

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ДВОЗОННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗМІННОЇ НАПРУГИ З ВИСОКОЧАСТОТНИМ АВТОТРАНСФОРМАТОРОМ

Голубєв В.В., ст. наук. співробітник

Інститут електродинаміки НАН України

Грудська В.П., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Сурду М.В., студентка

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра атомних електростанцій та інженерної теплофізики

Жованик К.А., студентка

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра промислової та муніципальної теплоенергетики та енергозбереження

Вступ. Імпульсні перетворювачі змінної напруги розповсюджені практично в усіх галузях промисловості і транспорту, тому від їхньої роботи в значній мірі залежить ефективність споживання електроенергії. Найчастіше такі перетворювачі використовують як регулятори і стабілізатори змінної напруги, оскільки вони забезпечують точність стабілізації, швидкодію, якість вихідної енергії. Разом з тим, вони мають досить низькі масогабаритні та вартісні показники. Усунення цього протиріччя залежить від оптимального вибору структури силової частини, алгоритму керування і елементної бази перетворювача [1].

Точність стабілізації і якість вихідної енергії змінного струму досягають використанням силових схем, що дозволяють розділити весь діапазон регулювання на зони, у межах яких можна здійснювати точне і якісне регулювання вгору і вниз від номінального значення або від напруги мережі. З цією метою зазвичай використовують трансформатори, для зменшення габаритів і маси яких потрібне підвищення їхньої робочої частоти. Цим фактором, у свою чергу, обумовлена необхідність використання швидкодіючих ключів змінного струму, створених на основі досягнень сучасної силової транзисторної техніки [2].

Мета роботи: дослідити функціональні можливості імпульсних двозонних перетворювачів змінної напруги з високочастотним автотрансформатором шляхом моделювання режимів роботи за різних структур силових схем і алгоритмів керування транзисторів.

Матеріал досліджень. Дослідження проводилися з використанням імітаційних моделей силових схем вказаних перетворювачів, розроблених фахівцями Інституту електродинаміки НАН України [3]. Моделювання виконувалося за допомогою пакету програм OrCAD. У моделях силових схем транзистори імітувалися ідеальними ключами, керованими напругою, з бібліотеки ANALOG, діоди - компонентами Dbreak бібліотеки BREAKOUT; моделі конденсаторів і дроселей також з бібліотеки ANALOG; алгоритми

керування ключами формувалися з цифрових сигналів на виході джерел DigClock бібліотеки SOURCE.

На рис. 1 наведено принципову схему силової частини двозонного перетворювача змінної напруги інверторного типу, побудованого на основі високочастотного автотрансформатора з мінімально можливою кількістю ключових елементів. Крім автотрансформатора Т1 з відводом середньої точки до складу перетворювача входять: реверсивний випрямляч зі зворотними діодами VS1 - VS4; інвертор на транзисторах VS5 – VS8 зі зворотними діодами; проміжна ланка (media link) у вигляді буферного конденсатора C_1 з пульсуючою напругою; вхідний дросель L_1 ; один або одночасно два вихідних фільтра $L_2 - C_2, L_3 - C_3$ з наступним підключенням до них навантажень будь-якого виду (активних, реактивних).

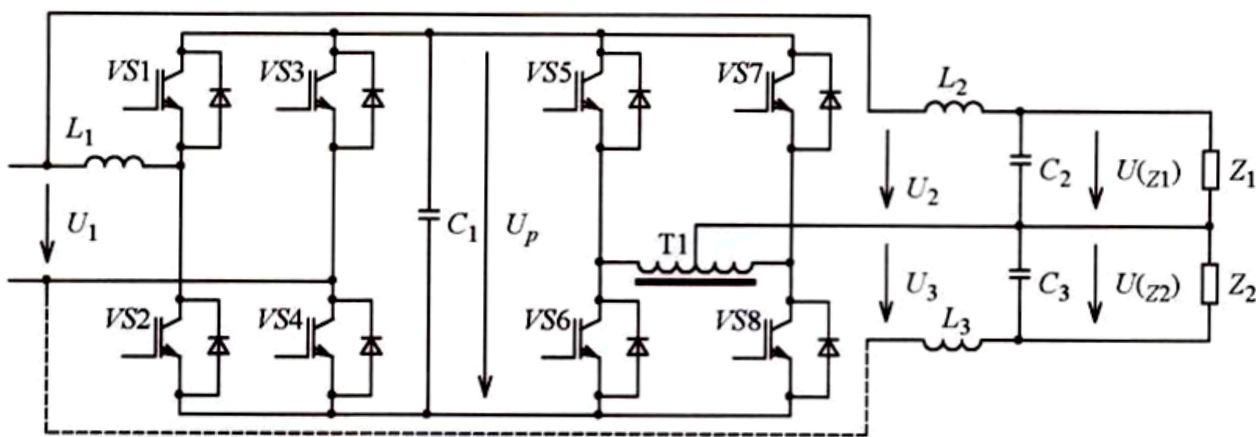


Рисунок 1 – Схема силової частини двозонного перетворювача змінної напруги інверторного типу

