

БАГАТОСТУПІНЧАТА КОМУТАЦІЯ В МАТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЗМІННОЇ НАПРУГИ

Голубєв В.В., ст. наук. співробітник

Інституту електродинаміки НАН України

Грудська В.П., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Васянович В.М., Максимюк Ю.В., студенти

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

Вступ. У сучасних методах побудови перетворювачів змінної напруги різного функціонального призначення можна виділити два основні напрями [1]: перетворювачі з безпосереднім зв'язком мережі та навантаження (матричні) і перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму. До матричних перетворювачів відносять імпульсні регулятори змінної напруги (рис. 1), безпосередні перетворювачі частоти (рис. 2), джерела реактивної потужності (рис. 3, рис. 4), перетворювачі підвищувального типу (рис. 5, рис. 6), та інші, яким притаманні такі конструктивні особливості: поділ затискачів на вхідні та вихідні є умовним; вони мають відкритий вхід (вихід), підключений до кола з властивостями джерела напруги, і закритий вихід (вхід), підключений до кола з властивостями джерела струму. Перевагою матричних перетворювачів є вільна циркуляція реактивної енергії між мережею і навантаженням, але в них виникають проблеми з комутацією ключів змінного струму, особливо на високій частоті.

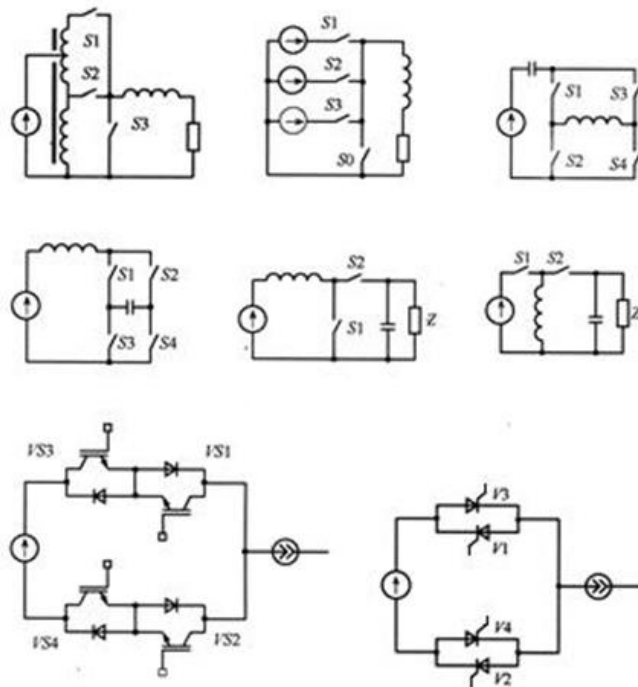


Рисунок 1 – Приклади матричних перетворювачів

Комутація вирішує задачу переведення реактивного струму з вузла з одним потенціалом у вузол з іншим потенціалом. У комутації завжди беруть участь два ключі змінного струму. ввімкнені послідовно між вказаними вузлами з різними потенціалами, тому замикання цих вузлів відкритими вентилями ключів призводить до короткого замикання. Спільна точка комутуючих ключів під'єднана до кола з властивостями джерела струму (наприклад, активно-індуктивне навантаження), тому одночасний закритий стан вентилів цих ключів спричиняє розрив у такому колі і появу перенапруг. У [2] доведено, що для безпечної комутації на кожній ступені регулювання в імпульсній послідовності не повинно бути перекриття одиничних імпульсів управління. За використання мостових ключів на низьких частотах комутації вказану умову вимушено порушують і виконують комутацію з перекриттям імпульсів управління ключами в транзисторних перетворювачах і з паузою – в тиристорних зі штучною комутацією. В обох випадках відбувається процес накопичення енергії у вхідному дроселі, по якому проходить струм короткого замикання, і в конденсаторі, підключеному паралельно до джерела струму. Пропорційно частоті та часу комутації (часу вмикання і вимикання вентилів ключа) зростають втрати. Таким чином, у матричних перетворювачах одноступінчата комутація неможлива без додаткових втрат комутаційних струмів, короткого замикання і перенапруг.

Мета роботи: дослідити особливості багатоступінчатої комутації в транзисторних перетворювачах змінної напруги матричного типу; проаналізувати її ефективність для забезпечення надійної комутації без додаткових втрат.

Матеріал досліджень. Відомі способи комутації на основі інформації про струм ключа [3]. Такі підходи доцільно використовувати у випадках, коли за принципом роботи перетворювача формується гладка форма вимірювального струму і зона нечутливості датчика струму не створює складнощів. Часто вимірювальний струм є похідною від алгоритму роботи ключів і характеру навантаження. Це означає, що струм описується рівнянням високого порядку і має несприятливу для виміру форму кривої. Практично струм може набувати будь-яку форму та значення і переходити у зону нечутливості датчика струму і некерованості перетворювача, до того ж, управління формою і значенням струму навантаження не завжди можливе.

