

# АНАЛІЗ РОБОТИ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ МОСТОВИХ ТИРИСТОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗМІННОЇ НАПРУГИ ЗІ СПІЛЬНИМ ВУЗЛОМ КОМУТАЦІЇ

**Голубев В.В.,** ст. наук. співробітник

*Інститут електродинаміки НАН України*

**Грудська В.П.,** доц., **Чибеліс В.І.,** доц.

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки*

**Половинкін К.О., Царенко В.О.,** студенти

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра атомних електричних станцій та інженерної теплофізики*

**Вступ.** Сучасні одно- і трифазні тиристорні перетворювачі (ТП) змінної напруги будують на основі тиристорів з природною або штучною комутацією [Л1]. Перші можуть працювати тільки у режимі фазового низькочастотного керування і мають зону нечутливості, яка дорівнює куту зсуву за фазою між напругою і струмом мережі. За роботи такого перетворювача на поширене активно-індуктивне навантаження струм мережі завжди відстає за фазою від напруги, що призводить до низького коефіцієнту потужності перетворювача. У багатьох випадках забезпечити споживачеві необхідну форму вихідної напруги ТП і пов'язані з нею характеристики можливо тільки шляхом штучної комутації тиристорів. ТП зі штучною комутацією містять додаткові електричні вузли і мають складну систему керування, що приводить до зниження надійності їх роботи та збільшення габаритів і вартості. Крім того, у випадках великої кількості комутуваних кіл такі перетворювачі потребують спеціальних заходів для збросу енергії, яка накопичується у вузлах комутації. Зменшити вказані недоліки можливо шляхом побудови спільного вузла штучної комутації для декількох кіл, що підлягають перемикаю.

**Мета роботи:** дослідити особливості роботи і функціональні можливості мостових тиристорних перетворювачів змінної напруги зі спільним вузлом штучної комутації тиристорів.

**Результати досліджень.** Для досліджень використано регулятор змінної напруги (рис. 1), який створено в Інституті електродинаміки НАН України [Л2]. Він має таку структуру: мережний автотрансформатор (АТ), вхідний тиристорно-діодний міст (VS1 – VS6, VD1, VD2), силовий VS7 і комутуючий VS8 тиристори, комутуючі конденсатори (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>), комутуючі дроселі (L<sub>1</sub> – L<sub>4</sub>), вихідний діодний міст (VD3 – VD6). Регулювання напруги здійснюється шляхом перемикаю навантаження з одного виходу АТ на інший, причому кількість виходів нічим не обмежена. Перетворювач працює таким чином. У робочому інтервалі ввімкнені одна з трьох пар тиристорів вхідного моста, наприклад VS1, VS2, і силовий тиристор VS7, через який проходить струм навантаження. У вихідній напрузі u<sub>2</sub> регулятора формується імпульс у вигляді відрізка синусоїди вхідної напруги u<sub>1</sub>. Одночасно комутуючі конденсатори перезаряджаються через діоди вихідного моста, комутуючі дроселі L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, ввімкнений тиристор VS7, і напруга на конденсаторах набуває полярності,

вказаної на рис. 1 без дужок. Внаслідок перезаряду конденсаторів вузол комутації готовий до вимкання силового тиристора VS7, який проводить 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 закорочує 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 моста. Комутуючий тиристор VS8 вимикається, конденсатори перезаряджаються через силовий тиристор VS7 і діоди вихідного моста. Процес повторюється. Від того, яка пара тиристорів вхідного моста вмикається і на який час, залежить форма і значення основної гармоніки вихідної напруги, а також спосіб регулювання – вузько- або широкодіапазонний.

