



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **130772** (13) **C2**
(51) МПК (2026.01)
H02M 7/00
H02M 7/537 (2006.01)
H02M 5/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2022 03898 (22) Дата подання заявки: 19.10.2022 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 14.05.2026 (41) Публікація відомостей про заяву: 24.04.2024, Бюл.№ 17 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 13.05.2026, Бюл.№ 19	(72) Винахідник(и): Голубєв Віталій Володимирович (UA), Зозульов Віктор Іванович (UA), Маруня Юлія Василівна (UA), Сторожук Анатолій Іванович (UA) (73) Володілець (володільці): ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, просп. Перемоги, 56, м. Київ-57, 03057 (UA) (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Grudska V. P., Golubev V. V., Denysenko O. S. Optimization of voltage converters of matrix and inverter types using simulation modelling. – 2022. Голубєв В. В. и др. ОГЛЯД І ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРАНЗИСТОРНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ЗМІННОЇ НАПРУГИ //Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – 2019. – С. 676-682. Голубєв В. В. и др. Тиристорні перетворювачі зі штучною комутацією //Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2024. – №. 68. – С. 95-99. CN 102761285 A, 31.10.2012 EP 3301804 B1, 27.10.2021 CN 105811792 A, 27.07.2016 US 11245342 B2, 08.02.2022 US 3867643 A, 18.02.1975
--	--

(54) ТРИРІВНЕВИЙ ІНВЕРТОР НАПРУГИ

(57) Реферат:

Винахід належить до електротехніки і може бути використаний у засобах силової перетворювальної техніки та електроніки як трирівневий інвертор напруги. Винахід складається з позитивної та негативної клем для підключення джерела постійної напруги, мосту на першій, другій і третій стійках із двома послідовно з'єднаними верхніми та нижніми транзисторно-діодними ключами кожна. Верхні ключі стійок об'єднані колекторами та катодами діодів із позитивною клемою буферного конденсатора, негативна клема якого з'єднана з емітерами та анодами діодів нижніх ключів. Середня точка першої стійки через дросель вихідного фільтра приєднана до першого виводу конденсатора фільтра і навантаження, другий вивід якого з'єднаний із середньою точкою другої стійки та негативною клемою живлення. До схеми

UA 130772 C2

введено четверту стійку з двома послідовно з'єднаними транзисторно-діодними ключами та автотрансформатор із середньою точкою. Крайні виводи автотрансформатора включені між середніми точками третьої та четвертої стійок, а середня точка автотрансформатора з'єднана з позитивною клемою живлення. Технічним результатом винаходу є суттєве розширення області формування та регулювання вихідної синусоїдальної напруги зі збереженням якості вихідної енергії без ускладнення системи керування ключами чотирьох стійок.

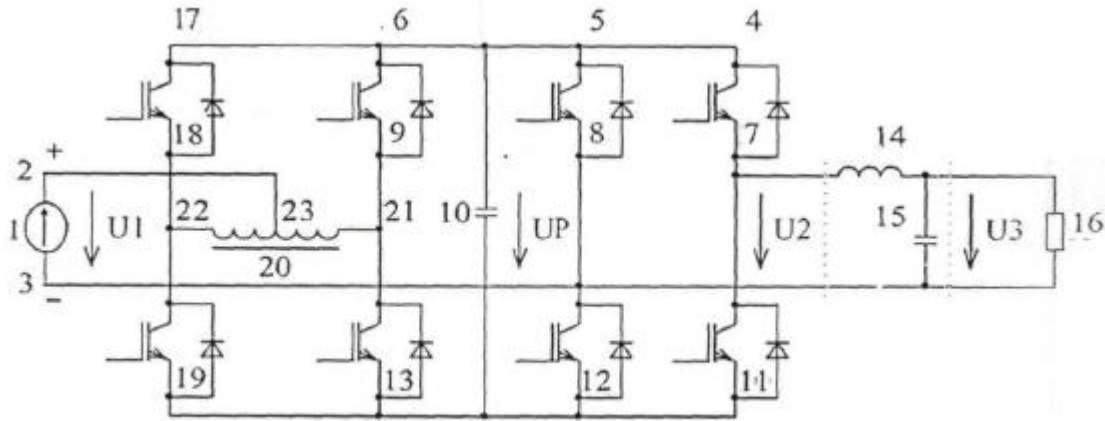


Fig. 1

Винахід належить до електротехніки і, як трирівневий інвертор напруги, може бути використаний в засобах силової перетворювальної техніки та електроніки.

