однієї пари, гальванічну розв'язку кіл керування і силового

кола перетворювача. Сигнал $U_1 = (U_{3\text{АД}} - U_{\text{СХ}})$ з виходу блоку віднімання 3 надходить на другий вхід блоку модуляції 5, де порівнюється з сигналом напруги трикутної форми $U_{\text{ТР}}$, що має несучу частоту. Якщо U_1 більше $U_{\text{ТР}}$ на першому виході блоку модуляції формується "1", а на другому - "0", у протилежному випадку стан виходів змінюється на протилежний. Означені імпульси через розподільник імпульсів 4 і формувачі імпульсів 7 і 8 надходять на входи керування відповідних ключів 12-19, які визначаються імпульсами з виходу блоку дискретизації за рівнем 2.

Так на першому рівні (інтервал $0-t_1$) при наявності "1" на першому виході блоку модуляції 5 вмикаються ключі 12, 15, 17, 19 і вихідна напруга дорівнює E_1 , при зміні стану вмикаються ключі 13, 15, 17, 19 і вихідна напруга дорівнює 0. Таким чином, задана напруга на першому рівні відпрацьовується методом ШІМ із напруги джерела E_1 (інтервали часу, де для відповідних джерел використовується регулювання методом ШІМ на Фіг.2 позначені більш темним кольором).

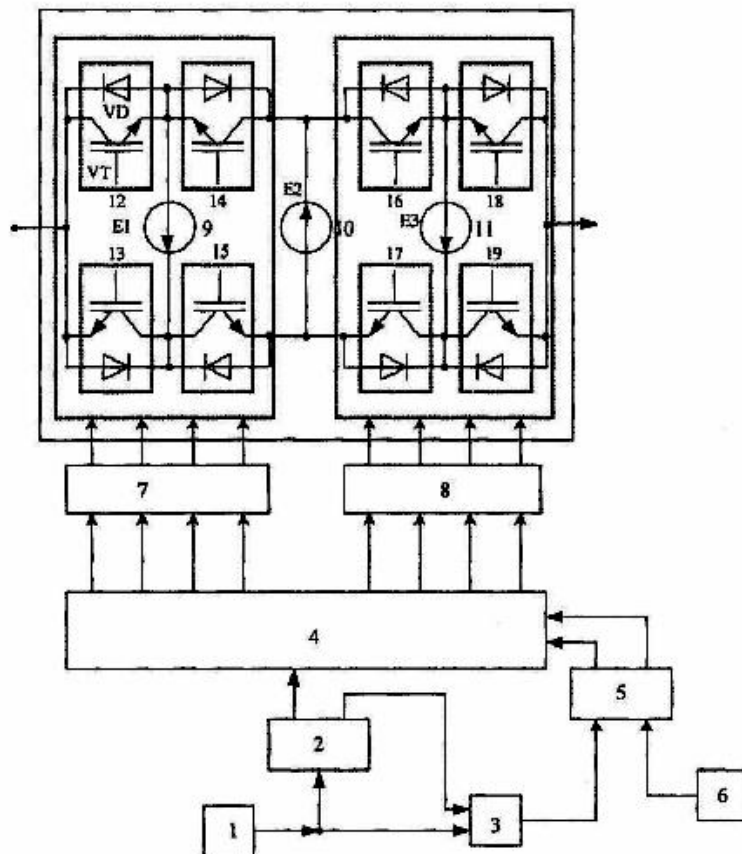
На другому рівні (інтервал t_1-t_2) при наявності "1" на першому виході блоку модуляції вмикаються

ключі 12, 14, 16, 19 і вихідна напруга дорівнює $E_3=2E_1$, при зміні стану вмикаються ключі 12, 15, 17, 19 і вихідна напруга дорівнює E_1 . Таким чином, задана напруга на другому рівні відпрацьовується методом ШІМ із напруги першого і третього джерел 9 і 11.