Автотрансформатор Т1 з відводом середньої точки дозволяє розділити весь діапазон імпульсного регулювання на дві зони з різним алгоритмом керування, що забезпечує суттєве підвищення якості вихідної енергії і точності регулювання вихідної напруги (струму). Реверсивний випрямляч може виконувати декілька функцій: скидати і рекуперувати у мережу надлишкову енергію навантаження (тобто здійснювати безпосередній зв'язок проміжної ланки з мережею); формувати вхідний струм; підвищувати або формувати напругу U_p проміжної ланки. Якщо реверсивний випрямляч працює у режимі підвищення напруги U_p , то весь діапазон і зони регулювання пропорційно розширюються. Крім того, в цьому режимі степінь підвищення напруги U_p і розширення зон регулювання може змінюватися протягом періоду мережі за будь-яким законом. Транзистори випрямляча VS3, VS4 вмикають по чергові з частотою мережі в усіх режимах роботи регулятора; транзистори VS1, VS2 переключають з частотою мережі у понижувальному режимі роботи і з підвищеною частотою - у режимі підвищення напруги.

Вхідний дросель L_1 необхідний для роботи перетворювача у підвищувальному режимі і обмеження струму в буферному конденсаторі при вмиканні пристрою і можливих перепадах напруги мережі. Буферний

конденсатор C_1 призначений для накопичення енергії і передачі її у навантаження з наступним скиданням у мережу в режимі рекуперації; часткового згладжування пульсацій напруги U_P проміжної ланки.

На рис. 2 наведено результати моделювання роботи даного регулятора в режимі пониження напруги. На часових діаграмах показано наступні епюри: сигнали керування непарними транзисторами $VS1, VS3, VS5, VS7$ (парні мають інверсні сигнали керування відносно непарних); напруга мережі U_1 (для порівняння); напруга на автотрансформаторі U_{T1} ; напруга проміжної ланки U_P ; вихідні напруги U_2, U_3 ; напруги на навантаженнях U_{Z1}, U_{Z2} .