Відомий одноплечий автономний інвертор напруги [1], що містить послідовно з'єднані: перший, другий, третій та четвертий транзисторно-діодні ключі; перший та другий зворотні діоди; перший та другий вхідні конденсатори, а також вхідний дросель, причому катод першого зворотного діода та анод другого зворотного діода приєднані до середніх точок відповідно між першим і другим та третім і четвертим транзисторно-діодними ключами, середні точки зворотних діодів і вхідних конденсаторів з'єднані між собою та із спільною шиною даного інвертора, а позитивний вивід першого конденсатора та негативний вивід другого конденсатора приєднаний до колектора й до емітера відповідно першого та четвертого транзисторно-діодних ключів, що так саме визначає позитивну та негативну вхідні клеми даного інвертора, до того ж із середньою точкою між другим та третім транзисторно-діодними ключами з'єднаний перший вивід вихідного дроселя, другий вивід якого та спільна шина інвертора відповідно визначають його позитивну та негативну вихідні клеми. Недоліком такого інвертора є те, що його електроживлення відбувається від двох окремих джерел з фіксованою нульовою точкою, або з так званими "плавальними" конденсаторами, а також із зворотними діодами.

Звідси виникають функціональні недоліки цього інвертора: утруднення керування зарядом і розрядом вхідних конденсаторів; підвищена амплітуда зворотних напруг на фіксуючих діодах, необхідна кількість яких квадратично залежить від кількості рівнів вихідної напруги; неможливість двосторонньої передачі електроенергії.

Відомий також багаторівневий автономний інвертор напруги на основі двох з'єднаних послідовно однофазних H-мостових комірок [2], в кожній з яких міститься по дві стійки з послідовно з'єднаними двома транзисторно-діодними ключами, які зашунтовані відповідно першим та другим конденсаторами, що визначають двозонність даного інвертора напруги, причому середня точка другої стійки першої комірки та середня точка першої стійки другої комірки з'єднані між собою, утворюючи перший вивід пристрою, а його другий та третій виводи підключені відповідно до середніх точок першої стійки першої комірки та до другої стійки другої комірки, внаслідок чого визначаються три рівні напруги даного відомого інвертора: нижнього рівня U_{C1} , U_{C2} - відповідно між другим й першим виводами та між першим й третім виводами, а також верхнього рівня $K2$ - між другим й третім виводами.

Недоліком такого перетворювача напруги є також необхідність його живлення від ДВОХ окремих джерел, більша кількість транзисторно-діодних ключів, неможливість двосторонньої передачі електроенергії.

Найбільш близьким щодо технічної сутності пристрою, що заявляється, є, обраний як прототип, трирівневий автономний інвертор напруги [3], що містить першу, другу й третю стійки, кожна з яких має відповідно послідовно з'єднані транзисторно-діодні ключі: перший та другий; третій та четвертий; п'ятий та шостий, причому колекторні виводи першого, третього та п'ятого ключів і емітерні виводи другого, четвертого та шостого ключів приєднані відповідно до позитивного й негативного виводів буферного конденсатора проміжної ланки напруги, також середня точка першого й другого ключів першої стійки під'єднана через вхідний дросель до позитивного виводу джерела електроживлення, негативний вивід якого з'єднаний із середнім виводом другої стійки і першим виводом вихідного конденсатора, зашунтованого навантаженням даного інвертора, а другий вивід цього конденсатора приєднано через вихідний дросель до середньої точки між п'ятим та шостим ключами третьої стійки.

