



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 48326

(13) C2

(51) B H02M7/797

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ІНВЕРТОР З ПРОМІЖНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ НАПРУГИ В СТРУМ

1

2

(21) 2000063441

(22) 12 08 2000

(24) 15 08 2002

(46) 15 08 2002, Бюл. № 8, 2002 р

(72) Комаров Микола Сергійович, Румянцев Яро-
слав Володимирович(73) Комаров Микола Сергійович, Румянцев Яро-
слав Володимирович

(56) US 5 903 448 11 05 1999

(57) Інвертор з проміжним перетворенням напруги в струм, що містить трансформатор, який має першу і другу первинні обмотки з протилежною полярністю і вторинну обмотку, перший і другий ключі, включені між входними виводами і першою і другою обмотками трансформатора відповідно, третій ключ, включений між вторинною обмоткою і вихідним фільтром, вихідний фільтр, що починається з ємнісного елемента, систему управління, перший, другий і третій вихідні виводи якої підключені до керуючих виводів першого, другого і третього ключів, який відрізняється тим, що як перший, другий і третій ключі використані повністю керовані ключі змінного струму

2 Інвертор за п. 1, який відрізняється тим, що система управління має два входи і три виходи і містить джерело еталонного сигналу, перший і другий суматори, релейний елемент, блок логіки, перший вхід системи управління з'єднаний з датчиком вихідної напруги інвертора, другий вхід системи управління з'єднаний з датчиком струму намагнічення трансформатора, до першого (прямого) і другого (інверсного) входів першого суматора підключені вихід джерела еталонного сигналу і перший вхід системи управління відповідно, вихід першого суматора з'єднаний з першим

(прямим) входом другого суматора, до другого (інверсного) входу якого підключений другий вхід системи управління, вихід другого суматора з'єднаний зі входом релейного елемента, вихід релейного елемента з'єднаний зі входом блока логіки, перший, другий і третій виходи блока логіки є першим, другим і третім виходами системи управління і підключені до керуючих виводів першого, другого і третього ключів відповідно, блок логіки має один вхід і три виходи і містить задаючий генератор, D-тригер, RS-тригер, логічний елемент "XOR", перший і другий логічні елементи "AND" що мають по два входи (прямий і інверсний) і по одному виходу, вхід блока логіки з'єднаний з другим входом логічного "XOR" і з інформаційним входом D-тригера, вхід D-тригера з'єднаний з виходом задаючого генератора, вихід задаючого генератора з'єднаний також з R входом RS-тригера, S вхід RS-тригера з'єднаний з виходом елемента "XOR", перший вхід якого з'єднаний з інверсним виходом D-тригера, прямий вихід RS-тригера з'єднаний з третім виходом блока логіки і з інверсними входами першого і другого логічних елементів "AND", прямі входи першого і другого логічних елементів "AND" з'єднані з прямим та інверсним виходами D-тригера відповідно, виходи першого і другого логічних елементів "AND" є першим і другим виходами блока логіки і системи управління відповідно

3 Інвертор за п. 1, який відрізняється тим, що в систему управління між першим і другим суматорами введений додатковий підсилювач-обмежувач, вхід якого зв'язаний з виходом першого суматора, вихід - з першим (прямим) входом другого суматора

Винахід відноситься до області електротехніки, зокрема до перетворювальної техніки і може бути використаний для створення пристроїв електроживлення споживачів змінного струму автономних систем і систем безперебійного електроживлення

Якість електроенергії в колах електроживлення однофазних споживачів змінного струму харак-

теризується деякою сукупністю показників, таких як діюче значення напруги, частота, допустимі відхилення цих показників і коефіцієнт несинусоїдальності напруги. Основними вимогами, що пред'являються до подібних пристроїв є малі маса, габарити і вартість, висока надійність і ККД при забезпеченні заданої якості електроенергії. В автономних системах і системах гарантованого еле-

(13) C2

(11) 48326

(19) UA

ктроживлення для вказаних цілей застосовуються автономні інвертори, що здійснюють перетворення постійної напруги в змінну. Як правило, нестабільність напруги мережі постійного струму на вході автономного інвертора істотно перевищує допустиме відхилення напруги на його виході, особливо в системах гарантованого електроживлення, де нестабільність напруги мережі постійного струму визначається зарядно-розрядними характеристиками акумуляторних батарей, що застосовуються.

Існують різні підходи до побудови автономних інверторів. Використовуються системи на основі генераторів прямокутної напруги з електричними фільтрами для виділення першої гармоніки, пристрої з амплітудно-імпульсною і широтно-імпульсною модуляцією. Принципи побудови автономних інверторів систематизовані в [1].

Типова структура автономного інвертора наведена на фіг. 1. Пристрій складається з джерела електроенергії постійного струму 110, мостового транзисторного інвертора 120, вихідного LC фільтра 130 і системи управління 140. Постійна складова напруги імпульсної послідовності формується таким інвертором відповідно до синусоїдального закону, а вищі гармоніки спливають з частотою, кратній частоті імпульсної модуляції (як правило, 20 кГц). Ослаблення вищих гармонік за допомогою вихідного фільтра забезпечує малий коефіцієнт несинусоїдальності вихідної напруги. Робота транзисторів в режимі перемикачів і відсутність реактивних елементів, працюючих на частоті вихідної напруги, визначають високий ККД і малу масу пристрою. Можливість двостороннього обміну енергією між вихідним колом і джерелом постійного струму дозволяють зберегти високу якість електроенергії на виході при різному характері навантаження (активне, комплексне, нелінійне навантаження).

