



УКРАЇНА

(19) UA (11) 37698 (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) ГІБРИДНИЙ НЕСИМЕТРИЧНИЙ БАГАТОРІВНЕВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ

1

2

(21) u200807123

(22) 22.05.2008

(24) 10.12.2008

(46) 10.12.2008, Бюл.№ 23, 2008 р.

(72) ШАВЬОЛКІН ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСІЙОВИЧ,  
UA, ВЕРЕТЕННИКОВА ТЕТЯНА ЄВГЕНІВНА, UA(73) ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
"ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІ-  
ВЕРСИТЕТ", UA

(57) Гібридний несиметричний багаторівневий перетворювач частоти, що містить систему керування електроприводом, функціональний перетворювач, компаратор, два джерела з напругою  $U_3=6U$ , на кожну вихідну фазу два послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори напруги, які складаються з чотирьох ключів, джерело з напругою  $U_2=3U$ , негативний вивід якого підключено до негативного виводу діагоналі постійного струму другого з однофазних мостових інверторів напруги, вільний вивід діагоналі змінного струму першого однофазного мостового інвертора напруги утворює кінець фази перетворювача, що призначений для підключення навантаження, перемикач сигналів керування, блок керування, розподільник імпульсів, блок дискретизації за рівнем, суматор, вихід компаратора з'єднано з входом керування перемикача сигналів керування, виходи якого з'єднані з входами керування ключів відповідних однофазних мостових інверторів напруги, перші виходи системи керування електроприводом з'єднані з другим входом суматора, другий і третій виходи системи керування електроприводом з'єднані з відповідними входами функціонального перетворювача, другий вихід також з'єднано з входом компаратора, перший вихід функціонального перетворювача з'єднано з першим входом суматора, вихід суматора з'єднано з першим входом задання фазних напруг блока керування і блока дискретизації за рівнем, вихід якого з'єднано з входом розподільника імпульсів, виходи якого з'єднані з першими входами перемикача сигналів керування, з другими входами якого з'єднані виходи блока керування, другий вхід блока керування з'єднано з другим виходом функціонального перетворювача,

який відрізняється тим, що в нього додатково введені трифазний трирівневий інвертор напруги, кожна фаза якого має чотири послідовно згідно з'єднаних ключі, фільтр, релейний регулятор, два зарядних резистори, контактор з п'ятьма контактами, блок керування попереднім зарядженням, розподільник напруги на двох послідовно з'єднаних конденсаторах, спільна точка конденсаторів розподільника напруги являє собою нульовий вивід джерела, два джерела з напругою  $U_3=6U$  з'єднані послідовно згідно, позитивний вивід першого з них і негативний другого підключено до конденсаторів розподільника напруги через зарядні резистори, паралельно яким включені перший і другий контакти контактора, анод діода першого і катод діода останнього ключа інвертора напруги з'єднані відповідно з негативним і позитивним виводом конденсаторів розподільника напруги, анод діода другого ключа фази інвертора напруги є вихідним виводом фази інвертора напруги, а його катод з'єднано з катодом першого фіксуємого діода, катод діода четвертого ключа з'єднано з анодом другого фіксуємого діода, катод якого з'єднано з анодом першого фіксуємого діода і нульовим виводом джерела, до виходу кожної фази інвертора напруги підключено вільні виходи діагоналі змінного струму другого однофазного мостового інвертора напруги, у кожній фазі позитивний вивід джерела з напругою  $U_2=3U$  підключено до позитивного виводу діагоналі постійного струму другого з однофазних мостових інверторів напруги через контакт контактора, у діагональ постійного струму першого з однофазних мостових інверторів напруги підключено конденсатор, перемикач сигналів керування має додаткові входи, що з'єднані з відповідними виходами блока керування попереднім зарядженням, система керування електроприводом має додатковий вихід, на якому формується сигнал задання режиму попереднього зарядження, що з'єднано з входом блока керування попереднім зарядженням, функціональний перетворювач має два додаткових входи керування, які підключено до відповідних виходів релейного регулятора.