Недоліком даного трирівневого інвертора напруги є те, що на його виході може бути отримано значення напруги, вище значення напруги джерела електроживлення лише за умови застосування додаткових перетворювачів і відповідного ускладнення силової схеми та системи керування, внаслідок чого збільшуються вартість цього інвертора та погіршуються його основні показники якості.

Задачею пропонованого винаходу є створення трирівневого інвертора напруги, в якому шляхом введення додаткової четвертої транзисторно-діодної стійки та автотрансформатора з середньою точкою та підключення позитивної клеми його джерела електроживлення до середньої точки автотрансформатора, крайні виводи якого приєднані до середніх точок третьої та четвертої стійок, відповідно, досягається новий технічний результат, а саме - отримання вихідної напруги, вдвічі (по амплітуді) вищої напруги його електроживлення, причому при збереженні можливості двосторонньої передачі електроенергії, ідентичних вихідних параметрів і незмінному принципі роботи системи керування. Також у пропонованому інверторі збережена трирівнева кількість підзон модуляції та ступенів напруги, яка за якістю рівноцінна шестирівневному автономному інвертору напруги. Це приводить до спрощення інвертора,

помітному розширенню його функціональних можливостей та поліпшенню його основних показників якості, включно з ККД та надійністю.

Поставлена задача вирішується тим, що в трирівневий інвертор напруги, що містить джерело електроживлення постійної напруги, з позитивною та негативною клемами, трифазний міст, виконаний на першій, другій та третій стійках, кожна з яких має по два послідовно з'єднаних верхніх та нижніх транзисторно-діодних ключі, кожен з верхніх ключів цих стійок колекторами транзисторів та катодами діодів об'єднані між собою та з позитивною клемою буферного конденсатора, негативна клема якого з'єднана з емітерами та анодами діодів нижніх транзисторно-діодних ключів цих же стійок, середня точка першої стійки через дросель вихідного фільтра приєднана до перших виводів конденсатора вихідного фільтра та навантаження, їх другі виводи з'єднані з середньою точкою другої стійки та з негативною клемою джерела електроживлення, введена четверта стійка з двома послідовно з'єднаними транзисторно-діодними ключами та автотрансформатор із середньою точкою, причому колектор транзистора й катод діода верхнього ключа та емітер транзистора й анод діода нижнього ключа цієї стійки підключені, відповідно, до колекторів та катодів верхніх ключів та до емітерів і анодів нижніх ключів першої, другої та третьої стійок, а між середніми точками третьої та четвертої стійок включені крайні виводи автотрансформатора, середня точка якого з'єднана з позитивною клемою джерела електроживлення.

Рішення, яке заявляється, порівнюється з одноплечим автономним інвертором напруги [1] та з багаторівневим автономним інвертором напруги [2]. Однак у відомих інверторів напруги є недоліки. У першого - необхідність електроживлення від двох окремих джерел з фіксованою нульовою точкою, що призводить до: утруднення керування зарядом і розрядом вхідних конденсаторів; підвищення амплітуди зворотних напруг на фіксуючих діодах, необхідна кількість яких квадратично залежить від кількості рівнів вихідної напруги; неможливості двосторонньої передачі електроенергії. У другого - також необхідність його електроживлення від двох окремих джерел, збільшення кількості транзисторно-діодних ключів, неможливість двосторонньої передачі електроенергії. Це, в цілому, обмежує області застосування даних відомих інверторів напруги.

В результаті порівняння з прототипом [3] даного трирівневого інвертора напруги можна зробити висновок, що завдяки введенню до нього четвертої стійки з двома послідовно з'єднаними транзисторно-діодними ключами і автотрансформатора з середньою точкою та нових зв'язків, викладених в поставленій задачі винаходу, досягнутий новий технічний результат: отримано три рівні (дві зони) регулювання та формування синусоїдальної напруги при електроживленні від одного джерела, збережені якості усіх показників вихідної електроенергії і спрощені системи перетворювання, тобто, в цілому даному трирівневому інвертору напруги властиві: значно розширені функціональні можливості; спрощення; зменшений показник вартості та внаслідок цих переваг поліпшені основні показники інвертора - ККД, надійність, якість вихідної електроенергії.