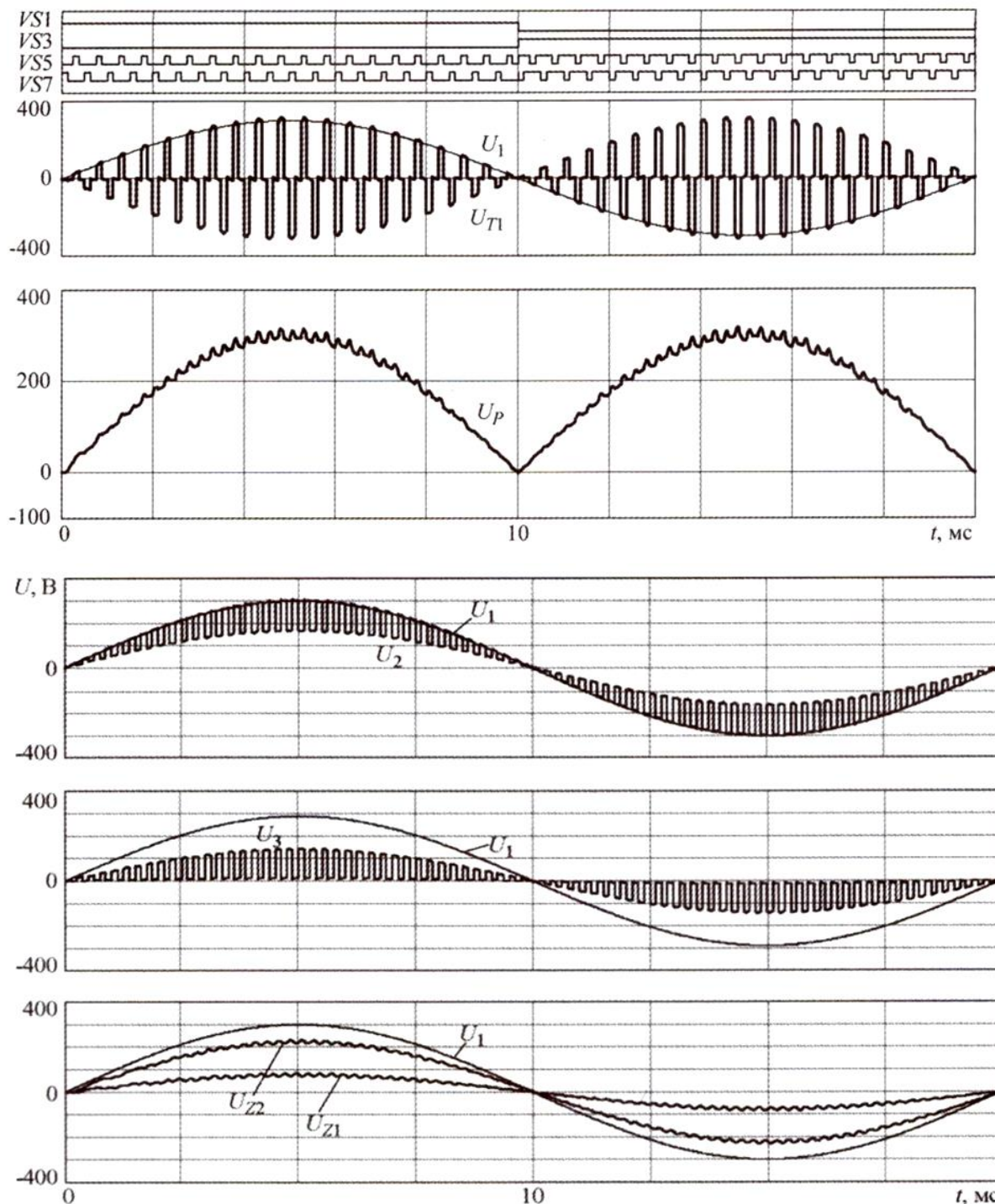


Рисунок 2 – Результати моделювання регулятора в режимі пониження напруги

Якщо алгоритм керування транзисторами $VS5$, $VS7$ замінити на алгоритм керування транзисторами $VS6$, $VS8$ і навпаки, то поміняються місцями епюри вихідних напруг і напруг на навантаженнях. Це означає, що для зміни зони регулювання на будь-якому з навантажень достатньо поміняти алгоритм керування транзисторами $VS5 - VS8$.

Зміна шпаруватості сигналів керування цими транзисторами призводить до збільшення напруги на одному з навантажень і пропорційного зменшення напруги на другому, оскільки сума цих напруг дорівнює напрузі мережі $U_{Z1} + U_{Z2} = U_1$. У разі шпаруватості $\gamma_{5,8} = \gamma_{6,7} = 2$ обидві напруги рівні $U_{Z1} = U_{Z2} = U_1/2$.

Слід відмітити таку особливість двозонного перетворювача на рис.1: якщо до одних вихідних затискачів підключити навантаження індуктивного характера, а до других - ємнісного, то він може бути використаний як джерело реактивної потужності.

Розглянутий вище регулятор має властивість оберненості: якщо в схемі на рис.1 вхід і вихід поміняти місцями, то отримуємо перетворювач, який забезпечує підвищення напруги до подвійного значення. При цьому він не тільки зберігає здатність понижувати напругу, але й набуває нових можливостей.

На рис. 3 наведено силову схему такого багатофункціонального двозонного перетворювача напруги.

