



УКРАЇНА

(19) UA (11) 50428 (13) U  
(51) МПК (2009)  
H02P 27/04МІНІСТЕРСТВО 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) u200912541

(22) 03.12.2009

(24) 10.06.2010

(46) 10.06.2010, Бюл.№ 11, 2010 р.

(72) ШАВЬОЛКІН ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСІЙОВИЧ

(73) ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІ-  
ВЕРСИТЕТ

(57) Гібридний несиметричний багаторівневий перетворювач, що містить трирівневий трифазний інвертор напруги з нульовим виводом і фіксуючими діодами, кожна фаза якого має чотири послідовно з'єднані ключі двобічної провідності, що складаються з повністю керованого тиристора або транзистора з паралельним зворотним діодом, на кожну вихідну фазу два послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори, які складаються з чотирьох ключів, вільний вивід діагоналі змінного струму першого однофазного інвертора утворює вихід фази перетворювача частоти, що призначений для підключення навантаження, розподільвач напруги на двох послідовно з'єднаних конденсаторах, спільна точка конденсаторів являє собою нульовий вивід джерела, два джерела з'єднані послідовно згідно, катод діода першого і анод діода останнього ключа фаз трирівневого трифазного інвертора з'єднані відповідно з позитивним і негативним виводом конденсаторів розподільвача напруги, анод діода другого ключа фази трирівневого трифазного інвертора є вихідним виводом фази інвертора, а його катод з'єднано з катодом першого фіксуючого діода, катод діода четвертого ключа з'єднано з анодом другого фіксуючого діода, катод якого з'єднано з анодом першого фіксуючого діода і нульовим виводом джерела, до виходу кожної фази трирівневого трифазного інвертора підключено вільні виводи діагоналі змінного струму другого однофазного мостового інвертора напруги, у діагональ постійного струму однофазних інверторів підключено конденсатор, систему керування електроприводом, функціональний перетворювач, розподільвач імпульсів, блок керування попереднім зарядженням, перемикач сигналів керування, суматор, блок дискретизації за рівнем, виходи перемикача сигналів керування з'єднані з входами керування ключів відповідних інверторів у фазах

перетворювача, перші виходи системи керування електроприводом, на яких формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача частоти складає  $2\pi/3$ , з'єднані з другим входом суматора, на другому і третьому виходах системи керування електроприводом формуються відповідно сигнал заданої амплітуди і синусоїда потроєної до заданої частоти, вони з'єднані з відповідними входами функціонального перетворювача, перший вихід функціонального перетворювача з'єднано з першим входом суматора, вихід суматора з'єднано з входом блока дискретизації за рівнем, вихід якого з'єднано з входом розподільвача імпульсів, виходи якого з'єднані з першими входами перемикача сигналів керування, треті входи перемикача сигналів керування з'єднані з відповідними виходами блока керування попереднім зарядженням, четвертий вихід системи керування електроприводом, на якому формується сигнал задання режиму попереднього зарядження, з'єднано з входом блока керування попереднім зарядженням, другий вхід якого з'єднано з конденсатором першого інвертора, який відрізняється тим, що в нього додатково введені блок фільтрів, дворівневого регулятора, блок попереднього зарядження має додатковий вхід, суматор має додатковий вхід, система керування електроприводом має додатковий вихід, на якому формується синусоїда з частотою, що в дев'ять разів вище заданої частоти, функціональний перетворювач має додатковий вихід, що з'єднано з додатковим виходом системи керування електроприводом, другий вихід функціонального перетворювача з'єднано з додатковим входом суматора, входи керування функціонального перетворювача підключено до виходів дворівневого регулятора, вхід дворівневого регулятора через блок фільтрів підключено до конденсаторів однофазних інверторів фаз перетворювача, додатковий вхід блока попереднього зарядження з'єднано з конденсатором другого інвертора, вільні виводи джерел згідно з їх полярністю підключено до позитивного і негативного виводів конденсаторів розподільвача напруги.

