

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ІМПУЛЬСНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ЗМІННОЇ НАПРУГИ ЗІ СПІЛЬНИМ ВУЗЛОМ КОМУТАЦІЇ ВЕНТИЛЬНИХ КЛЮЧІВ

При оптимізації енергетичних показників і експлуатаційних характеристик імпульсних перетворювачів напруги особливої уваги вимагають методи комутації вентильних кіл без додаткових втрат, комутаційних струмів короткого замикання і перенапруг.

У цій статті проведений огляд і аналіз функціональних можливостей імпульсних перетворювачів у силовій структурі яких використаний спільний вузол комутації для кількох кіл, що підлягають перемикаючому. Враховуючи особливості побудови силових схем, розглянуті перетворювачі поділено на дві групи – з мостовими ключами і матричними. На прикладі однофазного регулятора змінної напруги показано принципи роботи спільного вузла комутації тиристорів вхідного мосту, який закладено в основу комутаційного процесу в інших перетворювачах різного призначення.

Аналіз силових схем однофазних перетворювачів обох типів показав, що при використанні спільного вузла комутації вони набувають додаткових корисних властивостей, зокрема підвищується швидкість регулювання напруги з кількістю рівнів, більшою ніж число пар тиристорів; за наявності у структурі перетворювача вольтоподатного трансформатора (ВДТ) створюється можливість запобігти появі перенапруг.

Особливо доцільним є використання спільного вузла комутації в однофазних широкодіапазонних регуляторах напруги, силова структура яких зазвичай побудована на трансформаторах, що працюють і на основній і на підвищених частотах. Через подвійне перетворення енергії такі пристрої мають підвищену кількість комутуваних вентилей, тому спільний вузол комутації суттєво покращує їх експлуатаційні показники і дозволяє: регулювати вихідну напругу частотно-імпульсним і широтно-імпульсними способами в діапазоні $0 - 1 U_{ВХ}$ з високими показниками якості напруги; реверсувати вихідну напругу відносно напруги мережі; об'єднати в одному блоці функції модулятора (інвертора) і демодулятора.

Дослідження трифазних варіантів мостових і матричних перетворювачів зі спільним вузлом комутації висвітлює, що використання саме такої силових структур пристрою є ефективним заходом для симетрування напруг при підключенні однофазного навантаження до трифазної мережі; для швидкодіючого переключення резервних мереж в агрегатах безперебійного електроживлення; для безпосереднього перетворення частоти з можливістю регулювання напруги і реактивної потужності.

Ключові слова: імпульсний перетворювач, тиристорно-діодний ключ, мостовий ключ, штучна комутація, вузол комутації, комутуючий тиристор, розподільчі діоди, резервоване живлення.

Вступ

Широке впровадження сучасних технологій у промислове виробництво в багатьох випадках зумовлює необхідність перетворення параметрів електроенергії, виробленої електростанціями. Підключення до електромереж споживачів з нелінійними, несиметричними, нестационарними параметрами, а також зі швидкозмінним графіком споживання струму негативно впливає на функціонування систем електропостачання, оскільки погіршує якість електроенергії та підвищує рівень кондуктивних завад. Це знижує ефективність використання електрообладнання, а в деяких випадках унеможливує паралельне підключення до мережі різнотипних споживачів (електромагнітна сумісність). Значна частина електроприймачів не може нормально функціонувати при суттєвих відхиленнях напруги мережі, наявності вищих гармонік у нарузі та струмі системи електропостачання, тому такі електроприймачі комплектуються напівпровідниковими регуляторами та стабілізаторами напруги або струму, від роботи яких багато в чому залежить ефективність електроспоживання. На даний момент найбільш енергоефективними вважаються імпульсні перетворювачі змінної напруги, в яких перетворення параметрів електроенергії здійснюється в основному за допомогою напівпровідникових діодно-тиристорних ключових (імпульсних) схем.

Їх широко використовують для регулювання, стабілізації, зміни форми і частоти напруги, а також як адаптери для узгодження параметрів мережі електроживлення з вимогами навантаження. Раціональна

побудова імпульсних перетворювачів можлива на стадіях проектування і наладки, якість і достовірність яких в значній мірі залежать від наявності об'єктно-орієнтованого математичного апарату, імітаційного моделювання і практичних знань, накопичених у цій області.

В Інституті електродинаміки НАН України протягом багатьох років проводяться роботи по вивченню електромагнітних процесів і енергетичних характеристик імпульсних перетворювачів змінної напруги, зокрема регуляторів і стабілізаторів, з метою підвищення їх техніко-економічних показників і розробки перспективних структур з вентильними комутаторами. Матеріал даної статті ґрунтується на доробках фахівців Інституту електродинаміки, втілених у дослідних зразках перетворювачів і випробуваних у лабораторних та виробничих умовах.

Однофазні і трифазні імпульсні перетворювачі змінної напруги будують на основі тиристорів з природною або штучною комутацією. Спільна їх перевага – висока надійність внаслідок високої переважувальної спроможності та великого коефіцієнту підсилення кола управління тиристорами, а також можливість побудови перетворювачів з урахуванням великих потужностей навантаження. Спільними недоліками тиристорних перетворювачів є проблеми з комутацією тиристорів [1,2]. Незважаючи на певні однакові властивості, перетворювачі з природною комутацією тиристорів (ППКТ) і зі штучною комутацією тиристорів (ПШКТ) мають суттєві відмінності. Так, ППКТ можуть працювати тільки у режимі фазового і низькочастотного (нижче частоти мережі) управління, причому за фазового управління у випадках активного і активно-індуктивного навантаження неминуче відставання за фазою струму мережі від напруги мережі, що приводить до низького вхідного коефіцієнту потужності перетворювача. Крім того, у разі активно-індуктивного навантаження вони мають зону нечутливості до управління, яка дорівнює куту зсуву фаз між напругою і струмом мережі. ППКТ не потребують систем скидання накопиченої енергії.