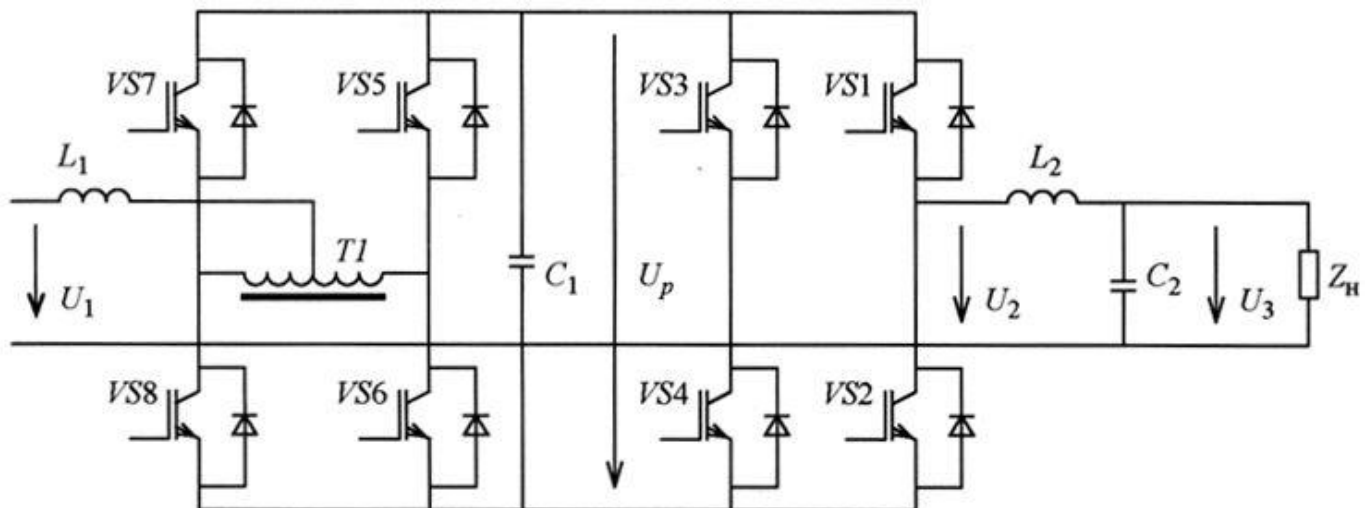


Рисунок 3 – Схема силовій частині багатофункціонального двозонного перетворювача напруги

У цьому перетворювачі можливі такі режими роботи:

- режим дросельного підвищення напруги і/або коректора коефіцієнта потужності (ККП);
- режим трансформаторного подвоєння (неспотворюваного формування подвоєної напруги мережі);
- режим трансформаторного підвищення напруги (широтно-імпульсної модуляції у верхній зоні регулювання);
- режим пониження напруги (широтно-імпульсна модуляція в нижній зоні регулювання);
- режим прямої передачі напруги (передачі напруги мережі без спотворень);

•режим автономного живлення.

Режим дросельного підвищення напруги аналогічний режиму роботи підвищувального перетворювача постійної напруги і ККП, але, на відміну від останніх, у перетворювачі на рис.3 замикання на мережу дроселя L_1 забезпечується одночасним увімкненням трьох транзисторів анодної (VS_4, VS_6, VS_8) або катодної (VS_3, VS_5, VS_7) групи діодно-транзисторного мосту в залежності від полярності напруги мережі. Перебіг електромагнітних процесів такого режиму в перетворювачах інверторного типу описаний у літературних джерелах [4, 5].

Режим трансформаторного подвоєння напруги створюють почерговим підключенням з підвищеною частотою напівобмоток автотрансформатора до мережі. Внаслідок активного випрямлення суми напруг двох напівобмоток напруга проміжної ланки U_p пульсує з подвоєною частотою і подвоєною амплітудою напруги мережі. Після інвертування напруга U_p у формі синусоїди подається на вихідні затискачі перетворювача і через фільтр у навантаження. На рис. 4 викладено часові діаграми, отримані в результаті моделювання режиму подвоєння напруги: алгоритми роботи катодної групи транзисторів VS_1, VS_3, VS_5, VS_7 ; напруга мережі U_1 ; напруга проміжної ланки U_p ; подвоєна вихідна напруга після вихідного фільтра $U_3 = 2U_1$. Індуктивність вихідного фільтра в моделі буда свідомо завищена, щоб показати можливість роботи перетворювача на навантаження з низьким коефіцієнтом потужності.