(19) UA (11) 50428 (13) U

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) [Патент України на корисну модель №31075 Н02Р27/04, опубл.25.03.2008, Бюл. №6], який містить в кожній вихідній фазі три послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори, кожний інвертор складається з чотирьох ключів, три джерела постійного струму, що підключені у діагональ постійного струму інверторів, напруга джерела першого інвертора  $U_1=U$  мінімальна, напруга другого і третього джерел становлять відповідно  $U_2=3U$  і  $U_3=6U$ , вільні виходи 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, 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 на яких формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача частоти складає  $2\pi/3$  з'єднані з другим входом суматора, на другому і третьому виходах системи керування електроприводом формуються відповідно сигнал заданої амплітуди і синусоїда потроєної до заданої частоти, вони 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.

Цей перетворювач має наступні недоліки.

1. У процесі формування вихідної напруги використовується ШІМ, що збільшує витрати енергії на перемикання ключів перетворювача.

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

3. Використання однофазних інверторів обумовлює виникнення субгармонійних складових змінного струму, що споживається випрямлячем.

4. Навантаження інверторів у фазі перетворювача суттєво відрізняється, що ускладнює компен-

сацію вищих гармонік струму, що споживається з мережі змінного струму.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є гібридний несиметричний багаторівневий перетворювач частоти (далі - перетворювач) [Патент України на корисну модель №37698, МПК Н02Р7/00, опубл. 10.12.2008, Бюл. №23], який містить трирівневий трифазний інвертор напруги з нульовим виводом і фіксуючими діодами, кожна фаза якого має чотири послідовно згідно з'єднані ключі двобічної провідності, що складаються з поєднання керованого тиристора або транзистора з паралельним зворотним діодом, на кожну вихідну фазу два послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори, які складаються з чотирьох ключів, джерело постійного струму з напругою  $U_2=3U$ , негативний вивід якого підключено до негативного виводу діагоналі постійного струму другого з однофазних інверторів, вільний вивід діагоналі змінного струму першого однофазного інвертора утворює вихід фази перетворювача частоти, що призначений для підключення навантаження, два зарядних резистори, контактор з п'ятьма контактами, розподільувач напруги на двох послідовно з'єднаних конденсаторах, спільна точка конденсаторів 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 через зарядні резистори, паралельно яким включені перший і другий контакти контактору, катод діода першого і анод діода останнього ключа фаз трирівневого трифазного інвертора з'єднані відповідно з позитивним і негативним виводом конденсаторів розподільувача напруги, анод діода другого ключа фази трирівневого трифазного інвертора є вихідним виводом фази інвертору, а його катод з'єднано з катодом першого фіксуючого діода, катод діода четвертого ключа з'єднано з анодом другого фіксуючого діода, катод якого з'єднано з анодом першого фіксуючого діода і нульовим виводом джерела, до виходу кожної фази трирівневого трифазного інвертору 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 інверторів через контакт контактору, у діагональ постійного струму однофазних інверторів підключено конденсатор, систему керування електроприводом, функціональний перетворювач, компаратор, розподільувач імпульсів, блок керування, блок керування попереднім зарядженням, перемикач сигналів керування, фільтр, релейний регулятор, вхід якого через фільтр підключено до конденсатору першого однофазного інвертора однієї з фаз перетворювача, суматор, блок дискретизації за рівнем, вихід компаратора з'єднано з входом керування перемикача сигналів керування, виходи якого з'єднані з входами керування ключів відповідних інверторів у фазах перетворювача, перші виходи системи керування електроприводом на яких формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача

частоти складає  $2\pi/3$  з'єднані з другим входом суматора, на другому і третьому виходах системи керування електроприводом формуються відповідно сигнал заданої амплітуди і синусоїда потроєної до заданої частоти, вони з'єднані з відповідними входами функціонального перетворювача, другий вихід заданої амплітуди також з'єднано з входом компаратору, 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, треті входи перемикача сигналів керування з'єднані з відповідними виходами блока керування попереднім заряджанням, четвертий вихід системи керування електроприводом, на якому формується сигнал завдання режиму попереднього заряджання з'єднано з входом блока керування попереднім заряджанням, другий вхід якого з'єднано з конденсатором першого інвертору, входи керування функціонального перетворювача підключено до відповідних виходів релейного регулятора.

Цей перетворювач частоти працює таким чином.