У багатьох випадках забезпечити необхідну споживачеві форму вихідної напруги перетворювача і пов'язані з нею характеристики можливо тільки шляхом штучної комутації тиристорів.

ПШКТ порівняно з ППКТ потребують спеціальних заходів для скиду енергії, яка накопичується у колі навантаження і ланках штучної комутації, але мають більшу швидкодію, вищий коефіцієнт вхідної потужності, кращу якість вихідної напруги. Через наявність у силовій частині вузлів штучної комутації таким перетворювачам притаманні підвищені маса, габарити і вартість. За великої кількості комутуваних кіл окреслені недоліки можна зменшити шляхом побудови перетворювальної схеми зі спільним вузлом комутації для декількох кіл.

Мета і завдання

Визначити функціональні можливості імпульсних одно-і трифазних перетворювачів змінної напруги найбільш поширених різновидів – на мостових ключах і матричних – при удосконаленні їх силовій схеми шляхом побудови спільного вузла штучної комутації тиристорів усіх (за можливості) або частини вентильних ключів.

Матеріал і результати досліджень

Перетворювач на мостових ключах. На рис 1 показано схему регулятора змінної напруги зі спільним вузлом штучної комутації, який дозволяє регулювати напругу шляхом перемикавання навантаження з одного відводу трансформатора на інший, причому число кіл, що перемикаються, нічим не обмежене [3].

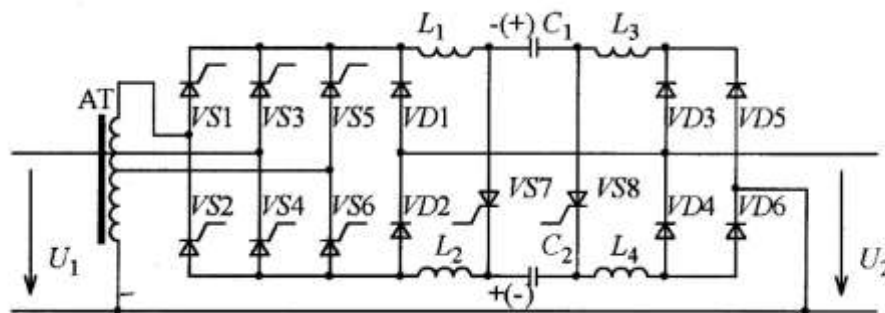


Рисунок 1 – Схема регулятора змінної напруги з мережевим автотрансформатором

Пристрій має таку структуру: мережевий автотрансформатор (АТ), вхідний тиристорно-діодний міст ($VS1 - VS6, VD1, VD2$), силовий $VS7$ і комутуючий $VS8$ тиристори, комутуючі конденсатори (C_1, C_2), комутуючі дроселі ($L_1 - L_4$), вихідний діодний міст ($VD3 - VD6$).

Перетворювач працює наступним чином. У робочому інтервалі часу ввімкнені одна з трьох пар тиристорів вхідного мосту, наприклад, $VS1, VS2$ і силовий тиристор $VS7$, який проводить струм навантаження. У вихідній напрузі u_2 регулятора формується імпульс у вигляді відрізка синусоїди вхідної напруги u_1 . Одночасно комутуючі конденсатори перезаряджаються через діоди вихідного мосту, комутуючі

дроселі $L_3 - L_4$ і ввімкнений тиристор $VS7$ до напруги, яка дещо нижче за подвійну напругу мережі з полярністю, вказаною без дужок.

Внаслідок перезаряду конденсаторів вузол комутації готовий до вимкнення силового тиристора $VS7$, через який проходить струм навантаження. У кінці робочого інтервалу вмикається комутуючий тиристор $VS8$, до силового тиристора $VS7$ прикладена зворотна для нього напруга конденсаторів, і він швидко відновлює запірну здатність. Тиристор $VS8$ замикає накоротко діодний міст, і у вихідній напрузі перетворювача формується пауза. Під час паузи конденсатори C_1, C_2 перезаряджаються через працюючий тиристор $VS8$, комутуючі дроселі L_1, L_2 і діоди $VD1, VD2$; напруга на конденсаторах набуває полярності, яку показано на рис. 1 у дужках. У кінці паузи знову вмикається силовий тиристор $VS7$ і одна з пар тиристорів вхідного мосту. Комутуючий тиристор $VS8$, вимикається, конденсатори перезаряджаються через силовий тиристор і діоди вихідного моста. Процес повторюється. Від того, яка пара тиристорів вхідного мосту вмикається і на який час, залежить форма і значення основної гармоніки вихідної напруги, а також спосіб регулювання - вузько-або широкодіапазонний.