Однак, таке технічне рішення має низку істотних недоліків. По-перше, напруга вхідного джерела постійного струму повинна перевищувати амплітудне значення вихідної напруги. При формуванні стандартної напруги однофазної живильної мережі 220 В/50 Гц напруга джерела постійного струму не повинна бути менша за 310 В. Ця умова ускладнює вибір акумуляторної батареї (найбільш високовольтні акумулятори мають робочу напругу 120 - 150 В). З іншого боку, при використанні випрямлячів напруги мережі змінного струму, в якості джерела постійного струму, напруга ланки постійного струму повинна перевищувати максимальне значення напруги мережі змінного струму з урахуванням допустимого відхилення (10%) і становити 350 В. Таким чином, необхідний діапазон вхідної напруги автономного інвертора повинен становити 120 - 350 В, що неприйнятно для розглянутого технічного рішення. Звуження діапазону вхідної напруги за рахунок використання додаткових технічних засобів (попередній стабілізатор, вихідний трансформатор) призводить до збільшення маси, зниження ККД і підвищення вартості пристрою. По-друге, потенціали кожного з вихідних виводів інвертора, змінюються ("стрибають") з частотою імпульсної модуляції відносно заземленого виводу постійного струму. При використанні інвертора для живлення споживачів змін-

ного струму, що містять розподільчий трансформатор, вихідні кола споживачів, як правило, заземлені. "Стрибки" потенціалів виводів спричиняють появу електромагнітних завад, які розповсюджуються через прохідну ємність розподільчих трансформаторів, що негативний чином впливає на роботу споживачів.

Метою винаходу є побудова ефективного інвертора, структурна схема якого наведена на фіг. 2. Позначення, прийняті на фіг. 2: 210 - джерело постійного струму, 220 - безпосередньо інвертор. У такій структурі заземлений вхід і вихід об'єднані безпосереднім зв'язком, що виключає розповсюдження електромагнітних перешкод, а напруга джерела постійного струму може бути як вище, так і нижче миттєвого значення вихідної напруги.

Характеристика аналогів

Серед знаних автономних інверторів з широтно-імпульсною модуляцією можна виділити два типи пристроїв. Пристрої засновані на використанні височастотного трансформатора без накопичення енергії в магнітному полі [2] і пристрої з проміжним накопиченням енергії в магнітному полі трансформатора [3], [4], [5]. У першому випадку, первинна обмотка височастотного трансформатора підключається до джерела вхідної напруги, а вторинна обмотка трансформатора - до вихідного фільтра інвертора (як правило, LC фільтру). За рахунок використання відповідного коефіцієнта трансформації здійснюється підвищення напруги на вході фільтра до необхідної величини. У другому випадку первинна обмотка трансформатора підключається до джерела вхідної напруги, відбувається накопичення енергії в магнітному полі, після чого вторинна обмотка підключається до вихідного фільтра інвертора (в найпростішому випадку C фільтру) і відбувається передача енергії у вихідний ланцюг, тобто чергуються етапи накопичення енергії в магнітному полі трансформатора і передачі енергії в навантаження. Підвищення напруги на виході фільтра у другому випадку може бути реалізоване за рахунок зміни тривалості етапів накопичення енергії в магнітному полі трансформатора і передачі енергії в навантаження.

Відомо інвертор без проміжного накопичення енергії в магнітному полі трансформатора [2], який задовольняє вимогам, що пред'являються до автономного інвертора. Основний недолік такого технічного рішення пов'язаний з підвищеними вимогами, що пред'являються до його елементної бази при зміні вхідної напруги в широкому діапазоні. Наприклад, при зміні вхідної напруги ($U_{вх}$) в діапазоні 120 - 350 В напруга на вторинній обмотці повинна перевищувати амплітуду вихідної напруги ($U_{м} = 310$ В) при мінімальній вхідній напрузі. Отже, при максимальній напрузі на вході напруга вторинної обмотки складає

$$U_{w2} = U_{м} \frac{U_{вх \max}}{U_{вх \min}} = 310 \frac{350}{120} = 904 \text{ В} \quad (1)$$

Перемикаючи елементи, вихідного ланцюга, повинні бути розраховані на подвоєну напругу вторинної обмотки, тобто на напругу що складає майже 2000 В при частоті перемикачів біля 20 кГц. Очевидно, що забезпечення таких вимог усклад-

нос створення інвертора і підвищує його вартість

Інвертори з проміжним накопиченням енергії в магнітному полі трансформатора дозволяють працювати в широкому діапазоні зміни вхідної напруги, оскільки напруга на перемикаючих елементах визначається рівнем вхідної напруги, амплітудою вихідної напруги і не залежить від діапазону зміни вхідної напруги. Однак, і таке технічне рішення [3, 4] не позбавлене недоліків. На різних інтервалах часу змінюється структура інвертора. Подібні інвертори являють собою системи із змінною структурою неперервної частини і, з позиції теорії автоматичного управління, відносяться до класу неперервних автоматичних систем. Досягнення високої точності, а значить, малої нестабільності і несинусоїдальності вихідної напруги є проблематичним. Так, в [3] згадуються спотворення при роботі на реактивне навантаження, причиною цих спотворень можна вважати недоліки алгоритму управління ключами при виявленні спотворень інвертор прагне зменшити спотворення, але причина спотворень і самі спотворення не усунені. У [4] зазначаються "незначні спотворення в околиці нуля". Вказані недоліки зумовлені побудовою структури інверторів і не можуть бути усунені тільки зміною алгоритму управління. У структурі [3] так само як і [4] розділовий трансформатор підключений до джерела вхідної напруги за допомогою одного керованого ключа, до виходу інвертора - за допомогою двох керованих ключів. Це є загальною ознакою структур, що розглядаються, яка спричиняє спотворення вихідної напруги, зумовлені складністю управління струмом трансформатора.

Характеристика прототипу

Відомо інвертор [5], схему якого наведено на фіг 3, в якому трансформатор підключений до вхідного джерела за допомогою двох ключів. Інвертор містить розділовий трансформатор 340, що має першу 342 і другу 344 первинні обмотки протилежної полярності і вторинну обмотку 346, перший 332 і другий 336 ключі, розміщені між джерелом постійного струму і відповідно першою і другою первинними обмотками, двосторонній ключ 350, підключений між вторинною обмоткою і виходом інвертора і систему управління 380, виходи якої підключені до керуючих виводів першого, другого і двостороннього ключів.