Суть винаходу пояснюється представленими кресленнями, де на фіг. 1 - силова принципова схема трирівневого інвертора напруги; фіг. 2 - часові діаграми: цифрових сигналів керування ключами 9, 18, 7, 12 і вихідних модульованих напруг U_2 та U_3 до і після вихідного фільтра (14, 15); фіг. 3 - часові діаграми: цифрових сигналів керування ключами 7, 8, 9, 18, напруги U_P проміжної ланки, вхідної напруги U_1 і вихідної напруги U_3 у режимі подвоєння напруги змінного струму; фіг. 4 - часові діаграми: цифрових сигналів керування ключами 7, 8, 9, 18, модульованої напруги U_P проміжної ланки, вхідної напруги U_1 і вихідної напруги U_3 у режимі підвищення напруги змінного струму (ШИМ у верхній зоні регулювання); фіг. 5 - часові діаграми цифрових сигналів керування ключами 7, 8, 9, 18, модульованої напруги U_P проміжної ланки, вхідної напруги U_1 і вихідної напруги U_3 у режимі зниження напруги змінного струму (ШИМ у нижній зоні регулювання)

Трирівневий інвертор напруги (фіг. 1) містить джерело електроживлення 1 постійної напруги з позитивною клемою 2 та негативною клемою 3, трифазний міст, виконаний на першій 4, другій 5 та третій 6 стійках, кожна з яких має два послідовно з'єднаних транзисторно-діодних ключів - верхніх та нижніх, кожен з верхніх ключів 7, 8, 9 відповідно стійок 4, 5, 6 колекторами транзисторів та катодами діодів об'єднані між собою та з позитивним виводом буферного конденсатора 10, негативний вивід якого з'єднаний з емітерами транзисторів та анодами діодів нижніх ключів 11, 12, 13, відповідно, стійок 4, 5, 6, а середня точка стійки 4 через дросель вихідного фільтра 14 приєднана до перших виводів конденсатора 15 вихідного фільтра та навантаження 16, їхні другі виводи з'єднані з середньою точкою стійки 5 та з негативною клемою 3 джерела електроживлення 1.

До даного інвертора напруги введено четверту стійку 17 з двома послідовно з'єднаними транзисторно-діодними ключами 18 і 19 і автотрансформатор 20, крайні виводи 21 і 22 якого приєднано відповідно до середніх точок стійок 6 та 17, а середній вивід 23 автотрансформатора 20 - до позитивної клеми 2 джерела електроживлення 1.

5 Трирівневий інвертор напруги працює наступним чином.

У інверторі використовується широтно-імпульсна модуляція (ШИМ), завдяки якій у кожній зоні вихідної напруги завдяки зміні шпаруватості імпульсів створюється кілька підзон і рівнів напруги, що наближають його форму до синусоїдальної.

10 На фіг. 2 наведено епюри сигналів керування ключами 9, 18, 7, 12 (відповідні їм ключі 13, 19, 11, 8 - працюють у протифазі) і епюри вихідної напруги на навантаженні до (верхня крива) і після вихідного фільтра. З діаграм випливає те, що, коли постійно увімкнені ключі 18, 9, а ключі стійок 5,4 по черзі перемикаються з підвищеною частотою, то формується нижня зона (0-U1) синусоїди. І навпаки, коли постійно вимкнені ключі 12, 7, а ключі стійок 17, 6 по черзі перемикаються з підвищеною частотою, то формується верхня зона (U1-2U1) синусоїди. На

15 негативній половині синусоїди ключі 12, 7 постійно вимкнені.

Пропонований автотрансформаторний автономний трирівневий інвертор дозволяє підвищувати якість і величину вихідної синусоїдальної напруги при живленні від джерела не тільки постійного, але і змінного струму і при відповідному управлінні виконувати інші функції: регулювати і стабілізувати змінну напругу; працювати в режимі синхронного випрямляча; працювати в реверсному режимі, передаючи енергію в зворотному напрямку; працювати в режимі коректора коефіцієнта потужності.