При побудові вузькодіапазонного регулятора-стабілізатора з метою підвищення якості вхідного струму і вихідної напруги перетворювача використовують вольтододатні трансформатори (ВДТ) з однією або декількома первинними обмотками [4]. В останньому випадку схема набуває більшу кількість ступенів (рівнів) регулювання, що дозволяє підвищити точність та якість регулювання вихідної напруги, особливо за наявності двох трансформаторів. Приклад такої схеми показано на рис. 2, де використання спільного вузла комутації дозволяє виконувати швидкодіюче (період мережі) регулювання напруги з кількістю станів (рівнів) більшою, ніж число пар силових тиристорів. Крім того, виникає можливість здійснювати коротке замикання первинної обмотки ВДТ з метою запобігання появі на ній небезпечних перенапруг у паузі напруги. Шляхом підключення додаткових пар тиристорів можна забезпечити реверсне (узгоджене або зустрічне) вмикання обмоток ВДТ і здійснювати регулювання вгору-вниз від напруги мережі.

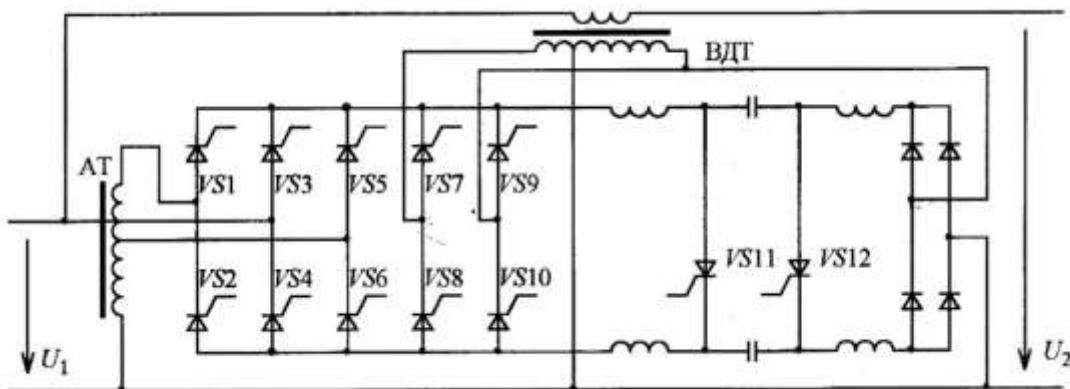


Рисунок 2 – Схема регулятора напруги з вольтододатним трансформатором

Найбільш переважними структурами перетворювачів є ті, що дозволяють змінювати рівень вихідної напруги у широкому діапазоні вгору і вниз від номінального значення з високою точністю і малими спотвореннями. Такі системи, як правило, вимагають використання трансформаторів, що дає можливість сполучати в одному пристрої і широке і вузькодіапазонне регулювання [5]. Трансформатори працюють як на основній, так і на підвищених частотах. При використанні трансформаторів на підвищеній частоті знижується маса і габарити пристрою, але збільшується кількість напівпровідникових елементів для подвійного перетворення енергії; відповідно збільшуються втрати енергії і вартість перетворювача.

На рис. 3 показано схему однофазного перетворювача, в якому вказаний недолік мінімізовано шляхом об'єднання в одному блоці функцій модулятора (інвертора) і демодулятора [6].

Перетворювач зі схемою на рис.3 складається з чотирьох мостових діодно-тиристорних ключів $VS1 - VS4$ змінного струму з комутуючими дроселями та конденсаторами і автотрансформатора, що працює на підвищеній частоті. Навантаження $Z1, Z2$ підключені між середньою точкою обмотки автотрансформатора і різними затискачами джерела живлення для ілюстрації можливостей перетворювача. На рис. 4 показано діаграми напруг на крайніх затискачах автотрансформатора u_1 і на навантаженнях u_{21} та u_{22} при живленні перетворювача змінною напругою ($U_1 = 100\text{В}$). Як видно з діаграм, вихідну напругу можна регулювати і частотно-імпульсним, і широтно-імпульсним способами у двох взаємно доповнюючих зонах у діапазоні напруг $U_{21} = (0.5 - 1)U_1$ і $U_{22} = (0 - 0.5)U_1$.

В обох випадках отримуємо вузькодіапазонне регулювання, при цьому показники якості вихідної напруги вдвічі вище, ніж за глибокого регулювання у діапазоні $(0 - 1)U_1$

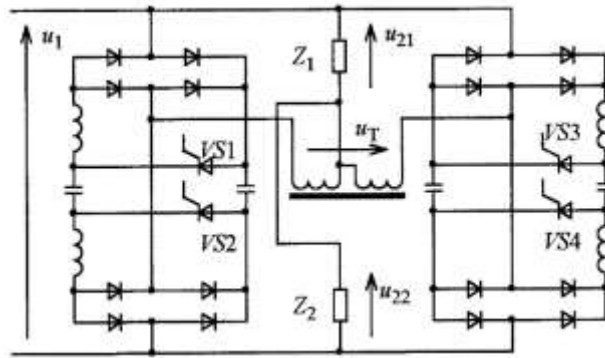


Рисунок 3 – Мостовий перетворювач зі суміщенням функцій модулятора і демодулятора в одному блоці