Перші інвертори у фазах не мають джерела живлення. Заряд конденсатора у колі постійного струму інвертора до напруги  $U$  забезпечується на етапі попереднього заряджання до переходу перетворювача у робочий режим, що визначає система керування електроприводом подачею відповідного сигналу на блок керування попереднім заряджанням.

Попереднє заряджання конденсаторів схеми здійснюється від джерел постійного струму трирівневого інвертора разом з його конденсаторами через зарядні резистори і коло навантаження. При цьому джерела від других інверторів відключаються. Трирівневий інвертор працює у режимі 6-ти тактного перемикача з вихідною напругою  $\pm 6U$ , однофазні інвертори перемикаються у протифазі таким чином, що їх напруга віднімається. Це відповідає передаванню енергії у коло постійного струму і заряджання конденсаторів. Заряджання здійснюється у три етапи: попереднє заряджання конденсатору першого інвертору, що має найбільшу ємність; одночасне заряджання всіх конденсаторів до повного заряду конденсатору першого і другого інвертору, що завершується досягненням напруги конденсатору першого інвертору до значення  $U$ ; остаточне заряджання конденсаторів на вході трирівневого трифазного інвертору. По завершенні заряду зарядні резистори замикаються контактами контактору і також замикається контакт, що підключає джерело до другого інвертору.

Зміна алгоритму роботи перетворювача здійснюється за сигналом компаратора за допомогою перемикача сигналів керування і до входів керування ключів інверторів надходять імпульси з розподільювача імпульсів (квантування за рівнем) або

блока керування (дворівнева ШІМ), або блока керування попереднім заряджанням.

Підтримання напруги у колі постійного струму першого з однофазних інверторів у робочому режимі здійснює замкнена за напругою система керування з релейним регулятором. Релейний регулятор 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  $-\Delta U_1$  першого з однофазних інверторів, коли енергія надходить у коло постійного струму і конденсатор заряджається із зростанням напруги. Якщо напруга стає більше  $U + \Delta U$  сигнал "1" присутній на другому виході, що передбачає позитивне значення прирощення  $+\Delta U_1$ , коли енергія надходить з кола постійного струму у коло змінного і конденсатор розряджається із зменшенням напруги. Фільтр забезпечує додаткове згладжування пульсацій напруги конденсатора.

Виходи релейного регулятора з'єднано з входами керування функціонального перетворювача, що здійснює змінювання вихідних регулюючих параметрів (амплітуда третьої гармоніки  $A_3$  і коефіцієнт послаблення  $k$ ) згідно визначеним залежностям, що забезпечує відповідне прирощення першої гармоніки вихідної напруги  $\pm \Delta U_1$  відносно нуля. Цей перетворювач має наступні недоліки.

1. У процесі формування вихідної напруги використовується ШІМ, що збільшує витрати енергії на перемикання ключів перетворювача.

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

3. Використання однофазних інверторів обумовлює виникнення субгармонійних складових змінного струму, що споживається випрямлячем.

4. Використання релейного регулятора з контролем напруги конденсатору одної фази перетворювача недостатньо для підтримання напруги у всіх фазах особливо в динаміці при регулюванні частоти і амплітуди вихідної напруги та ін.

5. Попереднє заряджання конденсаторів інверторів передбачає використання додаткового обладнання і формування змінного струму у обмотках двигуна, що обумовлює можливість утворення обертового моменту.

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

1. Покращенням гармонійного складу вихідної напруги за рахунок зміни співвідношення напруг інверторів і, відповідно, збільшення кількості рівнів напруги, що забезпечує зменшення витрат енергії у двигуні.

2. Зменшенням кількості перемикачів ключів інверторів до мінімуму за рахунок виключення ШІМ і зменшенням відповідних витрат енергії на їх перемикання.

3. Покращенням гармонійного складу струму, що споживається перетворювачем при живленні

його від джерела змінного струму за рахунок виключення субгармонійних складових.

4. Зменшення кількості джерел постійного струму і за рахунок зменшення кількості контактних з'єднань і з'єднувальних дротів, відповідно, зменшення витрат енергії у них.