Формування вихідної напруги відбувається за допомогою імпульсної модуляції, відповідно до алгоритму, описаного в [5]. На першому напівперіоді імпульсної модуляції по чергові працюють ключі 332 і 336, забезпечуючи накопичення енергії в магнітному полі трансформатора. На другому напівперіоді імпульсної модуляції ключ 350 відкритий і відбувається обмін енергією між трансформатором і навантаженням. Часові діаграми сигналів управління наведені на фіг 4. За рахунок управління співвідношенням тривалості провідного стану ключів 332 і 336 на першому напівперіоді забезпечується формування вихідної напруги. Основними недоліками технічного рішення, що розглядається, є

- Інвертор розрахований на роботу при фіксованому навантаженні. При зміні навантаження змінюється і вихідна напруга, оскільки система управління не відстежує зміни вихідної напруги і

не коректує співвідношення тривалості відкритих станів ключів 332 і 336.

- Необхідність стабілізації вхідної напруги. При зміні вхідної напруги співвідношення тривалості відкритих станів ключів 332 і 336 не змінюється, оскільки система управління не відстежує зміни вихідної напруги.

- Додаткові втрати на ключах і в магнітопроводі. На етапі відкритого стану ключа 332 енергія накопичується в трансформаторі, на етапі відкритого стану 336 надмірна енергія повертається в джерело. Таким чином, на період імпульсної модуляції відбувається три комутації, що і викликає додаткові втрати в перемикаючих елементах і в магнітопроводі трансформатора.

Аналіз процесів в інверторі показав, що вказані недоліки властиві швидше не силовій частині інвертора, а алгоритму і, відповідно, структурі його системи управління.

Таким чином, задачею винаходу по п 1 є забезпечення роботи інвертора в широкому діапазоні змін вхідної напруги, причому як при напругах вище, так і нижче за вихідну. Задачею винаходу по п 2 є забезпечення високої якості вихідної напруги інвертора при зміні величини і характеру навантаження (активне, комплексне, нелінійне навантаження). Задачею винаходу по п 3 є забезпечення захисту інвертора від перевантажень і коротких замкнень по виходу. Структура силових частин і системи управління інвертора наведені на фіг 5.

Поставлена задача по п 1 вирішується тим, що використовується інвертор, що містить трансформатор 510, що має першу 511 і другу 512 первинні обмотки з протилежною полярністю і вторинну обмотку 517, перший 523 і другий 524 ключі, включені між вхідним виводом і першою 511 і другою 512 обмотками трансформатора 510 відповідно, третій ключ 529, включений між вторинною обмоткою 517 трансформатора 510 і вихідним фільтром 530, вихідний фільтр 530, що починається з ємнісного елемента 532, систему управління 550, вихідні виводи якої підключені до керуючих виводів першого 523, другого 524 і третього 529 ключів, причому в якості першого 523, другого 524 і третього 529 ключів використані повністю керовані ключі змінного струму.

Поставлена задача по п 2 вирішується тим, що система управління має два входи і три виходи і містить джерело еталонного сигналу 571, перший 572 і другий 578 суматори, релейний елемент 579, блок логіки 590, перший вхід системи управління з'єднаний з датчиком вихідної напруги інвертора, другий вхід системи управління з'єднаний з датчиком струму намагнічення трансформатора 518, 519, до першого (прямого) і другого (інверсного) входів першого суматора 572 підключені вихід джерела еталонного сигналу 571 і перший вхід системи управління відповідно, вихід першого суматора 572 з'єднаний з першим (прямим) входом другого суматора 578, до другого (інверсного) входу якого підключений другий вхід системи управління, вихід другого суматора з'єднаний зі входом релейного елемента 579, вихід релейного елемента 579 з'єднаний з входом блоку логіки 590, перший, другий і третій виходи блоку логіки є першим, другим і третім виходами системи управління і

підключені до керуючих виводів першого 523, другого 524 і третього 529 ключів відповідно

Блок логіки має один вхід і три виходи і містить задаючий генератор 591, D-тригер 592, RS-тригер 594, логічний елемент "XOR" 593, перший і другий логічні елементи "AND" 595, що мають по два входи (прямий і інверсний) і по одному виходу, вхід блоку логіки 590 з'єднаний з другим входом логічного елемента "XOR" 593 і з інформаційним входом D-тригера 592, вхід дозволу D-тригера 592 з'єднаний з виходом задаючого генератора 591, вихід задаючого генератора 591 з'єднаний також з R входом RS-тригера 594, S вхід RS-тригера 594 з'єднаний з виходом елемента "XOR" 593, перший вхід якого з'єднаний з інверсним виходом D-тригера 592, прямий вихід RS-тригера 594 з'єднаний з третім виходом блоку логіки і з інверсними входами першого і другого логічних елементів "AND" 595, прямі входи першого і другого логічних елементів "AND" 595 з'єднані з прямим і інверсним виходами D-тригера 592 відповідно, виходи першого і другого логічних елементів "AND" 595 є першим і другим виходами блоку логіки і системи управління відповідно

Поставлена задача по п 3 вирішується тим, що в систему управління між першим 572 і другим 578 суматорами введений підсилювач-обмежувач 575, вхід якого з'єднаний з виходом першого суматора 572, а вихід з прямим входом другого суматора 578

На фіг 1 наведено типову схему автономного інвертора

На фіг 2 наведено необхідну структурну схему автономного інвертора

На фіг 3 наведено схему інвертора, вибраного в якості прототипу

На фіг 4 наведено часову діаграму сигналів управління інвертора, вибраного в якості прототипу

На фіг 5 наведено силову частину і систему управління інвертором

На фіг 6 наведено часові діаграми, що пояснюють роботу блоку логіки системи управління

На фіг 7 наведено зразок виконання пристрою

На фіг 8 наведено часові діаграми еталонної, вихідної напруги і струму намагнічення трансформатора

Пристрій працює таким чином

Технічне рішення, що заявляється, по п 1 відрізняється використанням в якості першого і другого ключів повністю керованих ключів змінного струму. Для спрощення припустимо, що число витків всіх обмоток трансформатора в пристрої прототипу (фіг 3) однаково. У цьому випадку через наявність діодів 334 і 338 максимальне значення напруги на обмотках не може перевищувати напруги джерела живлення, що обмежує амплітуду вихідної напруги. Підвищення амплітуди вихідної напруги за рахунок коефіцієнта трансформації збільшує робочу напругу третього ключа. Застосування між джерелом і трансформатором повністю керованих ключів змінного струму усуває це протиріччя. При будь-якій напрузі джерела живлення, за рахунок управління тривалістю накопичення, трансформатор може накопичувати необхідну енергію і передавати її у вихідний ланцюг, незале-