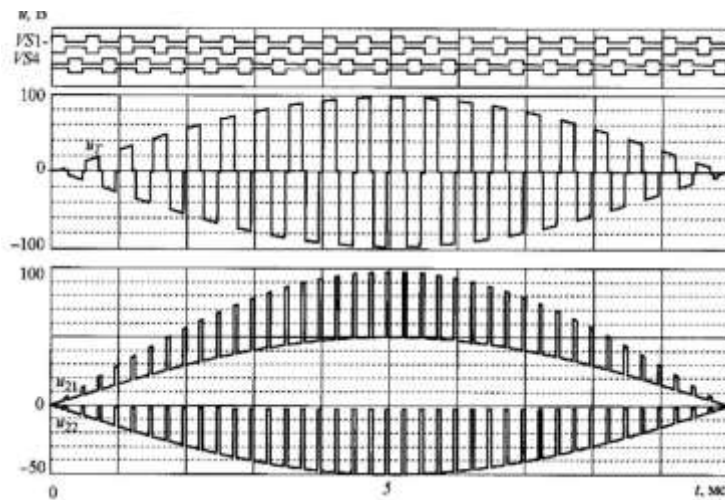


Рисунок 4 – Діаграми напруг перетворювача на рис. 3

Функціональні можливості перетворювача на рис. 3 можна суттєво розширити, якщо в ньому автотрансформатор замінити на трансформатор з двома обмотками, а в два мостових ключі додати дві пари діодів (рис.5).

Перетворювач на рис. 5 дозволяє змінювати коефіцієнт трансформації як у сторону зменшення, так і збільшення в залежності від вимог споживача.

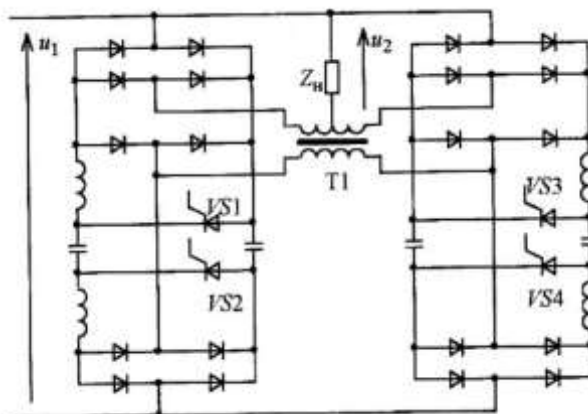


Рисунок 5 – Мостовий перетворювач з додатковими діодами

У схемах перетворювачів на рис. 6 і рис. 7 за допомогою додаткових пар тиристорів розширена можливість реверсування вольтодобавки (рис.6) і зміни зони регулювання (рис. 7). Наприклад, якщо в регуляторі на рис. 6 за постійно увімкнених тиристорів VS5, VS6 і VS11, VS12 напруги вторинних напівобмоток вольтодобавки віднімаються з напруги мережі, то за постійно ввімкнених протилежних

парах тиристорів ці напруги будуть додаватися. У режимах широкодіапазонного регулювання додаткові тиристори дозволяють реверсувати вихідну напругу відносно напруги мережі.

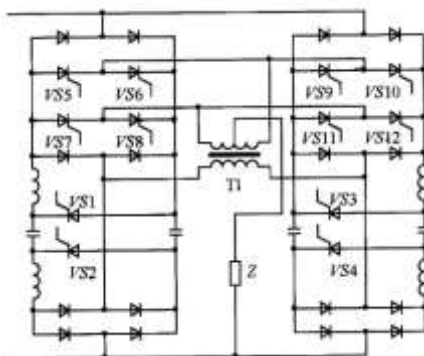


Рисунок 6 – Однофазний перетворювач з реверсуванням вольтодобавки

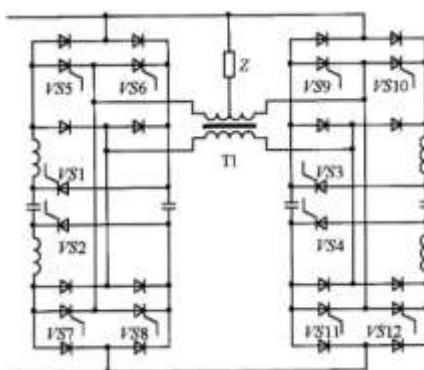


Рисунок 7 – Однофазний перетворювач зі зміною зони регулювання

На рис. 8 показано трифазний варіант вузькодіапазонного регулятора, в якому робочий інтервал забезпечується замиканням у зірку первинної обмотки трансформатора за допомогою одного з тиристорних трифазних мостів. У паузу замикається накоротко вихідний діодний міст. Вузол комутації працює як описано вище.

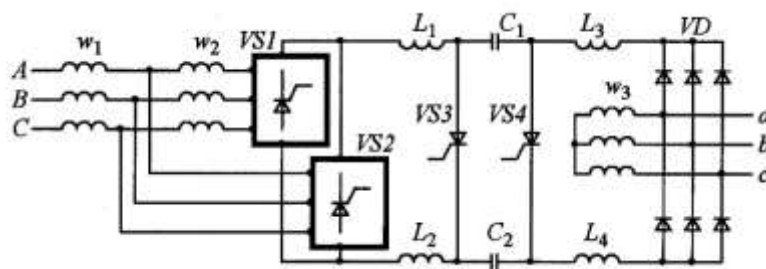


Рисунок 8 – Трифазний вузькодіапазонний регулятор напруги

Можливість організації паузи у вихідній напрузі дає таким перетворювачам великі переваги порівняно з вольтодобавними регуляторами, оскільки в них спрацьовує швидкодіючий електронний захист не тільки від перевантажень, але й від коротких замикань на виході регулятора [7]. Це суттєво підвищує надійність не тільки самого регулятора, але й електрозабезпечення споживача в цілому.