(13) U

(11) 37698

(19) UA

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 гібридний несиметричний багаторівневий перетворювач частоти (далі - перетворювач) [Martin Veenstra, Alfred Rufer, Control of a Hybrid Asymmetric Multilevel Inverter for Competitive Medium-Voltage Industrial Drives. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 41, NO. 2, MARCH/APRIL 2005. p. 655-664.], що містить джерело постійного струму (далі - джерело) з трьома рівнями напруги, що утворені розподільвачем напруги на двох послідовно з'єднаних конденсаторах, спільна точка конденсаторів розподільвачів напруги являє собою нульовий вивід джерела з трьома рівнями напруги, джерело з трьома рівнями напруги складається з двох послідовно з'єднаних трифазних мостових випрямлячів, що живляться від двох ізольованих вторинних обмоток трансформатора, що з'єднані за схемами "трикутник" і "зірка", трифазні мостові випрямлячі підключено до конденсаторів розподільвача напруги через зарядні резистори, з контакторами, що їх замикають, трифазний трирівневий інвертор напруги з нульовим виводом і фіксуючими діодами, кожна фаза якого має чотири послідовно згідно з'єднаних ключа двобічної провідності (далі - ключ), що складаються з повністю керованого тиристора або транзистора з паралельним зворотним діодом, анод зворотного діоду першого і катод зворотного діоду останнього ключа з'єднані відповідно з негативним і позитивним виводом конденсаторів розподільвача напруги, анод зворотного діоду другого ключа є вихідним виводом фази трифазного трирівневого інвертора напруги з нульовим виводом і фіксуючими діодами, а його катод з'єднано з катодом першого фіксуючого діоду, катод зворотного діоду четвертого ключа з'єднано з анодом другого фіксуючого діоду, катод якого з'єднано з анодом першого фіксуючого діоду і нульовим виводом джерела з трьома рівнями напруги, до виходу кожної фази трифазного трирівневого інвертора напруги з нульовим виводом і фіксуючими діодами підключено вивід діагоналі змінного струму однофазного мостового інвертора напруги, що складається з чотирьох ключів, у діагональ постійного струму однофазного мостового інвертора напруги підключено конденсатор, вільні виводи діагоналі змінного струму однофазного мостового інвертора напруги призначені для підключення навантаження, керуючі виводи ключів трифазного трирівневого інвертора напруги і однофазного мостового інвертора напруги з'єднані з відповідними виводами блоку керування перетворювача, входи яких підключені до відповідних виходів регулятора, що прогнозує, вхід регулятора, що прогнозує з'єднано з виходом системи керування.

Перетворювач працює таким чином.

Оскільки однофазні мостові інвертори напруги не мають джерел схема передбачає попередній

заряд їх конденсаторів до вмикання перетворювача. Попереднє заряджання конденсаторів однофазних мостових інверторів напруги здійснюється від джерел трифазних трирівневих інверторів напруги з нульовим виводом і фіксуючими діодами разом з конденсаторами розподільвача напруги через зарядні резистори і коло навантаження. При цьому трифазний трирівневий інвертор напруги з нульовим виводом і фіксуючими діодами працює у режимі 6-ти-тактного перемикача з вихідною напругою  $\pm 3U$ , однофазні мостові інвертори напруги перемикаються у протифазі таким чином, що їх напруга віднімається. Це відповідає передаванню енергії у коло постійного струму і заряджання конденсаторів схеми. По завершенні заряду, зарядні резистори замикаються контакторами.

Сигнал завдання для кожної фази перетворювача формується регулятором, що прогнозує як сума основної і кратних їй гармонік  $u_{\text{зад}} = (A_1 \sin \omega t + A_3 \sin(3\omega t) + A_9 \sin(9\omega t))$  і подається на відповідні входи блоку керування, який формує імпульси керування на ключі трифазних трирівневих інверторів напруги з нульовим виводом і фіксуючими діодами і однофазних мостових інверторів напруги, 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. При відсутності нульового дроту з боку навантаження, гармоніки з частотами кратними трьом у фазних напругах навантаження відсутні. Регулятор, що прогнозує, згідно струму навантаження і відповідно визначеним математичним залежностям моделює процеси заряджання конденсаторів і розраховує поточні значення амплітуди  $A_3$  і  $A_9$  за умовою підтримання напруги на конденсаторах однофазного мостового інвертора напруги постійною з деяким відхиленням від значення  $U$ .

Кількість рівнів (сходинок) у кожній напівхвилі вихідної напруги перетворювача при максимальному її значенні дорівнює  $n = (3U + U)/U = 4$ . При цьому вихідна напруга відповідної сходинки визначається складанням або відніманням напруг інверторів.