5. Забезпеченням попереднього заряджання конденсаторів без додаткового обладнання при відсутності обертаючого моменту двигуна.

6. Використанням релейних регуляторів, що контролюють напругу конденсаторів у всіх фазах перетворювача чим забезпечується стабілізація їх напруги як у сталих режимах так і у динаміці і, як наслідок, відсутність викривлень вихідної напруги.

Поставлена задача вирішується тим, що гібридний несиметричний багаторівневий перетворювач, що містить трирівневий трифазний інвертор напруги з нульовим виводом і фіксуючими діодами, кожна фаза якого має чотири послідовно згідно з'єднаних ключа двобічної провідності, що складаються з повністю керованого тиристора або транзистора з паралельним зворотним діодом, на кожну вихідну фазу два послідовно з'єднаних однофазних мостових інвертори, які складаються з чотирьох ключів, вільний вивід діагоналі змінного струму першого однофазного інвертора утворює вихід фази перетворювача частоти, що призначений для підключення навантаження, розподільувач напруги на двох послідовно з'єднаних конденсаторах, спільна точка конденсаторів являє собою нульовий вивід джерела, два джерела з'єднані послідовно згідно, катод діода першого і анод діода останнього ключа фаз трирівневого трифазного інвертора з'єднані відповідно з позитивним і негативним виводом конденсаторів розподільувача напруги, анод діода другого ключа фази трирівневого трифазного інвертора є вихідним виводом фази інвертору, а його катод з'єднано з катодом першого фіксуючого діода, катод діода четвертого ключа з'єднано з анодом другого фіксуючого діода, катод якого з'єднано з анодом першого фіксуючого діода і нульовим виводом джерела, до виходу кожної фази трирівневого трифазного інвертору підключено вільні виводи діагоналі змінного струму другого однофазного мостового інвертора напруги, у діагональ постійного струму однофазних інверторів підключено конденсатор, систему керування електроприводом, функціональний перетворювач, розподільувач імпульсів, блок керування попереднім заряджанням, перемикач сигналів керування, суматор, блок дискретизації за рівнем, виходи перемикача сигналів керування з'єднані з входами керування ключів відповідних інверторів у фазах перетворювача, перші виходи системи керування електроприводом на яких формуються синусоїдальні сигнали заданої амплітуди і частоти, зсув між якими для трифазного перетворювача частоти складає  $2\pi/3$  з'єднані з другим входом суматора, на другому і третьому виходах системи керування електроприводом формуються відповідно сигнал заданої амплітуди і синусоїда потроєної до заданої частоти, вони з'єднані з відповідними входами функціонального перетворювача, перший вихід функціонального перетворювача з'єднано з першим входом суматора, вихід суматора з'єднано з входом блока дискретизації за рівнем, вихід якого

з'єднано з входом розподільувача імпульсів, виходи якого з'єднані з першими входами перемикача сигналів керування, треті входи перемикача сигналів керування з'єднані з відповідними виходами блока керування попереднім заряджанням, четвертий вихід системи керування електроприводом, на якому формується сигнал завдання режиму попереднього заряджання з'єднано з входом блока керування попереднім заряджанням, другий вхід якого з'єднано з конденсатором першого інвертору відповідно до корисної моделі перетворювача додатково вміщує блок фільтрів, дворівневий регулятор, блок попереднього заряджання має додатковий вхід, суматор має додатковий вхід, система керування електроприводом має додатковий вихід, на якому формується синусоїда з частотою, що в дев'ять разів вище заданої частоти, функціональний перетворювач має додатковий вхід, що з'єднано з додатковим виходом системи керування електроприводом, другий вихід функціонального перетворювача з'єднано з додатковим входом суматора, входи керування функціонального перетворювача підключено до виходів дворівневого регулятора, вхід дворівневого регулятора через блок фільтрів підключено до конденсаторів однофазних інверторів фаз перетворювача, додатковий вхід блоку попереднього заряджання з'єднано з конденсатором другого інвертору, вільні виводи джерел згідно їх полярності підключено до позитивного і негативного виводів конденсаторів розподільувача напруги.