жно від напруг на вході і виході пристрою. При однаковому числі витків всіх обмоток напруги на всіх перемикаючих елементах не перевищує суми вхідної і амплітуди вихідної напруг. Це дозволяє істотно розширити діапазон вхідних напруг інвертора, що пропонується

Технічне рішення, що заявляється, по п 2 працює наступним чином. На першому суматорі 572 із напруги джерела еталонного сигналу 571 віднімається напруга, пропорційна вихідній напрузі інвертора ($V_{out} \cdot k_1$). Таким чином, на виході першого суматора формується сигнал розузгодження по напрузі $V_{del} = (V_{ref} - V_{out} \cdot k_1) \cdot k_2$, що поступає на перший вхід другого суматора 578. На другому суматорі 578 від сигналу розузгодження по напрузі V_{del} віднімається сигнал, пропорційний струму намагнічення трансформатора I_{tr} . Таким чином на виході другого суматора формується сигнал розузгодження Del , який може бути записаний у вигляді

$$Del = \{(V_{ref} - V_{out} \cdot k_1) \cdot k_2 - I_{tr}\} \cdot k_3 \quad (2)$$

Часові діаграми, що пояснюють роботу блоку логіки системи управління наведено на фіг 6. Перепік епоюр фіг 6 наведено нижче

610 - сигнал розузгодження Del що знімається з виходу суматора 578,

621 - сигнал з прямого виходу D-тригера, D_Q , зміни сигналу D_Q можливі по сигналу від задаючого генератора {644} в моменти часу t_{610} , t_{620} , t_{680} якщо $Del > 0$ то D_Q приймає значення "1", якщо $Del \leq 0$ то D_Q приймає значення "0",

622 - сигнал з інверсного виходу D-тригера, $D_{\bar{Q}}$ є інверсним сигналу D_Q {621},

639 - сигнал розузгодження з виходу релейного елемента 579, що поступає на вхід блоку логіки 590, Del_In , формується по сигналу Del {610}: якщо $Del > 0$ то Del_In приймає значення "1", якщо $Del \leq 0$ то Del_In приймає значення "0",

643 - сигнал, що поступає на S вхід RS-тригера 594, формується з сигналів $D_{\bar{Q}}$ {622} і Del_In {639} відповідно до виразу $RS_S = (D_{\bar{Q}}) \text{XOR} (Del_In)$,

644 - сигнал задаючого генератора 591, що поступає на E вхід D-тригера 592 та на R вхід RS-тригера 594,

645 - інвертований сигнал з прямого виходу RS-тригера 594,

693 - сигнал з першого виходу блоку логіки 590, що поступає на керуючий вивід першого ключа 523, формується з сигналів D_Q {621} і RS_Q {645} відповідно до виразу $523 = D_Q \& \overline{RS_Q}$,

694 - сигнал з другого виходу блоку логіки 590, що поступає на керуючий вивід другого ключа 524, формується з сигналів $D_{\bar{Q}}$ {622} і RS_Q {645} відповідно до виразу $524 = D_{\bar{Q}} \& \overline{RS_Q}$,

699 - сигнал з третього виходу блоку логіки 590, що поступає на керуючий вивід третього ключа 529, відповідає сигналу з прямого виходу RS-тригера 594

Сигнал розузгодження Del {610} поступає на вхід релейного елемента 579, на виході якого фо-

рмується дворівневий сигнал розузгодження Del_In {639}, що поступає в блок логіки 590. Дворівневий сигнал розузгодження Del_In формується за наступним правилом:

Del_In = 1, якщо Del > 0

Del_In = 0, якщо Del < 0

Сигнал з виходу релейного елемента 579 поступає на вхід блоку логіки.

На кожному періоді імпульсної модуляції блок логіки 590 системи управління 550 перемикається двічі. Перше перемикання блоку логіки 590 відбувається по сигналу від задаючого генератора 591. У моменти часу t_{610} , t_{620} - t_{680} від задаючого генератора 591 поступають імпульсні сигнали {644}, які скидають (встановлюють в нуль) RS-тригер 594 {645, 699} і дозволяють установку D-тригера 592 {621, 622} в стан, який визначається по сигналу розузгодження Del_In {639}: якщо Del_In = 1, то D-тригер 592 встановлюється в одиницю, якщо Del_In = 0, то D-тригер 592 встановлюється у в нуль. Нульовий рівень з виходу RS-тригера 594 поступає на третій вихід блоку логіки, визначаючи закритий стан ключа 529 і на інверсні входи першого і другого логічних елементів "AND" 595, дозволяючи проходження сигналів з прямого і інверсного виходів D-тригера 592 на перший і другий виходи блоку логіки 590, що визначає відкритий стан ключа 523 або 524. Закритий стан ключа 529 і відкритий стан ключа 523 або 524 зберігається до моменту часу t_{615} , t_{625} - t_{685} другого перемикання блоку логіки.

Друге перемикання блоку логіки 590 відбувається по сигналу, що поступає на S вхід RS-тригера 594 з виходу логічного елемента "XOR" 593 в моменти часу t_{615} , t_{625} - t_{685} коли сигнал розузгодження Del {610} міняє знак (переходить через нуль) і, відповідно змінюється рівень сигналу розузгодження Del_In {639}. На входи логічного елемента "XOR" 593 поступають сигнали з інверсного виходу D-тригера D_Q {622} і дворівневий сигнал розузгодження Del_In {639}. На виході логічного "XOR" 593 формується імпульсна послідовність {643}. Логіка роботи елемента "XOR" 593 наведена в таблиці.