Цей перетворювач має наступні недоліки.

1. Обмежений діапазон регулювання напруги у межах  $1,5U - 3,5U$ , коли забезпечується підтримання режиму однофазних мостових інверторів напруги за рахунок введення третьої та дев'ятої гармонік, це ускладнює реалізацію частотного керування і пуску двигуна.

2. В наслідок обмеженої кількості рівнів вихідна напруга перетворювача має значний коефіцієнт гармонік, що обумовлює додаткові витрати енергії на нагрівання двигуна.

3. Використання двох регулюючих параметрів (третья та дев'ята гармоніки) значно ускладнює систему керування і передбачає необхідність використання спеціального модельно-прогнозуючого регулятора для стабілізації напруги конденсаторів схеми.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є несиметричний багаторівневий перетворювач частоти [Патент України на корисну модель

№31075 Н02Р 27/04, опубл. 25.03.2008, Бюл. №6], який містить в кожній вихідній фазі три послідовно з'єднаних однофазних мостових інверторів напруги, кожний однофазний мостовий інвертор напруги складається з чотирьох ключів, трьох джерел, що підключені у діагональ постійного струму однофазних мостових інверторів напруги, напруга джерел першого однофазного мостового інвертора напруги  $U_1=U$  мінімальна, напруга джерел другого і третього однофазних мостових інверторів напруги становлять відповідно  $U_2=3U$  і  $U_3=6U$ , вільні виходи діагоналі змінного струму першого і останнього однофазних мостових інверторів напруги утворюють відповідно початок і кінець фази несиметричного багаторівневого перетворювача частоти, початки фаз якого з'єднані між собою, кінці призначені для підключення навантаження, системі керування електроприводом, функціональний перетворювач, компаратор, на кожну фазу перемикач сигналів керування, блок керування, розподільувач імпульсів, блок дискретизації за рівнем, суматор, вихід компаратора з'єднано з входом керування перемикача сигналів керування, виходи якого з'єднані з входами керування ключів відповідних інверторів, перші виходи системи керування електроприводом з'єднані з другим входом суматора, другий і третій виходи системи керування електроприводом з'єднані з відповідними входами функціонального перетворювача, другий вихід також з'єднано з входом компаратора, перший вихід функціонального перетворювача з'єднано з першим входом суматора, вихід суматора з'єднано з першим входом завдання фазних напруг блока керування і блока дискретизації за рівнем, вихід якого з'єднано з входом розподільувача імпульсів, виходи якого з'єднані з першими входами перемикача сигналів керування, з другими входами якого з'єднані виходи блока керування, другий вхід блока керування з'єднано з другим виходом функціонального перетворювача.

Перетворювач працює таким чином.

Система керування забезпечує комбінований алгоритм формування вихідної напруги з використанням багаторівневої ШІМ при малих амплітудах вихідної напруги, при значній кількості рівнів здійснюється перехід до амплітудного регулювання з квантуванням за рівнем. Сигнал заданої амплітуди  $A$  з виходу системи керування електроприводом надходить до входу компаратору, що визначає алгоритм формування вихідної напруги. Його вихідний сигнал надходить до входу керування перемикачем сигналів керування, що здійснює перемикання імпульсів з виходу розподільувача імпульсів (при відносній амплітуді  $A \geq 3$ ) або блока керування (при  $A < 3$ ) на відповідні входи керування ключів однофазних мостових інверторів напруги. Зміну напрямку передавання енергії другого джерела виключає вибір співвідношення напруг джерел 1:3:6. Виключення зміни напрямку передавання енергії першим джерелом досягається при амплітуді заданої напруги  $1,8 > A > 2,4$  попередньою модуляцією сигналу завдання третьою гармонією, амплітуда якої задається згідно визначеній залежності від  $A$ , при амплітуді  $1,8 < A < 2,4$  здійснюється корегування алгоритму ШІМ у бік зменшення три-

валості вмикання другого однофазного мостового інвертора напруги, згідно визначеній залежності  $k=f(A)$ .

Цей несиметричний багаторівневий перетворювач частоти має наступні недоліки.

1. Погане використання напруги джерел - загальна напруга джерел становить  $(6U+3U+U)3=30U$ .