У випадках великого коефіцієнту трансформації доцільно усі мости розміщувати на первинній стороні трансформатора (рис. 9), оскільки це дозволяє знизити встановлену потужність регулятора і повністю усунути кондуктивні зв'язки між обмотками.

Якщо для перемикання обмотки трансформатора використовувати двопозиційний перемикач, то тиристорний міст може бути замінений на діодний. У такому випадку спрощується силова схема і схема системи управління, але втрачається функція електронного захисту перетворювача від перевантажень.

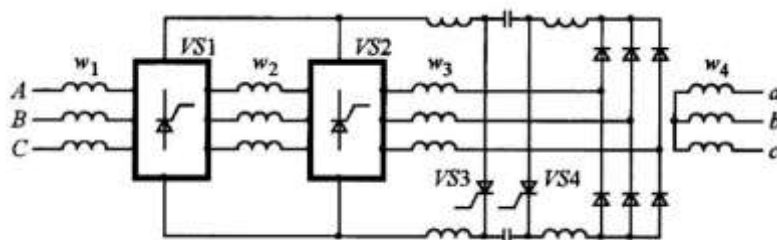


Рисунок 9 – Вузькодіапазонний регулятор з мостами на первинній стороні трансформатора

Спільний вузол комутації може бути використаний у перетворювачах різного функціонального призначення [8,9]. На рис. 10 приведено схему перетворювача частоти і симетруючого пристрою (пристрою для підключення однофазних навантажень до трифазної мереж. Тоді кожна пара тиристорів вхідного мосту підключається до відповідної фази мережі.

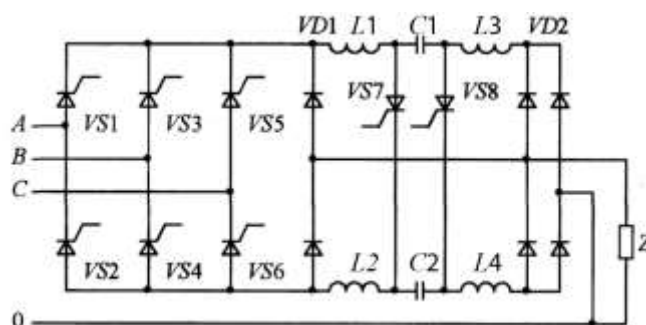


Рисунок 10 – Схема симетрувального пристрою

Інший приклад можливого використання перетворювача зі спільним вузлом комутації – це агрегати безперебійного живлення. На рис. 11 показано схему агрегата, побудованого на основі трьох трифазно-однофазних ключів змінного струму та спільних вузлах комутації, які дозволяють переключати резервні мережі, регулювати змінну напругу і працювати в режимі автономного інвертора при живленні від джерела постійної напруги. За відповідного підключення фаз однієї мережі цей перетворювач може працювати як безпосередній перетворювач частоти з регулюванням змінної напруги або як джерело реактивної потужності.

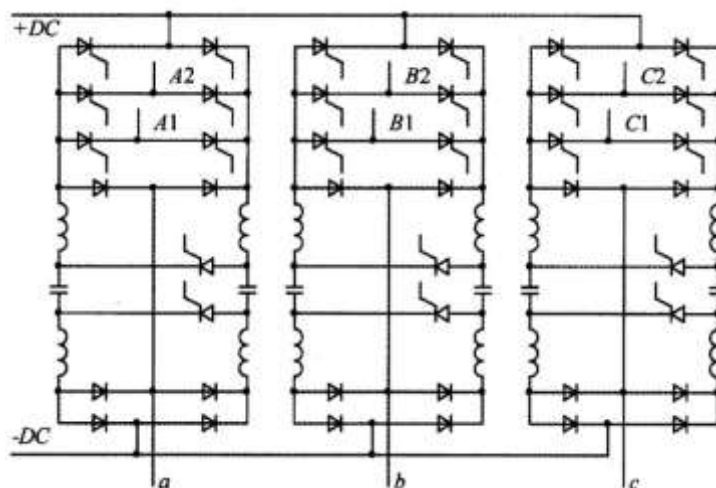


Рисунок 11 – Схема багатфункціонального агрегата

У випадках, коли необхідно узгодження напруг мережі та навантаження для регулювання і резервування напруги живлення споживача зазвичай використовують трансформаторно-тиристорні перетворювачі. На рис. 12 показано схему перетворювача з резервованим живленням, в якому мережний трансформатор має дві первинні обмотки зі спільним вузлом комутації, розглянутим вище, і одну вторинну обмотку. Перемикання мереж здійснюється у проміжну паузу, достатню для перезаряду комутуючих

конденсаторів при відкритому тиристорі $VS4$ і замкненому накоротко діодному мості. Наявність трансформатора дозволяє регулювати напругу вгору і вниз від напруги мережі або від номіналу, якщо цього вимагає технологічний процес.

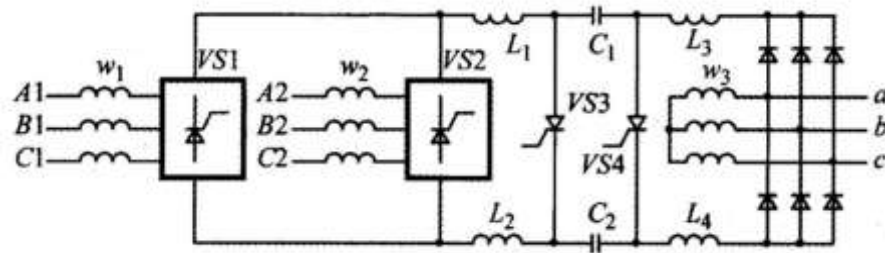


Рисунок 12 – Схема трифазного перетворювача з резервним живленням

Регулювання або стабілізація вихідної напруги виконується, як в усіх імпульсних регуляторах, шляхом зміни ширини паузи у вихідній напрузі.