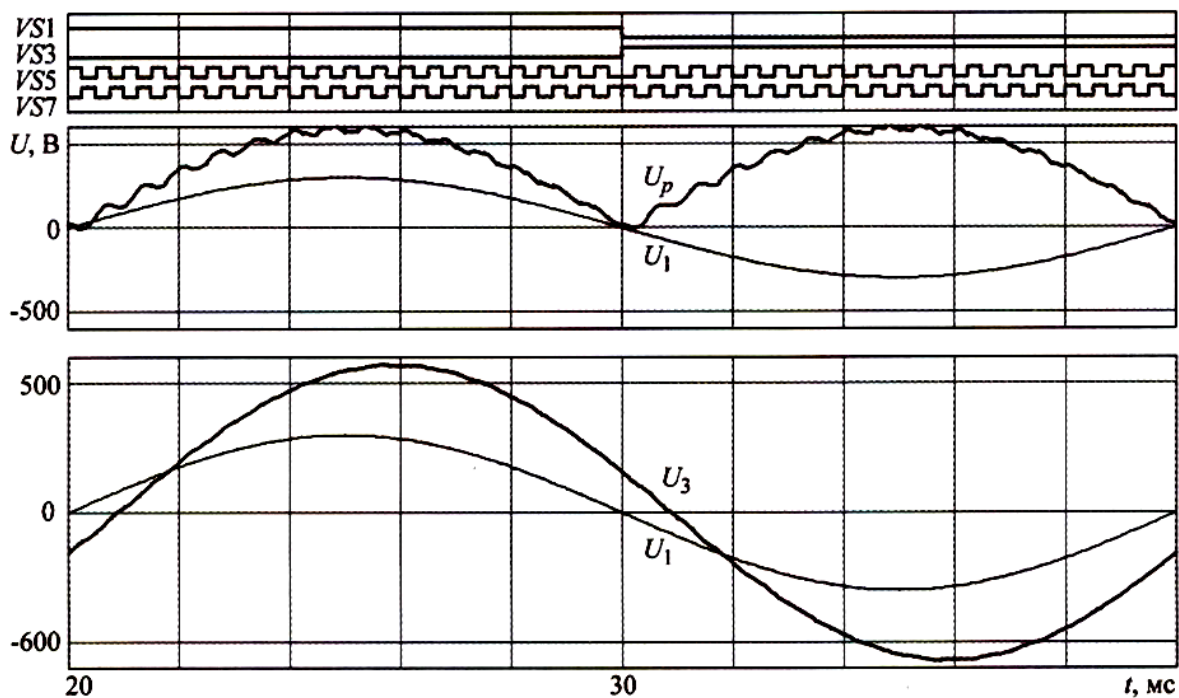


Рисунок 4 – Моделювання режиму подвоєння напруги багатofункціонального перетворювача

Режим трансформаторного підвищення напруги отримують плавним широтно-імпульсним регулюванням вихідної змінної напруги у верхній зоні, тобто між подвійним і одинарним значеннями напруги мережі.

Результати моделювання цього режиму подано на рис. 5. З діаграм видно, алгоритм керування транзисторів $VS5$, $VS7$ забезпечує модуляцію на підвищеній частоті напруги U_{T1} автотрансформатора і частково напруги U_p проміжної ланки, оскільки конденсатор C_1 сукупно з входним дроселем L_1 утворюють проміжний фільтр. Він згладжує пульсації з частотою регулювання в модульованій напрузі автотрансформатора, що суттєво впливає на якість вихідної напруги перетворювача.