2. Велика кількість джерел, що при живленні від мережі змінного струму містять трифазний мостовий випрямляч і комплект вторинних обмоток. Це обумовлює додаткові витрати енергії і ускладнює конструкцію вхідного трансформатору.

3. Використання однофазних мостових інверторів напруги обумовлює виникнення субгармонійних складових змінного струму, що споживаються однофазними мостовими випрямлячами.

4. Існує проблема з обмеженням струму заряджання конденсаторів у вихідних колах джерел.

Ознаки найближчого аналогу, які збігаються з ознаками корисної моделі, що заявляється: системі керування електроприводом, функціональний перетворювач, компаратор, два джерела з напругою  $U_3=6U$ , на кожну вихідну фазу два послідовно з'єднаних однофазних мостових інверторів напруги, які складаються з чотирьох ключів, джерело з напругою  $U_2=3U$ , негативний вивід якого підключено до негативного виводу діагоналі постійного струму другого з однофазних мостових інверторів напруги, вільний вивід діагоналі змінного струму першого однофазного мостового інвертора напруги утворює кінець фази перетворювача, що призначений для підключення навантаження, перемикач сигналів керування, блок керування, розподільувач імпульсів, блок дискретизації за рівнем, суматор, вихід компаратора з'єднано з входом керування перемикача сигналів керування, виходи якого з'єднані з входами керування ключів відповідних однофазних мостових інверторів напруги, перші виходи системи керування електроприводом з'єднані з другим входом суматора, другий і третій виходи системи керування електроприводом з'єднані з відповідними входами функціонального перетворювача, другий вихід також з'єднано з входом компаратора, перший вихід функціонального перетворювача з'єднано з першим входом суматора, вихід суматора з'єднано з першим входом завдання фазних напруг блока керування і блока дискретизації за рівнем, вихід якого з'єднано з входом розподільувача імпульсів, виходи якого з'єднані з першими входами перемикача сигналів керування, з другими входами якого з'єднані виходи блока керування, другий вхід блока керування з'єднано з другим виходом функціонального перетворювача.

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

1. Зменшенням кількості джерел і, відповідно, витрат енергії у них, а також кращим використанням напруги джерел.

2. Покращенням гармонійного складу струму, що споживається перетворювачем при живленні його від джерела змінного струму за рахунок зменшення субгармонійних складових.

3. Обмеженням струму заряджання конденсаторів схеми у вихідних колах джерел на етапі їх попереднього заряду.

Поставлена задача вирішується тим, що перетворювач, що містить систему керування електроприводом, функціональний перетворювач, компаратор, два джерела з напругою  $U_3=6U$ , на кожну вихідну фазу два послідовно з'єднаних однофазних мостових інверторів напруги, які складаються з чотирьох ключів, джерело з напругою  $U_2=3U$ , негативний вивід якого підключено до негативного виводу діагоналі постійного струму другого з однофазних мостових інверторів напруги, вільний вивід діагоналі змінного струму першого однофазного мостового інвертора напруги утворює кінець фази перетворювача, що призначений для підключення навантаження, перемикач сигналів керування, блок керування, розподільювач імпульсів, блок дискретизації за рівнем, суматор, вихід компаратора з'єднано з входом керування перемикача сигналів керування, виходи якого з'єднані з входами керування ключів відповідних однофазних мостових інверторів напруги, перші виходи системи керування електроприводом з'єднані з другим входом суматора, другий і третій виходи системи керування електроприводом з'єднані з відповідними входами функціонального перетворювача, другий вихід також з'єднано з входом компаратора, перший вихід функціонального перетворювача з'єднано з першим входом суматора, вихід суматора з'єднано з першим входом завдання фазних напруг блока керування і блока дискретизації за рівнем, вихід якого з'єднано з входом розподільювача імпульсів, виходи якого з'єднані з першими входами перемикача сигналів керування, з другими входами якого з'єднані виходи блока керування, другий вхід блока керування з'єднано з другим виходом функціонального перетворювача відповідно до корисної моделі додатково вміщує трифазний трирівневий інвертор напруги, кожна фаза якого має чотири послідовно згідно з'єднаних ключа, фільтр, релейний регулятор, два зарядних резистори, контактор з п'ятьма контактами, блок керування попереднім заряджанням, розподільювач напруги на двох послідовно з'єднаних конденсаторах, спільна точка конденсаторів розподільювача напруги являє собою нульовий вивід джерела, два джерела з напругою  $U_3=6U$  з'єднані послідовно згідно, позитивний вивід першого з них і негативний другого підключено до конденсаторів розподільювача напруги через зарядні резистори, паралельно яким включені перший і другий контакти контактору, анод діоду першого і катод діоду останнього ключа інвертора напруги з'єднані відповідно з негативним і позитивним виводом конденсаторів розподільювача напруги, анод діоду другого ключа фази інвертора напруги є вихідним виводом фази інвертора напруги, а його катод з'єднано з катодом першого фіксуючого діоду, катод діоду четвертого ключа з'єднано з анодом другого фіксуючого діоду, катод якого з'єднано з анодом першого фіксуючого діоду і нульовим виводом джерела, до виходу кожної фази інвертора напруги підключено вільні виходи діагоналі змінного струму другого однофазного мостового інвертора