Використання спільного вузла комутації для великої кількості тиристорних пар або тиристорних мостів не завжди вигідно (особливо за невеликих потужностей) через ускладнену систему управління тиристорами і підвищену вартість перетворювача. Цей недолік усуваються заміною тиристорних мостів діодними, при цьому підвищується надійність і знижується вартість пристрою. На рис. 13 показано схему такого перетворювача для швидкодіючого перемикання резервних мереж, побудованого на основі трьох трифазних діодно-тиристорних ключів $VS1$, $VS2$, $VS3$, з'єднаних між собою комутуючими конденсаторами. Якщо з цієї схеми вилучити вентиляльний ключ $VS3$, то отримаємо двопозиційний перемикач. Тоді перетворювач спрощується, але втрачає спроможність регулювати вихідну напругу в широких межах і лишається функції захисту від перевантажень та коротких замикань.

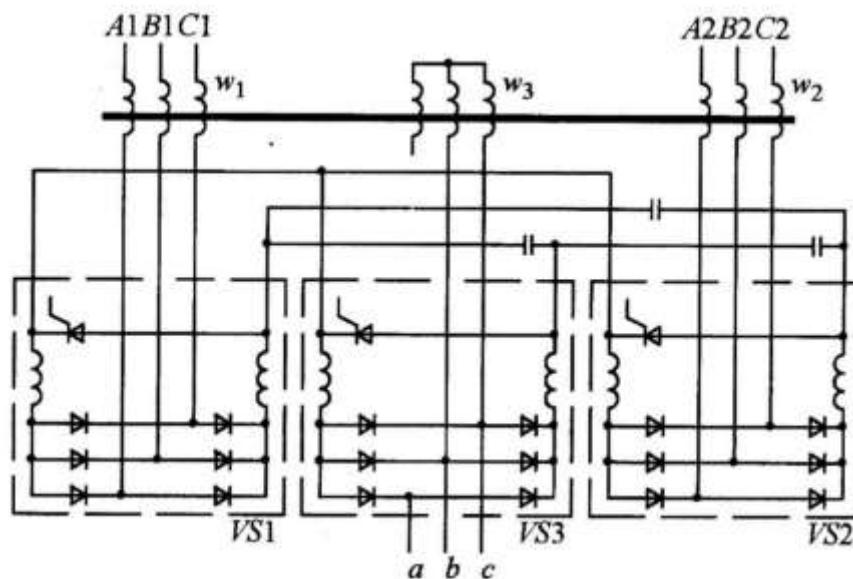


Рисунок 13 – Швидкодіючий перемикач резервних мереж

Перетворювачі матричного типу зі спільним вузлом комутації. Перетворювачі вказаного типу побудовані на основі зустрічно-паралельних діодно-тиристорних ключів змінного струму. На рис. 14 подано схему тиристорного регулятора-комутатора трифазної напруги, в якій силові ключі утворюють дві окремі групи – основну $VS1$ і резервну $VS2$.

Аноди тиристорів обох груп з'єднані і підключені до навантаження; їх катоди підключені до вхідних дроселів і через розподільчі діоди до катодів комутуючих тиристорів $VS3$ і $VS4$. Спільна точка анодів $VS3$ і $VS4$ через комутуючу ланку $L_k - C_k$ з'єднана з анодною і через перезарядний тиристор $VS5$ з катодною групою мостового діодно-тиристорного ключа $VS6$. За наявності мережі А ввімкнені тиристори ключа $VS1$. У випадку аварії в ній включаються комутуючий тиристор $VS3$ і тиристор ключа $VS6$. Відбувається резонансний перезаряд конденсатора C_k , а протягом часу, коли зворотний струм перезаряду перевищує струм навантаження через силовий ключ $VS1$, його тиристори відновлюють свої запірні можливості. В цей же період струм навантаження пасивно переходить у короткозамкнене коло, утворене мостовим ключем $VS6$. У кінці інтервалу вмикаються тиристори резервного ключа $VS5$, через який перезаряджається

комутуючий конденсатор C_k . При регулюванні напруги цей процес повторюється декілька разів протягом періоду, але за участю однієї з мереж.