Наприклад, режим трансформаторного подвоєння вихідної змінної напруги забезпечується послідовним підключенням з підвищеною частотою напівобмоток автотрансформатора до затисків мережі змінного струму. Пульсуюча з подвоєною частотою і подвоєною амплітудою напруги мережі гладка напруга проміжної ланки (конденсатор 10), отримана в результаті активного випрямлення суми напруг двох напівобмоток (22, 23) автотрансформатора, після інвертування у формі синусоїди надходить на вихідні затискі перетворювача та навантаження 16.

30 На фіг. 3 наведені часові діаграми, отримані за результатами моделювання в середовищі OrCAD підвищувально-знижувального перетворювача на фіг. 1 в режимі подвоєння напруги: алгоритми роботи катодної групи транзисторів 7, 8, 9, 18 (верхніх за схемою), напруга мережі U1, напруга проміжної ланки (ПЛ) UP постійної напруги та подвоєна вихідна напруга після вихідного фільтра $U_3=2U_1$. Індуктивність вихідного фільтра в моделі навмисне завищена, щоб показати можливість роботи перетворювача на навантаження з низьким коефіцієнтом

35 потужності.

Режими трансформаторного підвищення та зниження напруги забезпечують плавне широтно-імпульсне регулювання вихідної змінної напруги у верхній (між подвійною та одинарною напругами мережі) і нижній (між одинарною і нульовою напругами мережі) зонах.

40 На фіг. 4 і 5 наведені діаграми сигналів керування транзисторами перетворювача (фіг. 1) у режимі ШИМ верхньої та нижньої зон регулювання відповідно. На діаграмах показані алгоритми керування транзисторами 7, 8, 9, 18, напруга мережі U1 (для порівняння), напруги проміжної ланки UP, вихідна напруга U3 на навантаженні 16. З діаграм видно, що в режимі зниження напруги автотрансформатор 20 постійно короткозамкнений і амплітудна напруга ПЛ - гладка крива. Ця напруга модулюється транзисторами 18, 19 з підвищеною частотою і подається

45 безпосередньо на вихід перетворювача та навантаження після фільтрації вищих гармонік.

У режимі підвищення модулюється напруга на автотрансформаторі 20, та частково напруга UP проміжної ланки. Частково, оскільки конденсатор 10 проміжної ланки згладжує пульсації з частотою регулювання модульованої напруги автотрансформатора 20, що істотно впливає на якість вихідної напруги перетворювача.

50 Таким чином, за рахунок введення нових елементів досягається новий технічний результат: формування синусоїдальної напруги при електроживленні від одного джерела, збережені якості усіх показників вихідної електроенергії і спрощені системи перетворення, тобто, даному інвертору напруги властиві: розширені функціональні можливості; спрощення; зменшений показник вартості та поліпшення основних його показників - ККД, надійності та якості вихідної

55 електроенергії.

Джерела інформації:

1. Filatov V. Two-and three-level inverters on IGBT. // Power Electronics, 2012,-No. 4,-pp. 38-41. (Rus)

2. Baker R. H and Bannister L. H. Electric Power Converter, U.S. Patent 3 867 643, Feb. 1975.

3 Голубев В.В., Грудська В.П., Чибеліс В.Г, Денисенко О.С. Міюц А.С. Імітаційне моделювання і аналіз імпульсних перетворювачів змінної напруги з вільною циркуляцією енергії
<http://iour.fea.kpi.ua/article/view/255077/252164>.