напруги, у кожній фазі позитивний вивід джерела з напругою  $U_2=3U$  підключено до позитивного виводу діагоналі постійного струму другого з однофазних мостових інверторів напруги через контакт контактору, у діагональ постійного струму першого з однофазних мостових інверторів напруги підключено конденсатор, перемикач сигналів керування має додаткові входи, що з'єднані з відповідними виходами блока керування попереднім заряджанням, система керування електроприводом має додатковий вихід, на якому формується сигнал завдання режиму попереднього заряджання, що з'єднано з входом блока керування попереднім заряджанням, функціональний перетворювач має два додаткових входи керування, які підключено до відповідних виходів релейного регулятора.

Виключення із схеми перетворювача трьох джерел для першого однофазного мостового інвертора напруги кожної фази і використання замість трьох однофазних мостових інверторів напруги з ізолюваними джерелами  $U_3=6U$  інвертора напруги, для живлення якого використано тільки два джерела з напругою  $U_3=6U$  дозволяє зменшити загальну кількість джерел до п'яти, їх загальна напруга  $2(6U)+3(3U)=21U$ . Це забезпечує краще використання схеми за напругою і зменшення витрат енергії на нагрівання.

Введення у схему зарядних резисторів, контактору з п'ятьма контактами і блока керування попереднім заряджанням забезпечує попереднє заряджання конденсаторів схеми через навантаження з обмеженням їх струму.

Введення у схему додаткових фільтра і релейного регулятора, що керує функціональним перетворювачем, забезпечує підтримання напруги конденсаторів першого з однофазних мостових інверторів напруги з відхиленням, що контролюється.

Запропоновані ознаки дозволяють зменшити витрати у схемі.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням. На Фіг. відображена функціональна схема гібридного несиметричного багаторівневого перетворювача частоти, де система керування електроприводом 1, функціональний перетворювач 2, компаратор 3, суматор 4, блок дискретизації за рівнем 5, розподільювач імпульсів 6, блок керування 7, блок керування попереднім заряджанням 8, фільтр 9, релейний регулятор 10, перемикач сигналів керування 11, інвертор напруги 12, однофазні мостові інвертори напруги 13, 14, контакти контактору 15, 17, 22, джерело 16 з напругою  $U_2=3U$ , зарядні резистори 18, 21, джерела 19, 20 з напругою  $U_3=6U$ , конденсатори розподільювача напруги 23, 24, конденсатори однофазного мостового інвертора напруги 25, 26, трифазний двигун змінного струму 27.

Перетворювач працює таким чином.

Синусоїдальна напруга  $A \sin \omega t$  заданої амплітуди  $A$  (у подальшому використовуються відносні одиниці - по відношенню до  $U$ ) і частоти  $\omega$  з виходу системи керування електроприводом 1 надходить до одного з входів суматора 4. Функціональний перетворювач 2, на входи якого з відповідних додаткових виходів системи керування електро-

приводом надходять сигнали  $A$  і  $\sin(3\omega t)$ , формує на першому виході напругу  $A_3 \sin(3\omega t)$ , а на другому сигнал, що пропорційний  $k$  ( $k < 1$ ). Значення  $A_3$  і  $k$  визначаються певними залежностями від  $A$ . Напруга подана до заданої частоти  $A_3 \sin(3\omega t)$  з виходу функціонального перетворювача 2 надходить до другого входу суматора 4. Вихідна напруга суматора  $u_{\text{зад}} = (A \sin \omega t + A_3 \sin(3\omega t))$  надходить до входу завдання фазних напруг блока керування 7 і блока дискретизації за рівнем 5. Сигнал заданої амплітуди з додаткового виходу системи керування електроприводом також надходить до входу компаратору 3, що визначає алгоритм формування вихідної напруги. Його вихідний сигнал надходить до входу керування перемикачем сигналів керування 11.