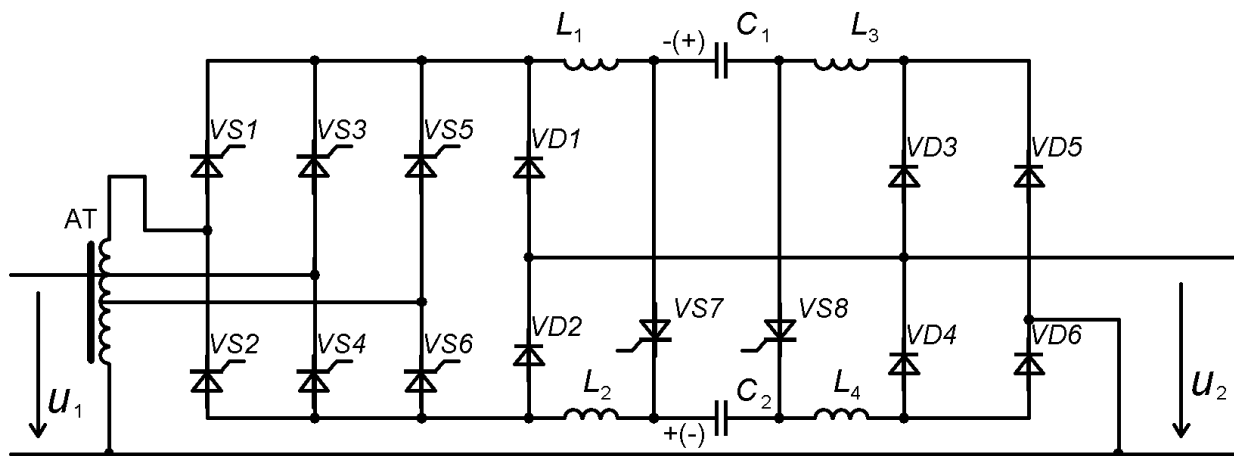


Рисунок 1 – Схема регулятора змінної напруги зі спільним вузлом комутації

Розглянутий спільний вузол комутації кіл, що підлягають перемикаю, може використовуватися у напівпровідникових перетворювачах різного функціонального призначення. Насамперед слід відмітити мостові тиристорні регулятори змінної напруги, яким притаманні вельми різноманітні конструктивні особливості [Л2]. Наприклад, при побудові вузькодіапазонного регулятора-стабілізатора з метою покращення якості вхідного струму і вихідної напруги використовують вольтододатний трансформатор (ВДТ). Якщо первинна обмотка такого трансформатора має декілька виходів, то кількість рівнів вихідної напруги перевищує число пар силових тиристорів у вхідному мості; відповідно зростає точність регулювання, особливо за наявності двох трансформаторів (рис. 2). Вузол комутації працює аналогічно описаному вище; у паузу замикається накоротко первинна обмотка ВДТ. Шляхом підключення додаткових пар тиристорів можливо забезпечити реверсне (узгоджене або зустрічне) вмикання обмоток ВДТ і здійснювати регулювання вгору-вниз від напруги мережі.

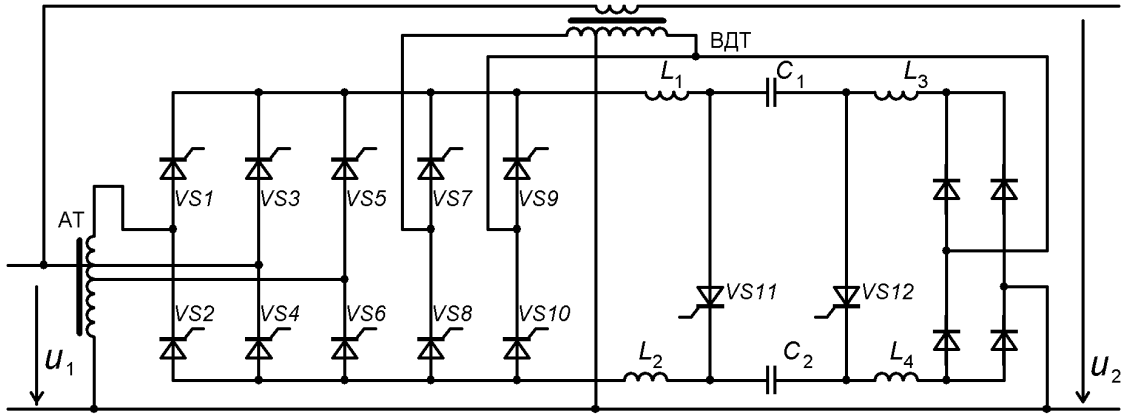


Рисунок 2 – Схема регулятора напруги з вольтододатним трансформатором

Трифазний варіант вузькодіапазонного регулятора показано на рис. 3. У робочому інтервалі первинна обмотка трансформатора з'єднана зіркою одним з тиристорних трифазних мостів і працює силовий тиристор VS3. У паузу комутуючий тиристор VS4 замикає накоротко вихідний діодний міст.