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

10

15

20

Трирівневий інвертор напруги, що містить позитивну та негативну клему, для підключення джерела електроживлення постійної напруги, та міст, що виконаний на першій, другій та третій стійках, кожна з яких має по два послідовно з'єднаних верхніх та нижніх транзисторно-діодних ключі, кожен з верхніх ключів цих стійок колекторами транзисторів та катодами діодів об'єднані між собою та з позитивною клемою буферного конденсатора, негативна клема якого з'єднана з емітерами та анодами діодів нижніх транзисторно-діодних ключів цих самих стійок, середня точка першої стійки через дросель вихідного фільтра приєднана до першого виводу конденсатора вихідного фільтра та навантаження, а другий вивід з'єднаний з середньою другої стійки та з негативною клемою для підключення джерела електроживлення постійної напруги, який **відрізняється** тим, що до нього введена четверта стійка з двома послідовно з'єднаними транзисторно-діодними ключами та автотрансформатор із середньою точкою, причому колектор транзистора й катод діода верхнього ключа та емітер транзистора й анод діода нижнього ключа цієї стійки підключені, відповідно, до колекторів верхніх ключів та до емітерів нижніх ключів трьох стійок, а між середніми точками третьої та четвертої стійок включені крайні виводи автотрансформатора, середня точка якого з'єднана з позитивною клемою для підключення джерела електроживлення постійної напруги.

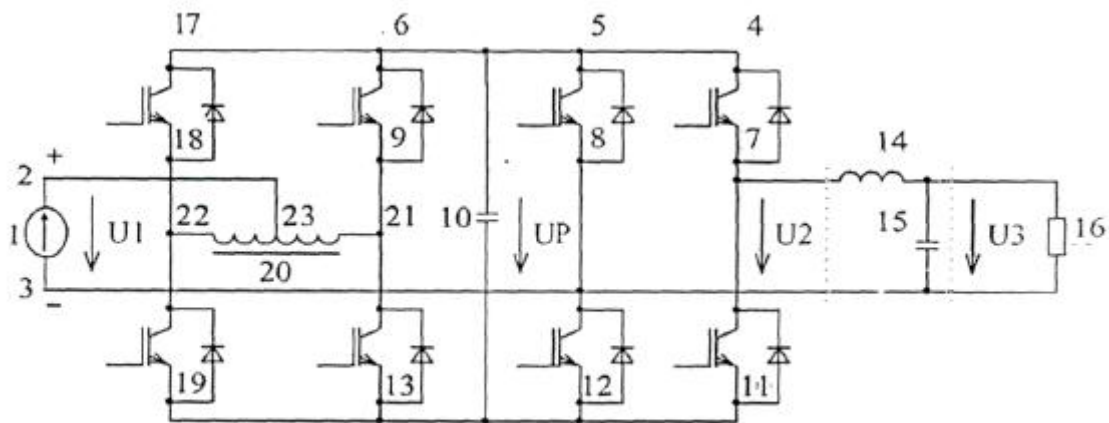
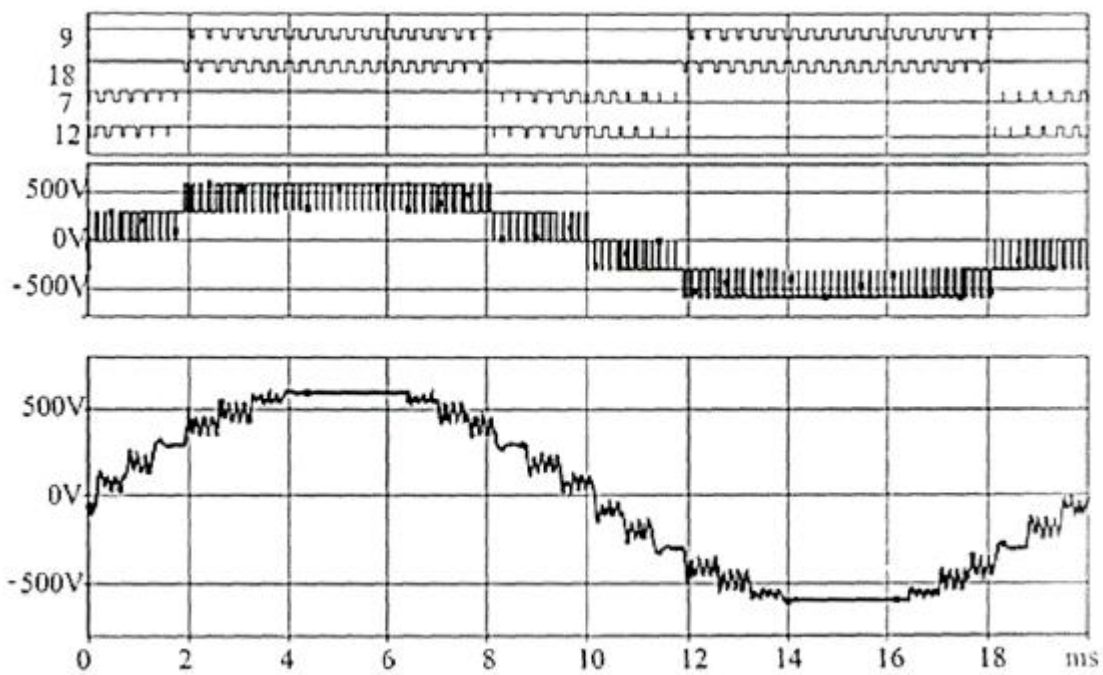
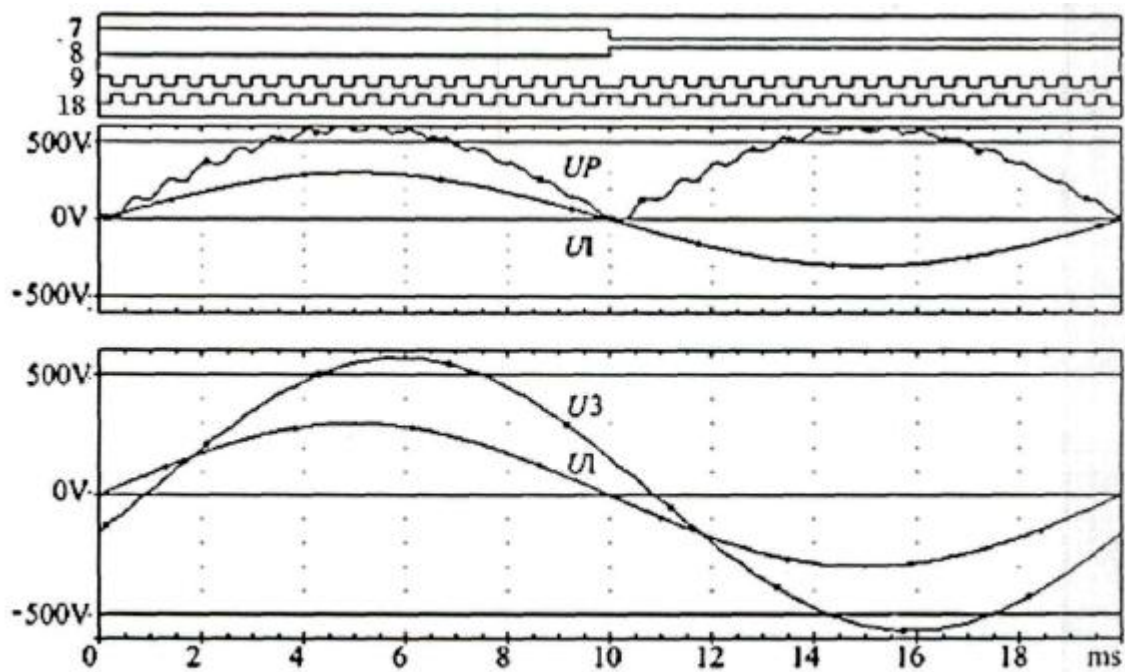