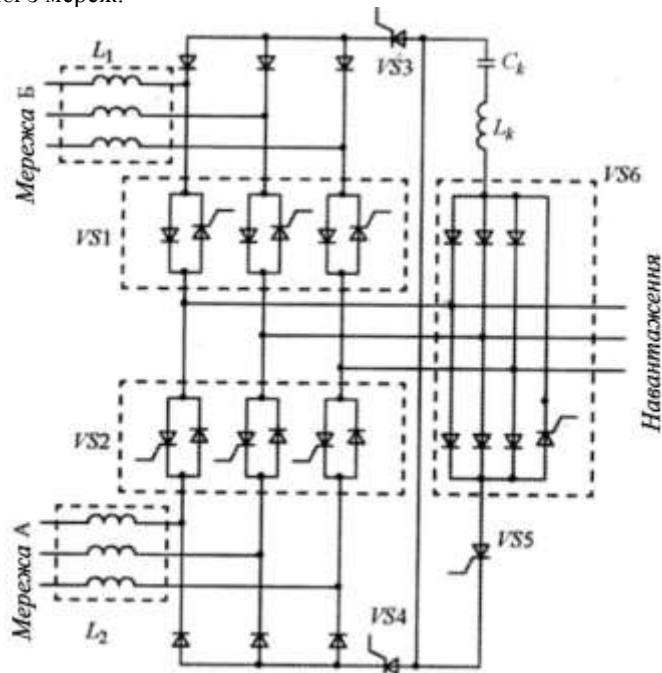


Рисунок 14 – Схема регулятора-комутатора трифазної напруги матричного типу

На рис. 15 подано ще одну схему агрегату безперебійного живлення. Вона є гібридом регулятора і автономного інвертора зі спільними елементами штучної комутації.

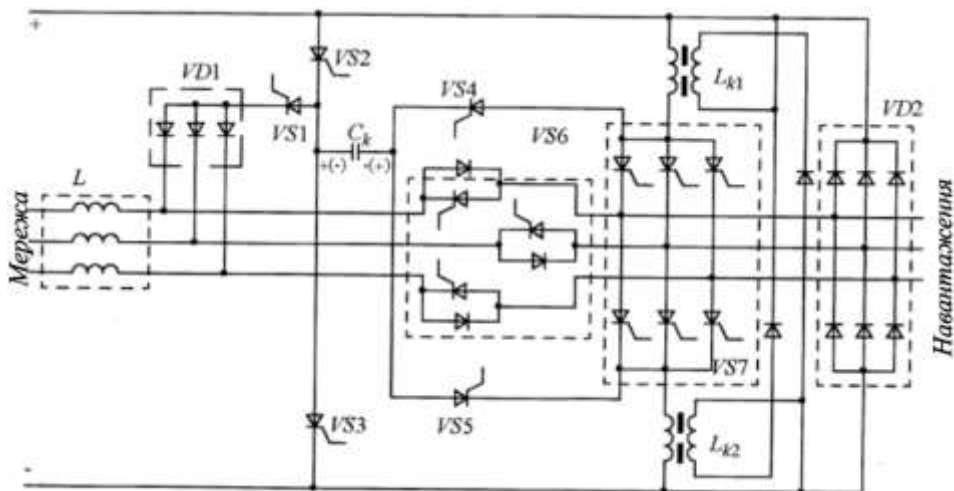


Рисунок 15 – Схема агрегату безперебійної дії матричного типу

Регулятор являє собою тиристорно-діодний ключ $VS6$, який з'єднує навантаження з мережею через вхідні дроселі L , розподільчі діоди $VD1$, і комутуючий тиристор $VS1$. Інвертор містить: тиристорний міст $VS7$; діодний $VD2$ зворотній міст; комутуючу ланку, яка складається з конденсатора C_k , тиристорів $VS2 - VS5$, дроселів L_{k1} і L_{k2} з обмотками і діодами для окиду надлишкової енергії у джерело постійного струму. Комутація тиристорів регулятора відбувається за ввімкнення тиристорів $VS1$ і $VS4$; комутація катодної групи тиристорів $VS7$ – за ввімкнення тиристорів $VS2, VS5$, анодної групи – за ввімкнення $VS3, VS4$.

Висновки

Окрім очевидного зменшення маси, габаритів і вартості, тиристорні перетворювачі зі спільним вузлом комутації мають низку інших суттєвих переваг:

- менш складну і, відповідно, більш надійну систему управління тиристорами;
- швидкодіюче (період мережі) регулювання напруги або перемикання резервної мережі

- можливість організації паузи у вихідній напрузі, що дозволяє здійснювати швидкий електронний захист від перенавантаження і тим самим, підвищує надійність роботи пристрою;
- після перезаряду комутуючих конденсаторів до усіх тиристорів прикладена зворотна напруга, тому вони швидко поновлюють запірну здатність. Спільний вузол комутації можна ефективно використовувати у багатофункціональних перетворювачах різного конструктивного виконання, включно перетворювачі на мостових ключах і матричного типу[9].

Найбільш доцільним є використання спільного вузла комутації для побудови швидкодіючих регуляторів-стабілізаторів і перемикачів змінної напруги в системах гарантованого(резервованого) і безперебійного електропостачання, в асинхронному (параметричному і частотному) електроприводі, в системах симетрування струмів і напруг в трифазних електричних мережах, в циклоконверторах і резонансних інверторах.