D _Q {622}	Del_In {639}	RS _S {643}
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

При появі одиниці на S вході RS-тригер 594 встановлюється (вихід тригера переходить в стан "1"). Сигнал з виходу RS-тригера 594 {645, 699} поступає на інверсні входи першого і другого логічних елементів "AND" 595, визначаючи закритий стан ключів 523 і 524 і на третій вихід блоку логіки, визначаючи відкритий стан ключа 529. Відкритий стан ключа 529 і закритий стан ключів 523 і 524 зберігається до моменту часу t_{610} , t_{620} - t_{680} надходження сигналу від задаючого генератора. З надходженням сигналу від задаючого генератора процес повторюється.

При формуванні позитивної напівхвилі вихідної напруги при надходженні сигналу від задаючо-

го генератора (в моменти часу t_{610} , t_{620} - t_{680}) сигнал розузгодження Del позитивний - працює пара ключів 523, 529 {див. епюри 693, 699}. При формуванні негативної напівхвилі вихідної напруги при надходженні сигналу від задаючого генератора (в моменти часу t_{610} , t_{620} - t_{680}) сигнал розузгодження Del негативний - працює пара ключів 524, 529 {див. епюри 694, 699}. При формуванні позитивної напівхвилі вихідної напруги за час відкритого стану ключа 529 сигнал розузгодження Del міняє знак (ключ 529 відкривається, коли Del негативний, а до приходу сигналу від задаючого генератора сигнал розузгодження Del змінює знак на позитивний).

В околиці переходу вихідної напруги через нуль (відповідає проміжку часу t_{640} - t_{655}) за час відкритого стану ключа 529 (проміжок часу t_{645} - t_{650}) сигнал розузгодження Del {610} не міняє знак (ключ 529 відкрився, коли Del негативний, до приходу сигналу від задаючого генератора сигнал розузгодження Del так і залишився негативним). При появі сигналу від задаючого генератора 591 (момент часу t_{650}) сигнал розузгодження Del негативний, Del_In = 0 а, значить, зміниться стан D-тригера 592 {див. епюри 621, 622}, відкриється ключ 524 і починається формування негативної напівхвилі вихідної напруги.

Перехід з формування негативної напівхвилі вихідної напруги на формування позитивної напівхвилі також відбувається в околиці переходу вихідної напруги через нуль і здійснюється аналогічним вищевикладеному чином. Незмінність знаку сигналу розузгодження Del в околиці переходу вихідної напруги через нуль пов'язана з тим, що напруга на конденсаторі фільтра 532 в цій області не достатньо велика, щоб впливати на струм трансформатора, зміни якого і визначають поведінку сигналу розузгодження Del на періоді імпульсної модуляції.

На частоті імпульсної модуляції зміна сигналу розузгодження Del визначається зміною струму трансформатора, управляючи струмом трансформатора з частотою імпульсної модуляції система управління прив'язує сигнал розузгодження Del до нульового рівня.

На частоті основної гармоніки синусоїдальної напруги, що формується, сигнал розузгодження визначається сигналом розузгодження по напрузі Vdel. Оскільки система управління прив'язує сигнал розузгодження Del до нульового рівня, то струм трансформатора I_{tr} автоматично підтримується пропорційним сигналу розузгодження по напрузі Vdel.

Струм трансформатора підтримується пропорційним сигналу розузгодження по напрузі Vdel = (V_{ref} - V_{out}*k₁)*k₂. Якщо під впливом зовнішніх чинників (наприклад, зміни величини навантаження, рівня вхідної напруги) змінюється сигнал розузгодження по напрузі, то струм трансформатора змінюється таким чином, що його вплив на сигнал розузгодження по напрузі виявляється протилежним впливу зовнішніх чинників. Система управління забезпечує компенсацію впливу зовнішніх чинників на амплітуду вихідної напруги за рахунок зміни струму трансформатора. Внаслідок чого, інвертор забезпечує формування стабільної вихідної напруги як при зміні величини навантаження.

так і при зміні рівня вхідної напруги, чим вигідно відрізняється від прототипу

За рахунок того, що на періоді імпульсної модуляції відбувається два (а не три, як у прототипа) перемикання в системі управління інвертора, конфігурація силової частини на періоді імпульсної модуляції також змінюється лише двічі, що дозволяє усунути додаткові динамічні втрати в силовій частині схеми і зайвий обмін реактивною енергією між трансформатором і джерелом постійної напруги

Крім того, за рахунок використання структури зв'язків і складу елементів системи управління вдається отримати високу якість вихідної напруги при зміні навантаження, характеру навантаження і рівня вхідної напруги в широкому діапазоні. З точки зору теорії автоматичного регулювання подібні структури інверторів являють собою замкнені системи із запізненням (зумовленим процесами накопичення енергії в трансформаторі), які мають вузьку область стійкості. Технічне рішення, що заявляється, принципово усуває проблему запізнення в системі

Технічне рішення, що заявляється, по п 3 відрізняється введенням між першим і другим суматорами підсилювача-обмежувача 575. У цьому випадку сигнал розузгодження по вихідній напрузі V_{del} не може перевищувати (по модулю) порогового значення (V_{bord}), що задається підсилювачем-обмежувачем. Даний сигнал служить еталоном для ланцюга зворотного зв'язку по струму намагнічення трансформатора. Відповідно до виразу (2) сигнал розузгодження "Del" визначається виразом

$$Del = (V_{del} - I_{tr}) \cdot k_3 \quad (3)$$

де

$$V_{del} = (V_{ref} - V_{out} \cdot k_1) \cdot k_2 \quad (4)$$

На кожному періоді імпульсної модуляції відбуваються дві комутації перемикаючих елементів. Перша - по сигналу від задаючого генератора, друга - при зміні знаку сигналу розузгодження Del (в моменти, коли $V_{del} = I_{tr}$). Таким чином, в загальному випадку, враховуючи, що сигнал розузгодження по напрузі V_{del} обмежений на рівні V_{bord} струм намагнічення трансформатора не може перевищувати суми порога обмеження сигналу розузгодження по напрузі V_{bord} і приростів струму намагнічення трансформатора ΔI_{tr} за час, що відповідає тривалості імпульсної модуляції $t = TPWM$

$$|I_{tr}| < V_{bord} + \Delta I_{tr}^{t=TPWM} \quad (5)$$

де приріст струму намагнічення трансформатора може бути визначений відповідно до виразу

$$\left| \Delta I_{tr}^{t=TPWM} \right| < \frac{1}{L_{tr}} \int_{t_n}^{t_n+TPWM} V_{out}(t) dt \quad (6)$$