Fig. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

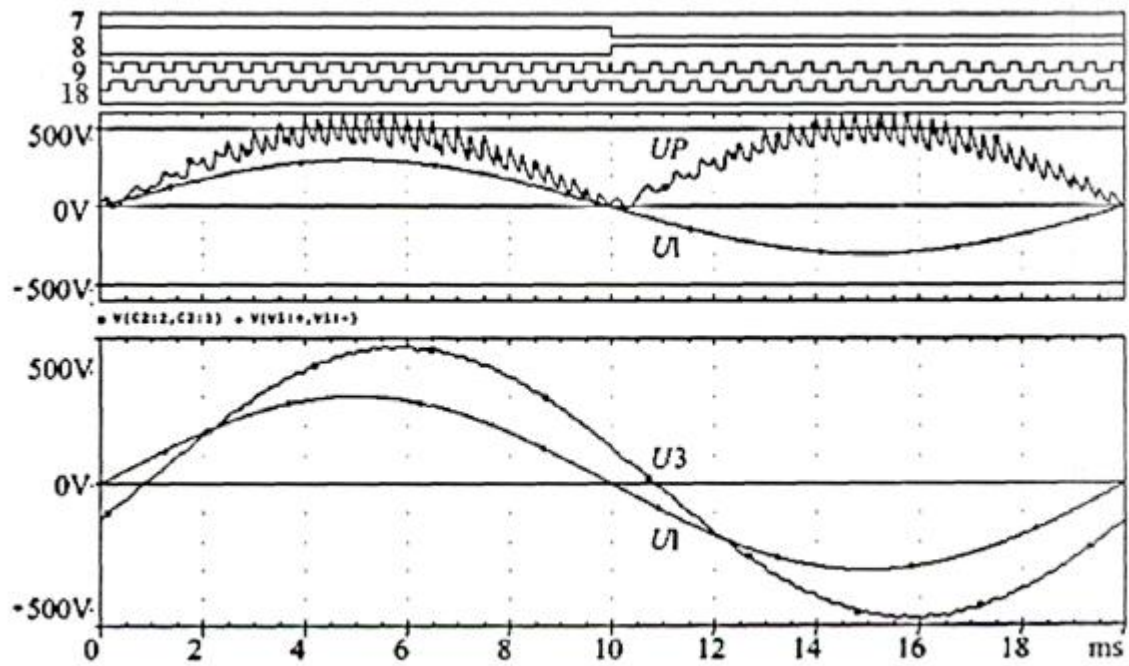


Fig. 4

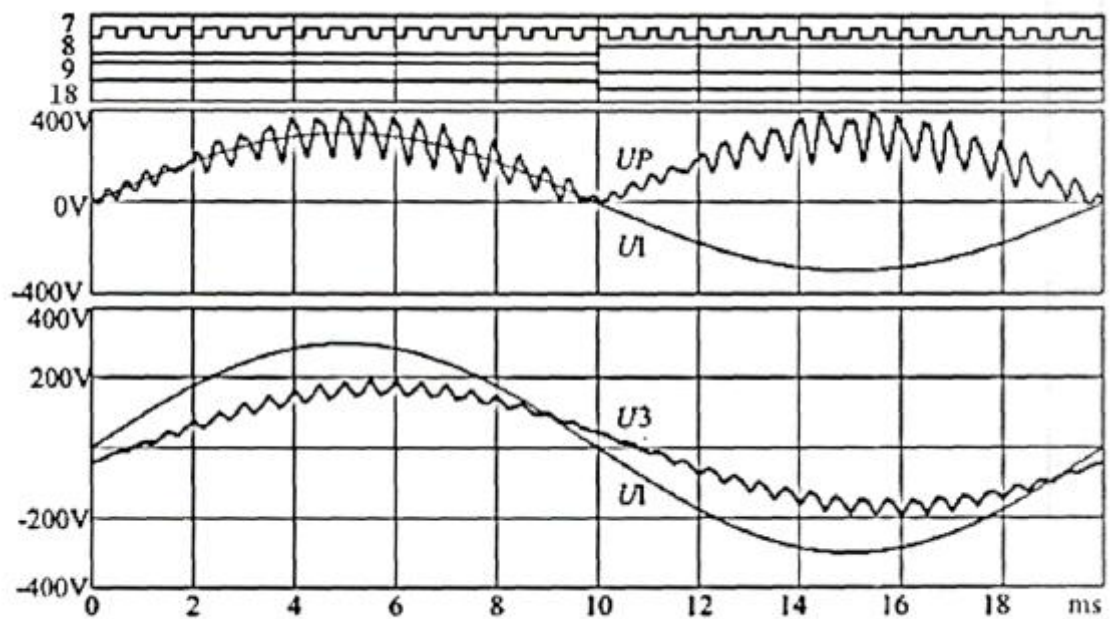


Fig. 5