Список використаної літератури

1. Жарський Б.К., Новський В.О., Голубев В.В. Перетворення параметрів електромагнітної енергії вентиляльними комутаторами. – Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2013, – 323с.
2. Yurchenko O., Martynov V., Martynov D. Stability of the Equilibrium Position in Pulse Stabilizers with Pulse Width Modulation. – Kharkiv: IEEE 2nd KhPI week on advanced technology (KhPI week), 2021, – p. 272 – 277. DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570082
3. Голубев В.В. Двוזонні імпульсні перетворювачі змінної напруги з високочастотним автотрансформатором. – Київ: Інститут електродинаміки НАН України: Збірник наукових праць, 2017, - №2. – с. 94 – 100.
4. Курило І.А., Грудська В.П. Порівняльний аналіз схемних варіантів систем регулювання напруги з вольтодатними трансформаторами. – // Наукові вісті НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 2012, - №1. – с. 16 – 23.
5. Голубев В.В., Новський В.А. Оптиміальне імпульсне регулювання змінної напруги // Технічна електродинаміка, тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки», 2012, – том 6. – с. 45-47.
6. Грудська В.П., Чибеліс В.І., Лободзинський В.Ю. Дослідження автоматичного регулятора-стабілізатора вихідної напруги автономного інвертора // Енергетика: економіка, технології, екологія, 2020. - №4. – с. 84-88.
7. Grudska V.P., Golubev V.V., Denysenko O.S. Optimisation of voltage converters of matrix and inverter types using simulation modeling. // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. - №2. – с, 104-113. DOI: 10.20535/1813-5420.2.2022.261403.
8. Новський В.О., Курило І.В., Грудська В.П., Малахатка Д.О. Багатофункціональний трансформаторно-ключовий перетворювач для комплексного підвищення якості електроенергії у трифазній системі зі змінним і нелінійним навантаженням. // Наукові вісті НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2013. - №1. – с.37 – 43.
9. Moorthy R.S.K., Rathose A.K. Impulse commutated current-fed three-phase modular DC/DC converter for low voltage high current application, Milwaukee, Ws, USA: IEEE Energie conversion congress and exposition (ECCE), 2016. – p. 1 – 8. DOI: 10.1109/ECCE.2016.7855196

V. Golubev¹, Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-6447-8199

V. Grudska², Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof.

V. Vasyanovych², student, ORCID 0009-0009-0558-7182

¹Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

²National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF PULSE AC VOLTAGE REGULATORS WITH A COMMON SWITCHING NODE OF VALVE KEYS

The article discusses the functional capabilities of pulse voltage converters with a common switching node for multiple circuits that need to be switched. These converters are divided into two groups: those with bridge switches and those with matrix switches. The operation of the common switching node of thyristors in the input bridge of a single-phase voltage regulator is shown as an example.

The analysis of power circuits of both types of single-phase converters showed that using a common switching node provides additional useful properties, such as increasing the speed of voltage regulation with the number of levels greater than the number of thyristor pairs. The presence of a voltage-doubling transformer in the converter structure makes it possible to prevent overvoltage.

It is particularly useful to use a common switching node in single-phase wide-band voltage regulators whose power structure is typically based on transformers that operate at both the main and higher frequencies. Due to the double energy conversion, these devices have an increased number of switched valves, so the common switching node significantly improves their performance and allows for regulating the output voltage using both frequency-pulse and pulse-width methods in the range of 0-1 U_{IN} with high quality indicators, reversing the output voltage relative to the network voltage, and combining the functions of a modulator (inverter) and a demodulator in one block.

Research on three-phase bridge and matrix converters with a common commutation node has shown that using this power device structure is an effective approach for voltage symmetry when connecting single-phase loads to a three-phase network; for fast switching of backup networks in uninterruptible power supplies; and for direct frequency conversion with the ability to control voltage and reactive power.

Keywords: *pulse converter, thyristor-diode switch, bridge switch, artificial commutation, commutation node, switching thyristor, distribution diodes, backup power supply.*

References

1. Zharskyi B.K., Novskyi V.O., Holubiev V.V. Transformation of electromagnetic energy parameters using valve switches. - Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2013, - 323 p.
2. Yurchenko O., Martynov V., Martynov D. Stability of the Equilibrium Position in Pulse Stabilizers with Pulse Width Modulation. - Kharkiv: IEEE 2nd KhPI week on advanced technology (KhPI week), 2021, - p. 272 - 277. DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570082
3. Holubiev V.V. Dual-zone pulse converters of variable voltage with a high-frequency autotransformer. - Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine: Collection of scientific works, 2017, - No. 2. - pp. 94-100.
4. Kurilo I.A., Grudska V.P. Comparative analysis of circuit options for voltage regulation systems with voltage-durable transformers. - // Scientific news of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". 2012, - No. 1. - pp. 16-23.
5. Holubiev V.V., Novskyi V.A. Optimal impulse regulation of variable voltage // TechnicalElectrodynamics, thematic issue "Problems of modern electrical engineering", 2012, - vol. 6. - pp. 45-47.
6. Grudska V.P., Chybelys V.I., Lobodzinskiy V.Yu. Research of an automatic regulator-stabilizer of the output voltage of an autonomous inverter // Energy: economics, technologies, ecology, 2020. - No. 4. - pp. 84-88.
7. Grudska V.P., Golubev V.V., Denysenko O.S. Optimization of voltage converters of matrix and inverter types using simulation modeling. // Energy: economics, technologies, ecology. 2022. - No. 2. - pp. 104-113. DOI: 10.20535/1813-5420.2.2022.261403.
8. Novskyi V.O., Kurilo I.V., Grudska V.P., Malakhodka D.O. Multifunctional transformer-switching converter for comprehensive improvement of the quality of electric energy in a three-phase system with variable and nonlinear load. // Scientific news of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2013. - No. 1. - pp. 37-43.
9. Moorthy R.S.K., Rathose A.K. Impulse commutated current-fed three-phase modular DC/DC converter for low voltage high current application, Milwaukee, Ws, USA: IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2016. - pp. 1-8. DOI: 10.1109/ECCE.2016.7855196

Надійшла: 29.11.2023

Received: 29.11.2023