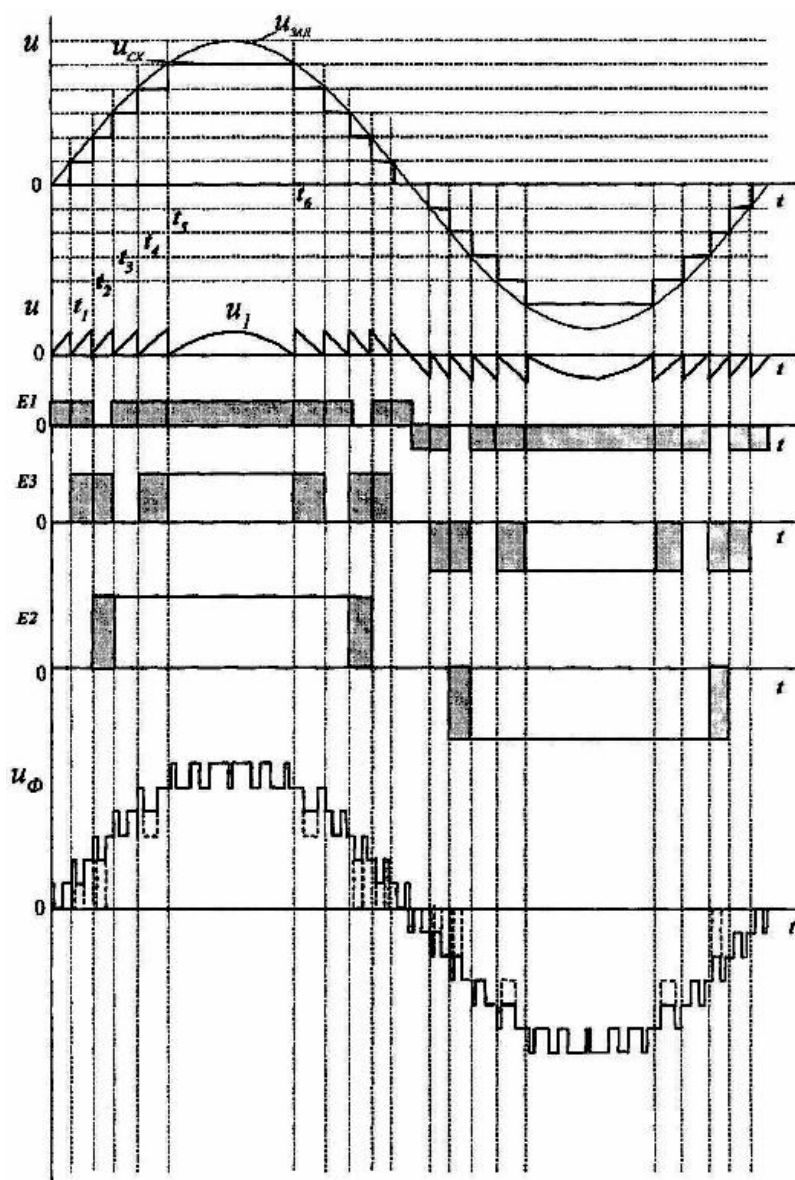
На третьому рівні (інтервал t_2-t_3) при наявності "1" на першому виході блоку модуляції вмикаються ключі 13, 15, 16, 18 і вихідна напруга дорівнює $E_2=3E_1$, при зміні стану вмикаються ключі 12, 14, 16, 19 і вихідна напруга дорівнює $E_3=2E_1$. Таким чином, задана напруга на третьому рівні відпрацьовується методом ШІМ із напруги другого і третього джерел 10 і 11.

На наступних рівнях постійно вмикається друге джерело 10, регулювання вихідної напруги здійснюється аналогічно першому - третьому

Застосування запропонованої корисної моделі дозволяє при збереженні кількості ключів схеми збільшити кількість рівнів у кривій вихідної напруги перетворювача, що покращує її гармонійний склад. Оскільки в процесі формування вихідної напруги виключена операція віднімання усі джерела працюють з передаванням енергії у навантаження.



Фіг. 1



Фиг. 2