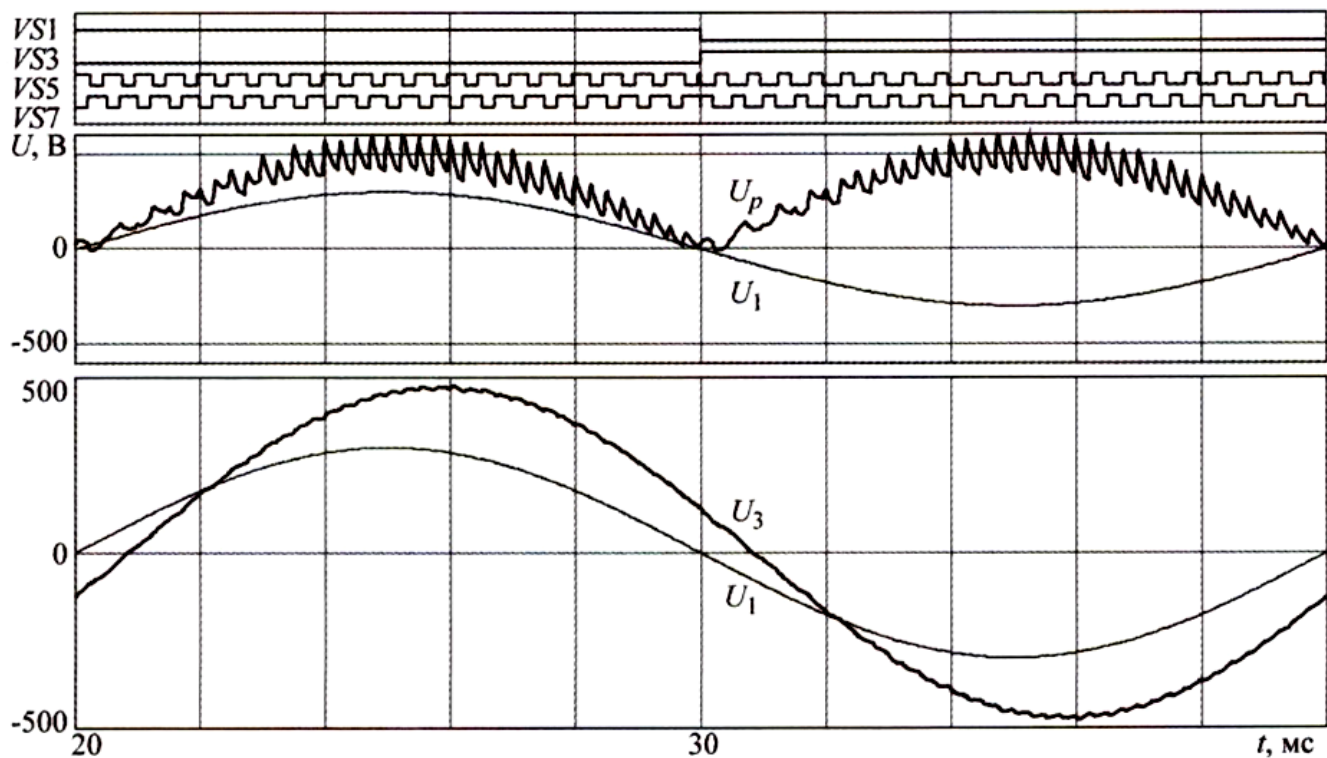


Рисунок 5 – Моделювання режиму трансформаторного підвищення напруги багатфункціонального перетворювача

Режим пониження напруги має широтно-імпульсного регулювання вихідної змінної напруги у нижній зоні (між одинарним і нульовим значення напруги мережі). У такому режимі автотрансформатор замкнений і напруга U_p проміжної ланки має форму гладких напівхвиль, пульсуючих з амплітудою напруги мережі. Ця напруга модулюється на підвищеній частоті безпосередньо на виході перетворювача транзисторами $VS1$, $VS2$ (рис. 6) і подається на навантаження після фільтрації вищих гармонік.

Режим прямої передачі напруги є частиною режиму пониження напруги, оскільки він забезпечує пряму передачу напруги мережі у випрямленому вигляді в проміжну ланку пульсуючої напруги і після інвертування у навантаження.