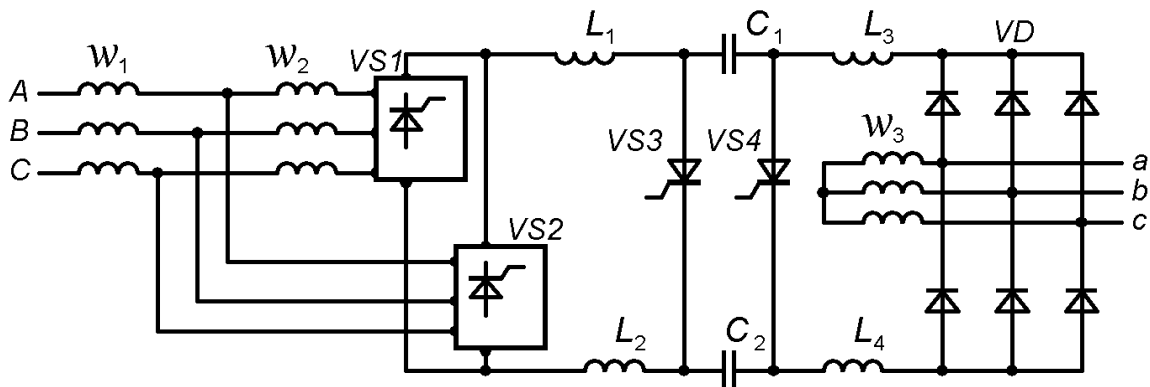


Рисунок 3 – Трифазний вузькодіапазонний регулятор напруги

Якщо перемикання первинної обмотки здійснювати двоьпозиційним перемикачем, то тиристорний міст можна замінити на діодний. Тоді спрощується силова частина і система керування, однак втрачається функція швидкодіючого електронного захисту перетворювача від перенавантажень.

Досліджуваний перетворювач може бути використаний також як перетворювач частоти або симетруючий пристрій для підключення однофазного навантаження до трифазної мережі [Л3]. Тоді кожна пара тиристорів вхідного моста підключається до відповідної фази мережі (рис 4).

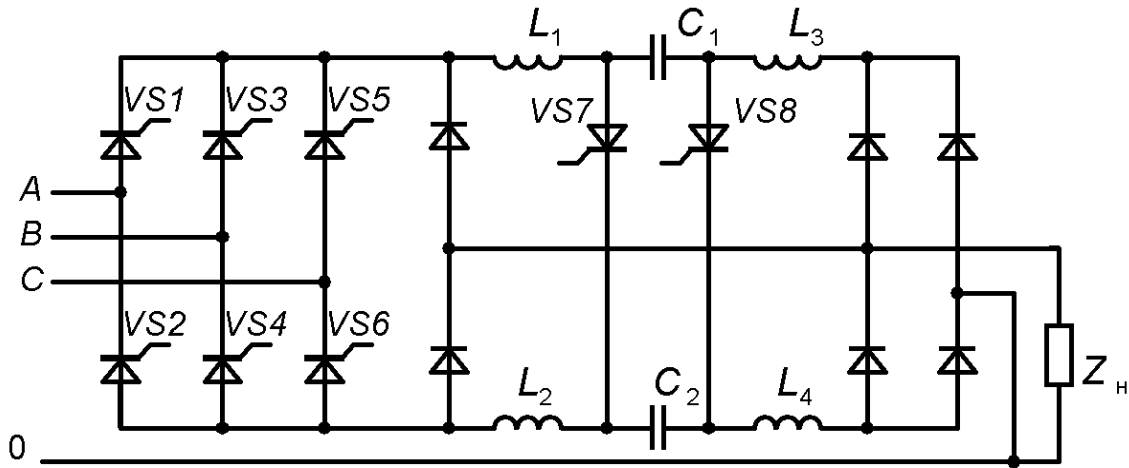


Рисунок 4 – Схема симетрувального пристрою

Інший приклад можливого використання даного перетворювача – це агрегати безперебійного живлення. На рис. 5 показано схему агрегату, який складається з трьох описаних перетворювачів, що суттєво розширює функціональні можливості пристрою [Л4] і забезпечує: 1) перемикання резервних мереж; 2) при живленні від джерела постійної напруги роботу в режимі автономного інвертора з регулюванням змінної напруги; 3) при відповідному підключенні фаз однієї мережі роботу в режимі безпосереднього перетворювача частоти з регулюванням змінної напруги або в якості джерела реактивної потужності.