Однофазний мостовий інвертор напруги 14 не має джерела. Заряд конденсатора однофазного мостового інвертора напруги 26 у колі постійного струму однофазного мостового інвертора напруги до напруги  $U$  забезпечується на етапі попереднього заряджання до переходу перетворювача у робочий режим, що визначає система керування електроприводом 1 подачею відповідного сигналу на блок керування попереднім заряджанням 8.

Попереднє заряджання конденсаторів схеми 23, 24 здійснюється від джерел 19, 20 інвертора напруги 12 разом з його конденсаторами 23, 24 через зарядні резистори 18, 21 і коло навантаження 27. При цьому джерело 16 від другого однофазного мостового інвертора напруги 13 відключається. Інвертор напруги 12 працює у режимі 6-ти тактного перемикача з вихідною напругою  $\pm 6U$ , однофазні мостові інвертори напруги 13, 14 перемикаються у протифазі таким чином, що їх напруга віднімається, це відповідає передаванню енергії у коло постійного струму і заряджанню конденсаторів схеми. Звичайно ємність конденсаторів обирається зворотно пропорційно їх напругам, тому заряджання конденсаторів 25, 26 другого і першого однофазних мостових інверторів напруги, що здійснюється при послідовному їх з'єднанні однаковим струмом триває різний час. Тому заряджання здійснюється у три етапи: попереднє заряджання конденсатору 26, що має найбільшу ємність; одночасне заряджання всіх конденсаторів до повного заряду конденсаторів 25, 26, що завершується досягненням напруги конденсатору 26 до значення  $U$ ; остаточне заряджання конденсаторів 23, 24. По завершенні заряду конденсаторів 23, 24 зарядні резистори 18, 21 замикаються контактами контактору 17, 22 і також замикається контакт 15, що

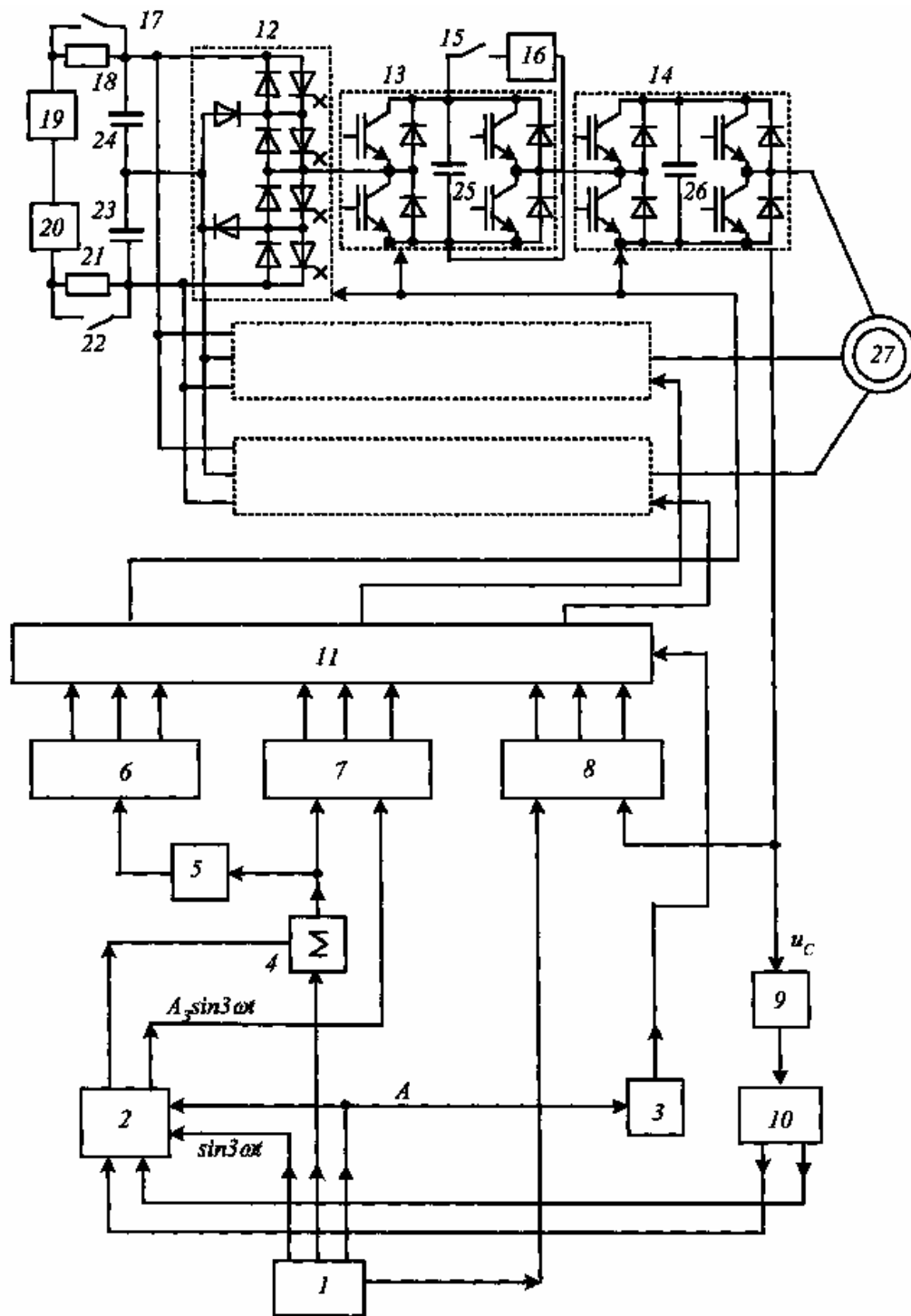
підключає джерело 16 до другого однофазного мостового інвертора напруги 13.