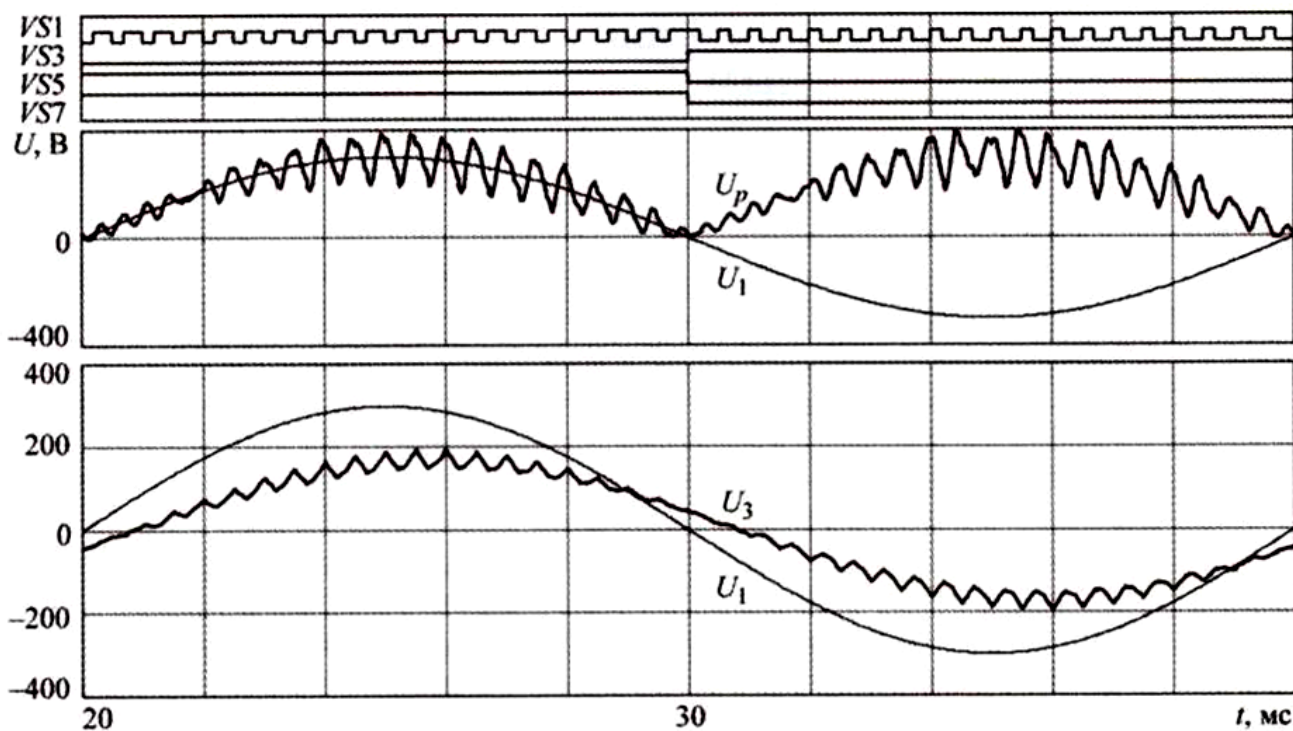


Рисунок 6 – Результати моделювання режиму пониження вихідної напруги багатofункціонального перетворювача

Режим автономного живлення може бути реалізований, якщо паралельно конденсатору C_1 підключити акумуляторну батарею або інше джерело постійного струму, яке не зв'язане з електромережою і використовується для резервного електроживлення. Тоді за роботи транзисторів $VS1 - VS4$ в інверторному режимі з синусоїдною широтно-імпульсною модуляцією перетворювач спроможний забезпечувати навантаження змінною напругою у випадку аварійного відключення мережі, тобто він набуває властивості агрегату безперебійного живлення.

Дослідження показали, що використання розглянутих вище структур двозонного перетворення напруги доцільне також за їхнього живлення від джерел постійного струму. На рис. 7 наведено силову схему двозонного інвертора напруги, що формує змінну напругу з покращеним гармонічним складом, на рис.8 - результати його моделювання.

На часових діаграмах рис. 8 показано епюри: алгоритми керування транзисторів $VS1 - VS5$; вхідної U_1 ; вихідних U_2 і U_3 напруг відповідно до і після фільтра. Як видно з діаграм, за зміни алгоритма роботи транзисторів $VS1 - VS2$, працюючих на підвищеній частоті, змінюється зона регулювання, а переключення $VS5, VS6$, працюючих на пониженій частоті, призводить до зміни зони і полярності вихідної напруги.

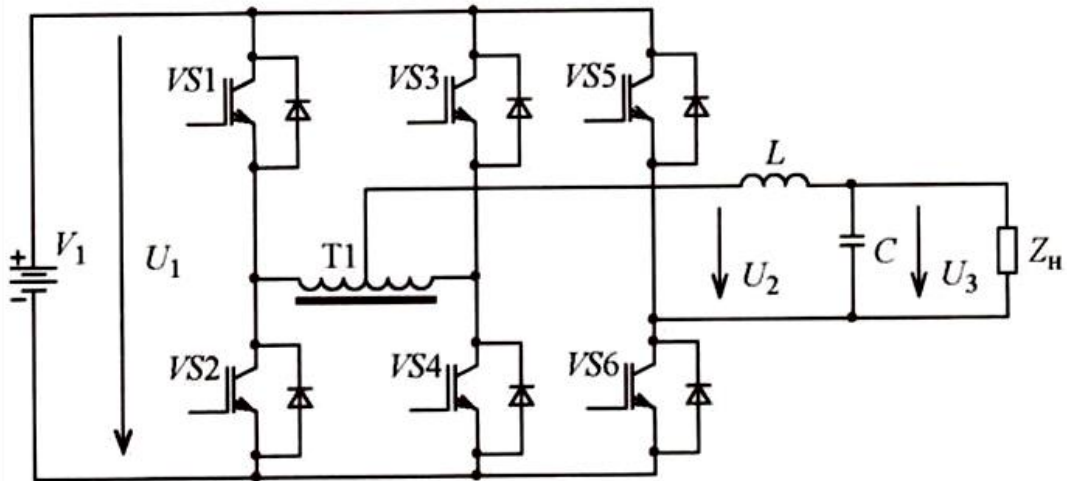


Рисунок 7 – Силова схема двозонного інвертора напруги.