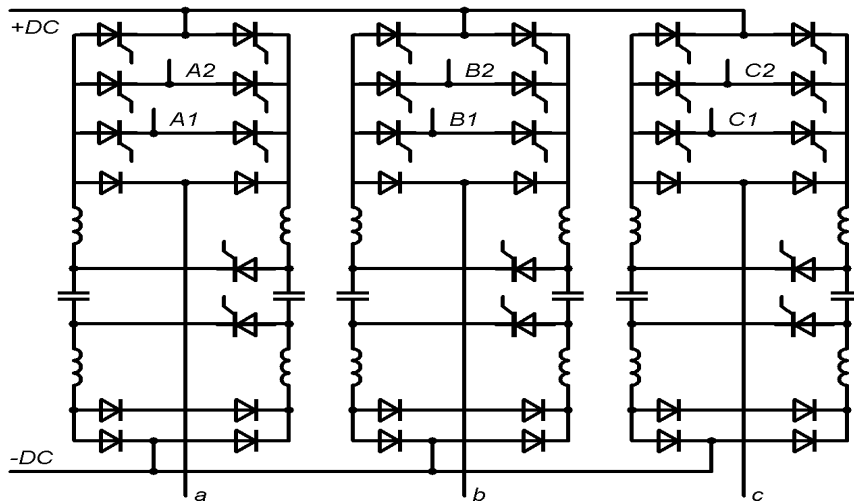


Рисунок 5 – Схема багатфункціонального агрегату

У випадках, коли необхідне узгодження напруг мережі та навантаження, для резервування і регулювання напруги живлення споживача зазвичай використовують трансформаторно-тиристорні перетворювачі. На рис. 6 показано схему перетворювача з резервованим живленням, у якому мережний трансформатор має дві первинні обмотки зі спільним вузлом комутації, розглянутим вище, і одну вторинну обмотку. Перемикання мережі

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.

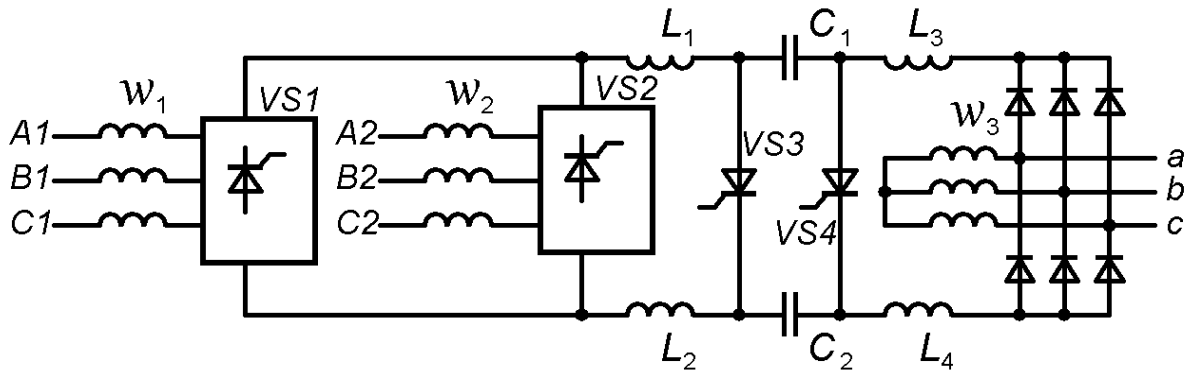


Рисунок 6 – Схема трифазного перетворювача з резервним живленням

На даний час набувають поширення перетворювачі матричного типу зі спільним вузлом комутації [Л1 2,4]. На рис. 7 показано схему тиристорного регулятора-комутатора трифазної напруги, до складу якого входять: дроселі  $L_1$ ,  $L_2$ ; основні (VS1) і резервні (VS2) силові ключі; розподільні діоди; комутуючі елементи (тиристори VS3, VS4, конденсатор  $C_K$ , дросель  $L_K$ ); перезарядний тиристор VS5; вихідний діодно-тиристорний міст VS6.