Зміна алгоритму роботи перетворювача здійснюється за сигналом компаратора 3. При цьому за допомогою перемикача сигналів керування 11 до входів керування ключів інверторів 12, 13, 14 надходять імпульси з або з розподільвача імпульсів 6, або з блока керування 7, або блока керування попереднім заряджанням 8.

Підтримання напруги у колі постійного струму однофазного мостового інвертора напруги 14 у робочому режимі здійснює замкнена за напругою система керування електроприводом 1 з релейним регулятором 10. Релейний регулятор 10 має два виходи і два стани, коли напруга менша ( $U - \Delta U$ ) сигнал "1" присутній на першому виході, що передбачає негативне значення прирощення першої гармоніки вихідної напруги  $-\Delta U_{1(1)}$  однофазного мостового інвертора напруги 14, коли енергія надходить у коло постійного струму і конденсатор 26 заряджається із зростанням напруги на ньому. Якщо напруга стає більше ( $U + \Delta U$ ) сигнал "1" присутній на другому виході, що передбачає позитивне значення прирощення  $+\Delta U_{1(1)}$ , коли енергія надходить з кола постійного струму у коло змінного струму і конденсатор 26 розряджається із зменшенням напруги на ньому. Фільтр 9 забезпечує додаткове згладжування пульсацій напруги конденсатора 26.

Виходи релейного регулятора 10 з'єднано з входами керування функціонального перетворювача 2, що здійснює зміну вихідних регулюючих параметрів (амплітуда третьої гармоніки  $A_3$  і коефіцієнт послаблення  $k$ ) згідно визначеним залежностям, що забезпечує відповідне прирощення першої гармоніки вихідної напруги  $\pm \Delta U_{1(1)}$  відносно нуля.

Застосування запропонованої корисної моделі дозволяє зменшити витрати енергії у схемі за рахунок зменшення кількості джерел. Використання інвертора напруги з відповідним з'єднанням джерел у колі постійного струму дозволяє виключити субгармонійні складові струму при живленні від мережі змінного струму оскільки пульсації напруги конденсаторів на вході інвертора напруги, що мають частоту кратну вихідній частоті, взаємно компенсуються. Це дозволяє покращити гармонійний склад вхідного струму при живленні перетворювача від мережі змінного струму. У якості джерела можуть бути використані некеровані випрямлячі на діодах, що живляться від ізолюваних обмоток трансформатору.



Фіг.