Для навантаження, в якому переважає активна складова, вираз (5) що описує обмеження амплітуди струму намагнічення трансформатора може бути спрощено записано у вигляді

$$|I_{tr}| < V_{bord} \quad (7)$$

Вираз (07) є справедливим для будь-якого значення опору навантаження, в якому переважає активна складова, включаючи режим короткого замикання, і для реактивного навантаження що

змінюється від холостого ходу до номінального значення. Таким чином, в пристрої, що пропонується, забезпечується обмеження струму трансформатора в перехідних режимах, при перевантаженні і коротких замкненнях в ланцюгу навантаження

Приклад конкретного виконання

Пристрій, що пропонується фіг 7 складається з джерела вхідної напруги мережі постійного струму, вхідного ємнісного фільтра, трьох повністю керуваних ключів змінного струму (в якості ключів використані мостові випрямлячі з транзисторами у вихідному ланцюгу), двообмоточного трансформатора (у якості вторинної обмотки може бути використана одна з первинних), датчики струму намагнічення (оскільки на окремих інтервалах струм протікає тільки по одній з обмоток, в якості датчику струму може бути використано стандартний вимірник струму у вікні якого зустрічне включення виведення трансформатора), системи управління і вихідного П-подібного фільтра (для зниження добротності паралельно дроселю фільтра підключено резистор). Система управління відрізняється від розглянутою тільки застосуванням стандартних драйверів з гальванічною розв'язкою у вихідному ланцюгу для узгодження з керуваними ланцюгами ключів змінного струму. Відповідно до алгоритму роботи на будь-якому інтервалі часу тільки один з ключів перебуває у відкритому стані, що визначає підключення трансформатора до вхідного конденсатора (згідно або зустрічне) або до вихідного конденсатора

Форма еталонного сигналу (V_{ref}), струму намагнічення трансформатора (I_{tr}), і вихідної напруги (V_{out}) наведені на фіг 8. З наведених епок спливає, що вихідна напруга повторює форму еталонного сигналу. Така відповідність зберігається при зміні вхідної напруги в широкому діапазоні при роботі на активне, комплексне та нелінійне навантаження, в межах допустимого струму, встановлених рівнем обмеження сигналу розузгодження по напрузі (підсилювач-обмежувач 575). По сукупності показників якості електроенергії на виході даний пристрій задовольняє вимогам найбільш чутливих споживачів

Побудова інвертора відповідно до структури, що заявляється, дозволяє отримати новий технічний результат: (1) Забезпечення жорсткої навантажувальної характеристики, (2) можливість роботи в широкому діапазоні змін вхідної напруги і (3) усунення зайвого обміну енергією між джерелом вхідної напруги і трансформатором при (4) задоволенні вимог, що пред'являються до пристроїв електроживлення споживачів змінного струму

- хороші масогабаритні показники,
- мала вартість,
- можливість роботи на активне, реактивне і нелінійне навантаження,
- захист від перевантажень і коротких замикань по виходу,
- низький рівень гармонік у вихідній напрузі,
- мала нестабільність вихідної напруги,
- можливість роботи при зміні вхідної напруги в широкому діапазоні,
- можливість гальванічного розділення входу і виходу

Література

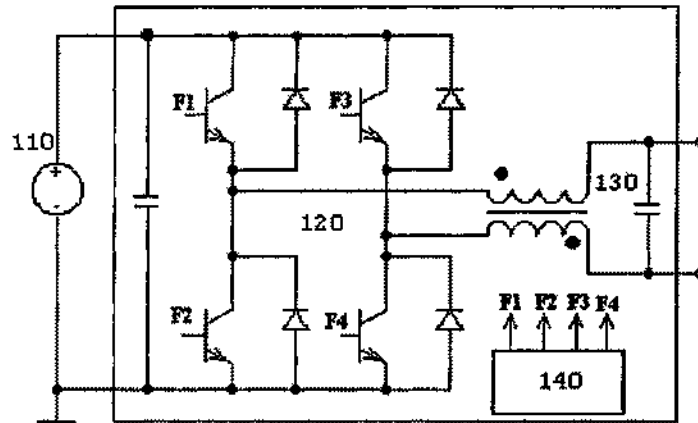
1 Мойн В С Стабілізовані транзисторні перетворювачі — М Енергоатоміздат 1986г — 376с

2 K Harada, H Sakamoto, M Shoyama Phase controlled DC-AC converter with high frequency switching /PESC 87 Rec 18th IEEE Power Electron Spec Conf Blacksburg, 1987

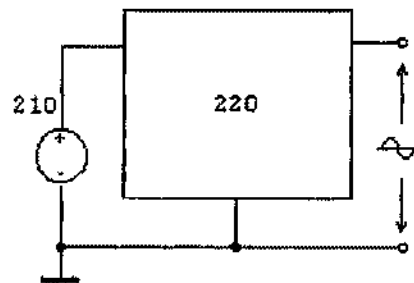
3 US Patent Number 5,742,496 Date Apr 21, 1998 INVERTOR APPARATUS FOR CONVERTING A DC VOLTAGE TO A SINGLE-PHASE AC VOLTAGE, Tsuyoshi Tsutsumi

4 Комаров Н С Системи вторинного електроживлення складних радіоелектронних комплексів / Труды міжнародної науково-технічної конференції UNCONVENTIONAL ELECTROMECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS, Алушта, Крим, Україна, Вересень 19 - 21, 1997