Припустимо, що перетворювач живиться від мережі A, тоді працюють тиристори ключа VS1 і перезарядний тиристор VS5. Полярність напруги на конденсаторі  $C_K$  показано на рис. 7 без дужок. За необхідності перемикання пристрою на мережу B відкривають комутуючий тиристор VS3 і тиристор ключа VS6. До тиристорів ключа VS1 прикладена зворотна для них напруга конденсатора, і вони швидко відновлюють запірні властивості. Відбувається перезаряд конденсатора через діоди і тиристор VS6 (полярність напруги вказана у дужках). У цей же час струм навантаження плавно переходить у короткозамкнуте коло, утворене мостовим ключем VS6. У кінці інтервалу комутації і на початку наступного робочого інтервалу вмикають тиристори резервного ключа VS2 і перезарядний тиристор VS5. При регулюванні напруги цей процес повторюється декілька разів за період.

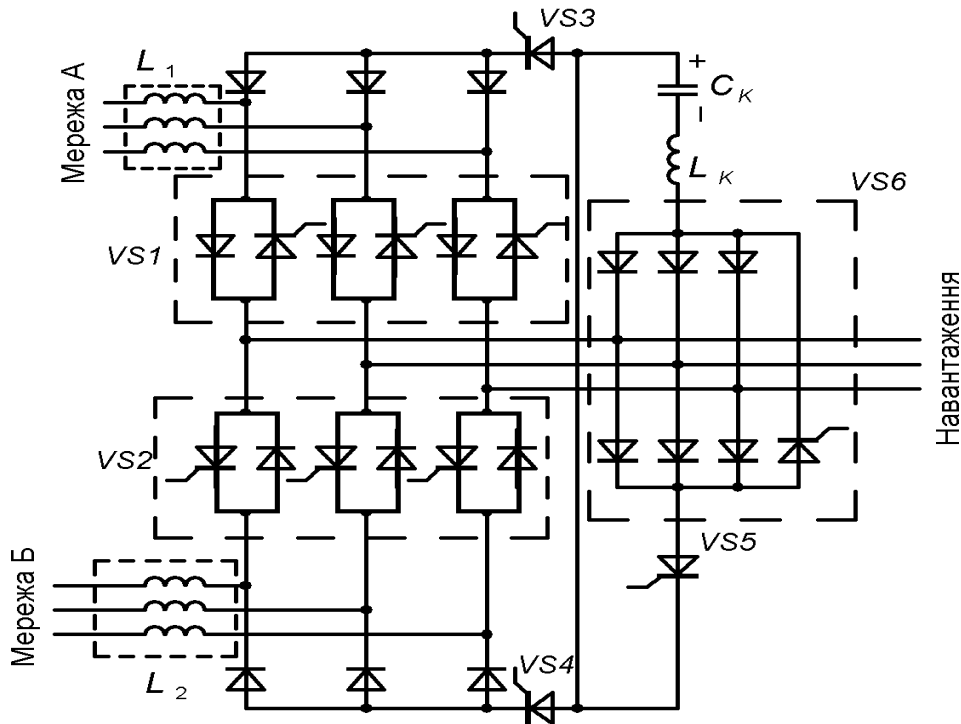


Рисунок 7 – Схема перетворювача матричного типу

**Висновки.** Окрім очевидного зменшення маси, габаритів і вартості, тиристорні перетворювачі зі спільним вузлом комутації мають низку інших суттєвих переваг: 1) Менш складну і, відповідно, більш надійну систему керування тиристорів; 2) Швидкодіюче (період мережі) регулювання напруги або перемикання резервної мережі; 3) Можливість організації паузи у вихідній напрузі, що дає змогу здійснювати швидкий електронний захист від перенавантаження і, тим самим, підвищує надійність роботи пристрою; 4) Після перезаряду комутуючих конденсаторів до усіх тиристорів вхідного мосту прикладена зворотна напруга, тому вони швидко поновлюють запірну здатність. Спільний вузол комутації можна ефективно використовувати у багатофункціональних перетворювачах різного конструктивного виконання, включно перетворювачі матричного типу.

#### Перелік посилань

1. Липковский К.А. Трансформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения. – Киев: Наук. думка, 1993. – 216с.
2. Голубев В.В. Импульсное преобразование переменного напряжения. – Киев: Наук. думка, 2014. – 247с.
3. Новский В.А., Голубев В.В. Быстродействующее уравнивание трехфазной системы с помощью тиристорных преобразователей // Техн. Электродинамика. Темат. выпуск «Силовая электроника та енергоефективність». – 2007. – с. 7 – 12.
4. Шидловський А.К., Новский В.А. Стабилизация параметров электрической энергии в распределительных сетях. – Киев: Наук. думка, 2009. – 313с.