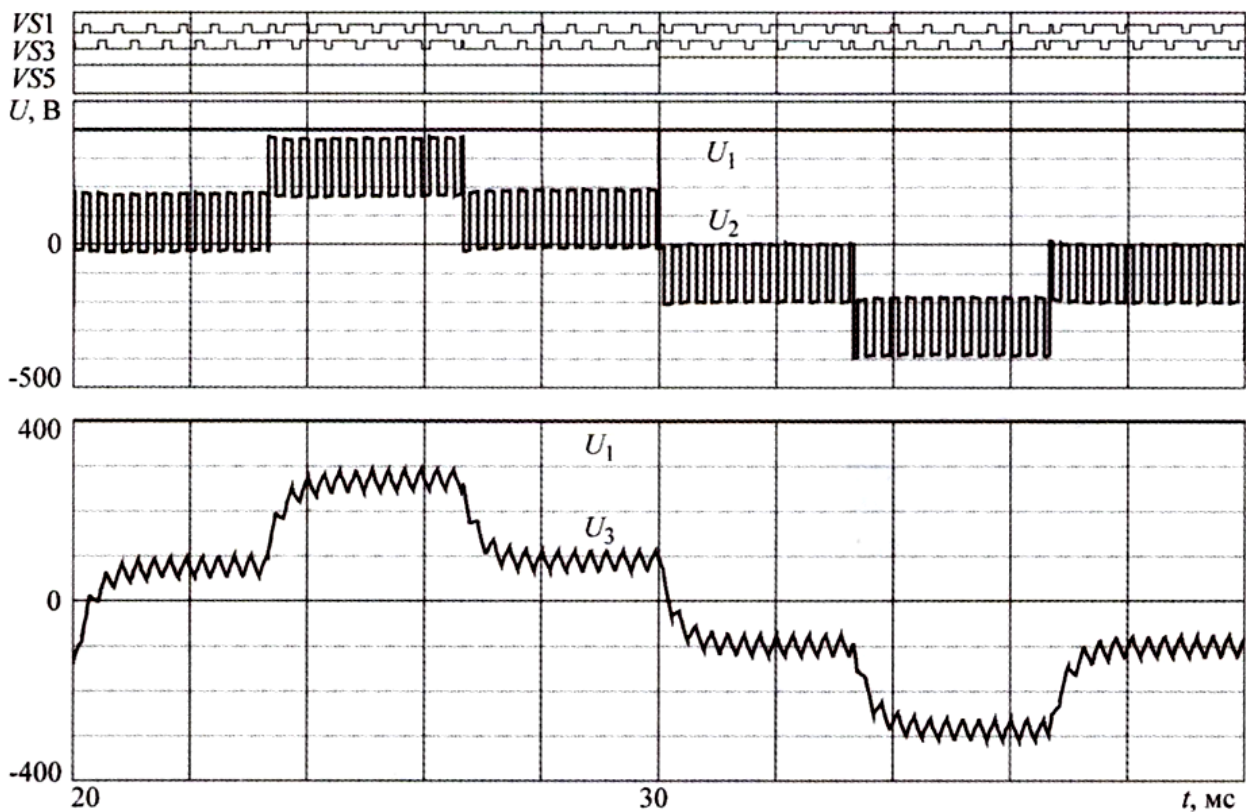


Рисунок 8 – Результати моделювання двозонного інвертора напруги.

Висновки. Результати досліджень імітаційних моделей двозонних транзисторних перетворювачів напруги з високочастотним трансформатором висвітлюють загальні принципи роботи перетворювачів такого типу і функціональні можливості окремих варіантів структур їхньої силової частини. Це дозволяє оптимізувати вибір перетворювача для конкретних умов експлуатації, а також сприяє розробці нових перспективних силових схем і систем керування.

Перелік посилань

1. Новський В.А., Голубєв В.В., Попов А.В. Оптимальне регулювання змінної напруги. //Техн. електродинаміка. Темат. вип. “Проблеми сучасної електротехніки”.-2002.-4.6.-С.45-47.
2. Голубєв В.В. Імпульсне перетворення змінної напруги. -К.: Наукова думка, 2016.-245с.
3. Голубєв В.В. Імпульсні перетворювачі напруги з високочастотним трансформатором //Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. - Київ: ІЕД НАНУ, 2007.-N2(17)/-С.94-100
4. Руденко В.С., Жуйков В.Я., Коротеєв Н.Е. Расчёт устройств преобразовательной техники. - К.: Техника, 1990.-135с.
5. Липковский К.А. Трансформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения - Киев: Наук. думка, 1998.-216с.