Виключення із схеми перетворювача трьох джерел для другого однофазного інвертора кожної фази дозволяє зменшити загальну кількість джерел до двох або при наявності ємнісного розподільувача напруги до одного. Це забезпечує спрощення силових кіл, зменшення кількості контактних з'єднань та провідників і, відповідно, зменшення витрат енергії на їх нагрівання.

Введення у схему блока фільтрів і дворівневого регулятора забезпечує стабілізацію напруги на конденсаторах інверторів всіх фаз у сталих і несталих режимах роботи.

Збільшення кратності напруг джерел трирівневого інвертору з 6 до 9 дозволяє компенсувати виключення другого інвертору з процесу передавання активної потужності у навантаження при деякому покращенні форми вихідної напруги і зменшенні витрат енергії на нагрівання двигуна.

Корегування функцій системи керування електроприводом, перемикача імпульсів і функціонального перетворювача забезпечує виключення ШІМ, що дозволяє зменшити витрати енергії у ключах перетворювача.

Запропоновані ознаки дозволяють зменшити витрати у схемі при спрощенні силових кіл і реалізації системи керування електроприводом.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями:

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

Фіг.2 - залежності амплітуди першої гармоніки першого і другого інверторів від амплітуди дев'ятої гармоніки при незмінних значеннях амплітуд основної і третьої гармоніки.

На Фіг.1 представлені: система керування електроприводом 1, функціональний перетворювач 2, суматор 3, блок дискретизації за рівнем 4, розподільвач імпульсів 5, блок керування попереднім зарядженням 6, блок фільтрів 7, дворівневий регулятор 8, перемикач сигналів керування 9, трирівневий інвертор 10, однофазні інвертори 11, 12, конденсатори у колах постійного струму другого і першого однофазних інверторів 13, 14, розподільвач напруги на конденсаторах 15, 16, джерела постійної напруги 17, 18 з напругою  $U_3=9U$ , трифазний двигун змінного струму 19.

На фіг.2 представлені: залежності  $U_{12m(1)}=f(A_9)$  і  $U_{11m(1)}=f(A_9)$

Гібридний несиметричний багаторівневий перетворювач частоти працює таким чином.

Попереднє зарядження конденсаторів однофазних інверторів 11, 12 до напруги, відповідно,  $3U$  і  $U$  здійснюється від джерела постійного струму трирівневого інвертора через коло навантаження. Двигун 19 використовується у режимі динамічного гальмування і в його обмотках протікає постійний струм. При цьому одно плече (фаза А) трирівневого інвертору 10 працює у режимі понижуючого імпульсного перетворювача постійної напруги з ШІМ, середнє значення його вихідної напруги  $U_{CP}=\gamma U$ , два інших плеча мають нульову напругу. В свою чергу у змінюється за лінійним законом  $\gamma=at$ . Однофазні інвертори у фазі А працюють у режимі, коли їх напруга  $+U$  або  $0$ , однофазні інвертори інших фаз у режимі  $-U$  або  $0$ , таким чином, через відповідні ключі конденсатори фаз В і С включені паралельно і послідовно з конденсатором фази А. В залежності від ємності конденсаторів зарядження може здійснюватися у декілька етапів при різних комбінаціях вмикання конденсаторів (що визначаються блоком попереднього зарядження) з урахуванням того, що при паралельному вмиканні струм зарядження вдвічі менший.

Синусоїдальна напруга  $A \sin \omega t$  заданої амплітуди  $A$  і частоти  $\omega$  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 на-

пругу  $A_3 \sin(3\omega t)$ , а на другому  $A_9 \sin(9\omega t)$ . Значення  $A_3$  і  $A_9$  визначаються певними залежностями від  $A$  в функції сигналів з виходу дворівневого регулятора. 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  $u_{3AD}=(A \sin \omega t + A_3 \sin(3\omega t) + A_9 \sin(9\omega t))$  надходить до входу блоку дискретизації за рівнем 4, який реалізує алгоритм квантування за середнім рівнем.

Підтримання напруги у колі постійного струму однофазних інверторів у робочому режимі здійснює замкнена за напругою конденсаторів система з дворівневим регулятором 8, що працює наступним чином.