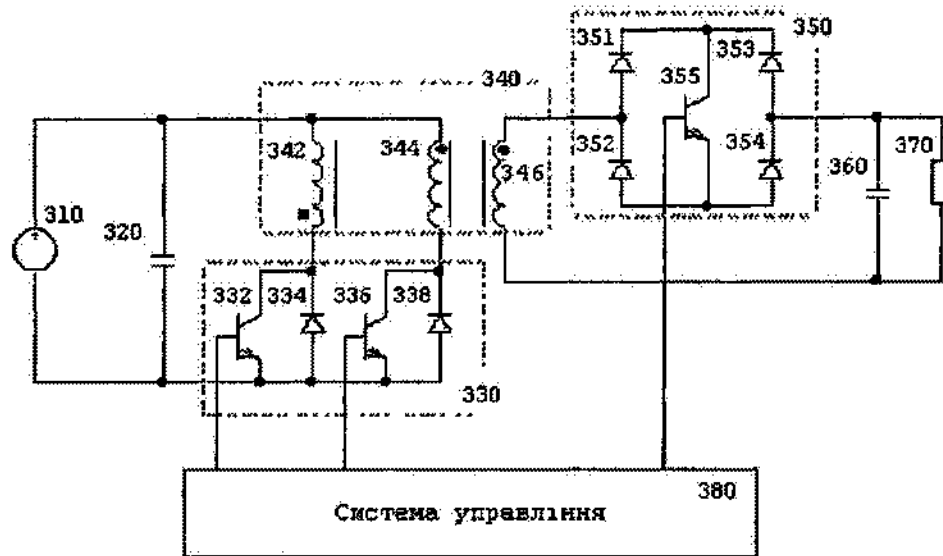
5 US Patent Number 5,903,448 Date May 11, 1999 FOUR QUADRANT FLYBACK CONVERTER, METHOD OF OPERATION THEREOF AND POWER PLANT EMPLOYING THE SAME, M A Davila