Залежності амплітуди першої гармоніки першого і другого інверторів  $U_{12m(1)}=f(A_3, A_9)$  і  $U_{11m(1)}=f(A_3, A_9)$  мають декілька рішень відносно  $A_3$ ,  $A_9$ , коли їх значення дорівнюють  $0$ . При цьому можна виділити зони (на Фіг.2 показано випадок при одному значенні  $A_3$ ), де  $U_{12m(1)}$  і  $U_{11m(1)}$  мають однакову (наприклад, при  $A_{9NN}$  і  $A_{9PP}$ ) або протилежну (наприклад, при  $A_{9PN}$  і  $A_{9NP}$ ) полярності. Полярність  $U_{12m(1)}$  і  $U_{11m(1)}$  визначає закон змінювання напруги на конденсаторах першого і другого інверторів (збільшення при негативній полярності - зарядження конденсатора або зниження при позитивній - розрядження). Таким чином, можна міняти закон змінювання напруги тільки на одному або на обох конденсаторах у фазі. Дворівневий регулятор 8 містить у собі набір релейних регуляторів і логічну схему. Блок фільтрів 7 зменшує вплив пульсації напруги конденсаторів на роботу відповідних регуляторів. Для двох інверторів фази застосовано два релейних регулятора, що працюють з заданим (мінімальним) відхиленням. Один із них для другого інвертора 11 працює за відхиленням  $\pm \Delta U_{11}$  (при перевищенні порога формує сигнали  $P$  і  $N$ ), другий регулятор для першого інвертора 12 працює за відхиленням  $\pm \Delta U_{12}$  (формує сигнали  $q_2$  і  $q_1$ ) і виконують функції корегування параметра  $A_9$ . Значення  $A_{9PN}$ ,  $A_{9ON}$ ,  $A_{9NN}$ ,  $A_{9NP}$ ,  $A_{9OP}$ ,  $A_{9PP}$  і  $A_3$  в функції  $A$  задані у функціональному перетворювачі 2. Визначення параметра  $A_9$  здійснюється відповідно з логічними змінними:

$$ON = N \wedge \bar{q}_2 \wedge \bar{q}_1, OP = P \wedge \bar{q}_2 \wedge \bar{q}_1, NP = P \wedge q_1, PN = N \wedge q_2, PP = P \wedge q_2, NN = N \wedge q_1.$$

Стабілізація напруг першого інвертору 12 здійснюється незалежно від другого інвертору 11 (незалежно від стану  $P$  або  $N$  полярність  $U_{12m(1)}$  відповідає поточному значенню відхилення напруги конденсатора 13). Канал стабілізації напруг другого інвертору 11 дворівневий і містить два регулятора: перший рівень з заданим відхиленням, наприклад,  $\pm 1\%$ , другий рівень з обмежувачем, наприклад,  $\pm 5\%$ . При цьому керування через такт роботи регулятора першого рівня передається з одної фази перетворювача на другу, на третю і знову на першу (стан  $P$  або  $N$  даної фази є визначальним для всіх фаз). Другий рівень виконує функцію корегування і на один такт роботи релейного

регулятора фази, напруга якої вийшла за відхилення другого рівня передає керування на всі фази (відповідно власним  $P$  або  $N$ ). При цьому регулятори всіх фаз першого рівня працюють незалежно приводячи напруги конденсаторів у відповідності з заданим відхиленням, після чого система знову повертається у режим синхронної роботи.

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



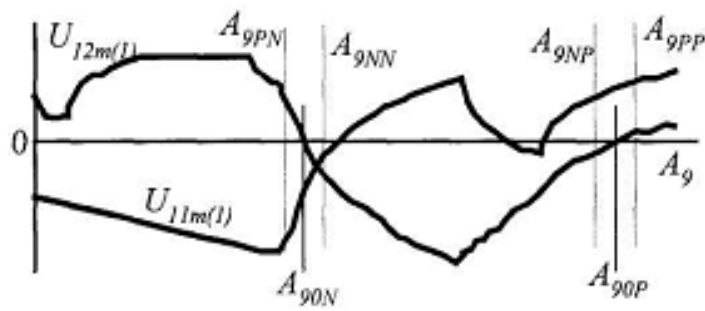


Fig. 2