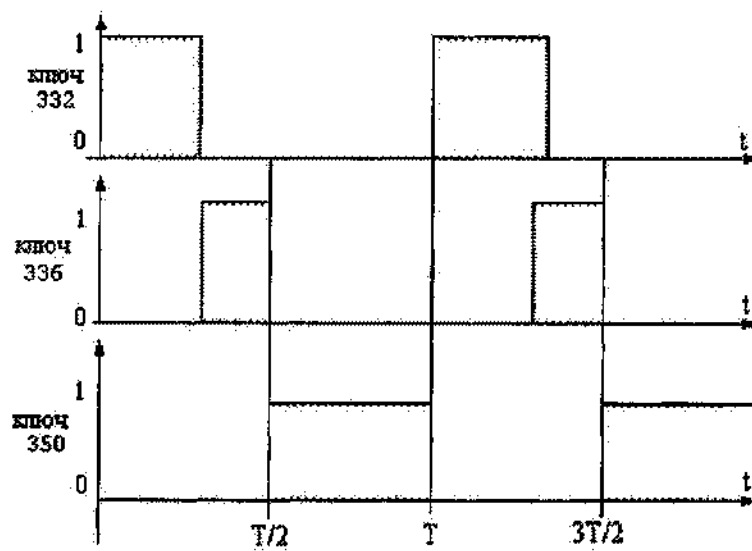
Фиг. 1



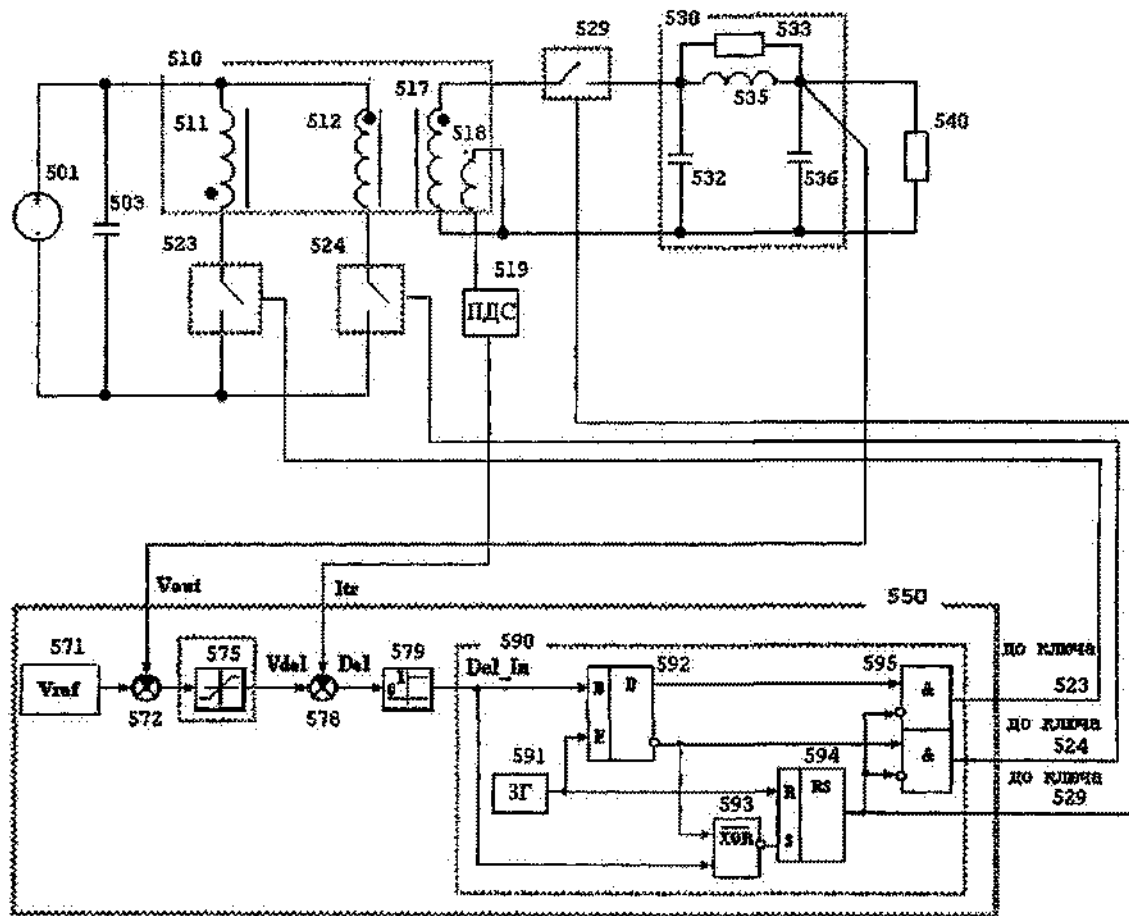
Фиг. 2



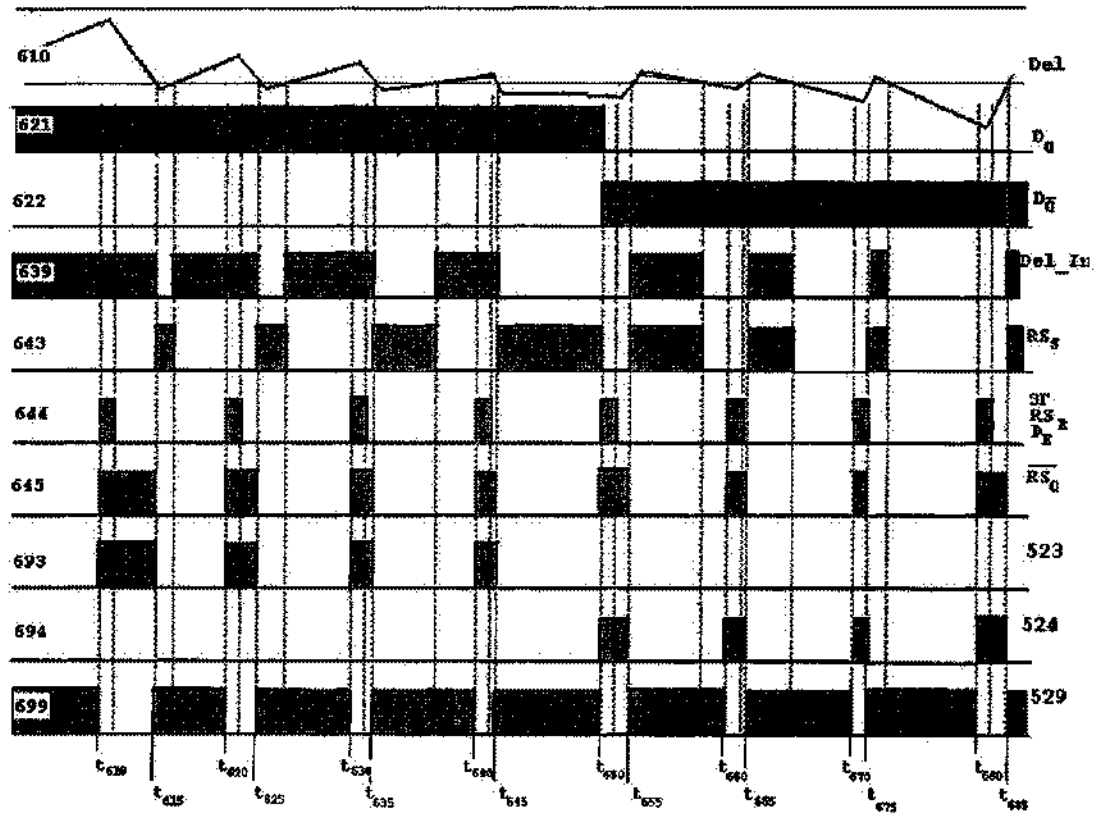
Фиг.3



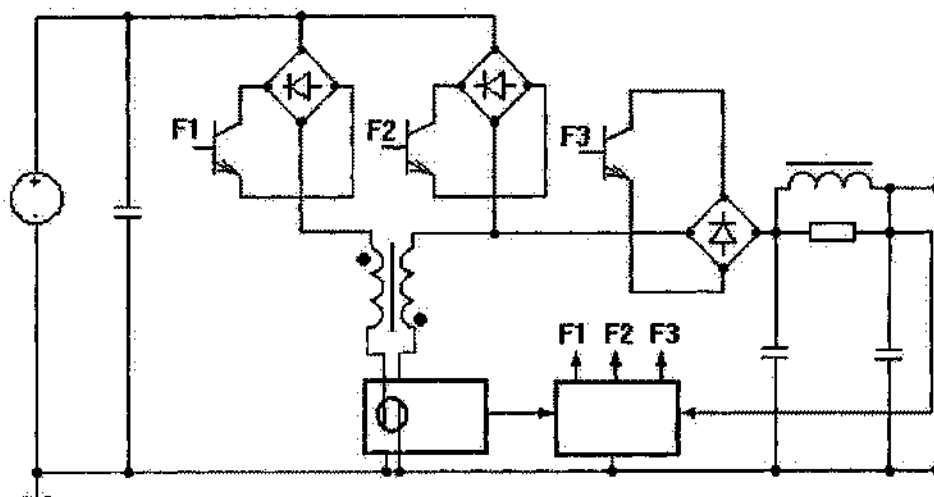
Фиг.4



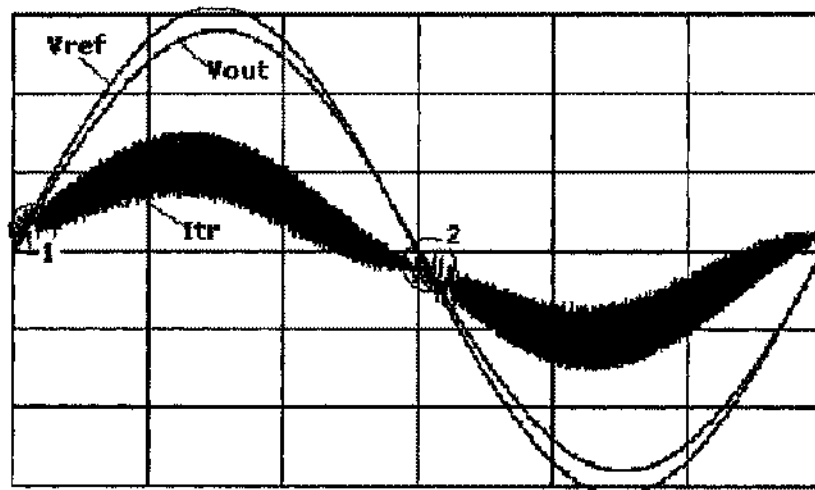
Фиг. 5



Φir.6



Φir.7



Фиг. 8

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)
вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна
(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»
вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна
(044) 216 – 32 – 71