У більшості випадків доцільним виявляється дуальний попередньому спосіб багатоступінчатої комутації за інформацією про полярність напруги, прикладеної до пари ключів, що комутуються (наприклад S_1 і S_2 в схемах на рис. 1–8). Ця напруга може збігатися або з напругою одного джерела живлення, або з сумою напруги джерел, якщо їх декілька, або з напругою ємнісного навантаження (як у джерелі реактивної потужності на рис. 4).

У [4] доведено, що на вході імпульсного перетворювача за допомогою вхідного фільтру майже завжди можливо сформувати напругу, достатню для надійної роботи ключів якості. Для цього потрібний не тільки вибір оптимальних

параметрів вхідного фільтра, але й сприятливий для фільтрації вищих гармонік алгоритмів управління ключами перетворювача.

На рис. 2 показано діаграми імпульсів управління вентилями VS_1 - VS_2 (рис. 7; рис. 8) ключів S_1 , S_2 у схемі регулятора змінної напруги на рис. 1, а також вхідної u_1 і вихідної u_2 напруг регулятора.

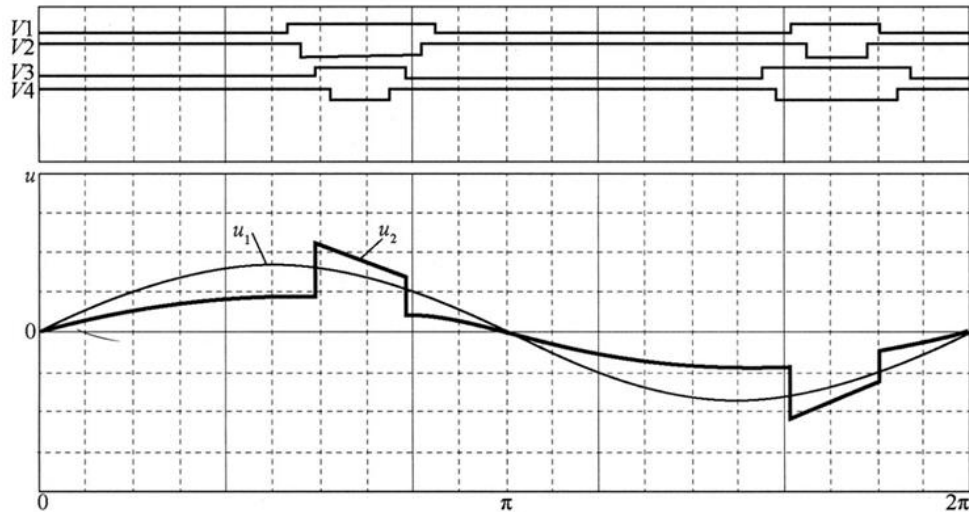


Рисунок 2 – Часові діаграми управління вентилями в регуляторі напруги на рис. 1

Ці діаграми пояснюють принцип багатоступінчатої комутації по напрузі (БКН). Комутація виконується у чотири етапи(ступені), на кожному з яких відбувається зміна стану одного з вентилів [5]. Порядок цієї зміни залежить від полярності напруги на комутуючих ключах і алгоритму управління ними. Припустимо, у вихідному стані ввімкнені вентиля VS_2 і VS_4 (ключ S_2), а комутована напруга додатна, пряма для вентилів VS_2 і VS_3 . На першому етапі незалежно від напрямку струму можна включити вентиль VS_1 , зустрічний комутованій напрузі. Після сплину часу, необхідного для повного вимкнення VS_1 , може бути вимкнений вентиль VS_2 . Якщо при цьому VS_2 проводить струм, то після його вимкнення струм без перенапруг плавно перейде у VS_1 , як у зворотний діод в автономному інверторі напруги. Так само, як інверторі, полярність напруги, прикладеної до навантаження, залежить від напрямку струму.

Ключі можуть знаходитися у такому стані до тих пір, поки зберігається вихідна полярність комутованої напруги, пропускаючи реактивний або рекупераційний струм навантаження будь-якого напрямку.

Аналогічно, тобто вимкнення одного вентиля після вмикання альтернативного йому вентиля, виконується два інших етапа комутації.

З діаграми на рис. 2 видно, що вмикання вентилів будь-якого комутованого ключа відбувається завжди на першому і третьому етапі комутації, а вимкнення на другому і четвертому незалежно від полярності напруги, яка визначає порядок переключення вентилів. Ця особливість дає можливість використовувати простий

блок режиму роботи (БРР) ключів перетворювача. Принцип побудови БРР не залежить, а складність майже не залежить від кількості ключів, з'єднаних у спільній вузол.

На рис. 3 наведено схему перетворювача, що живиться від трьох незалежних джерел А, В, С змінного струму і має у вузлі навантаження три ключі S_A , S_B , S_C з довільним алгоритмом керування.

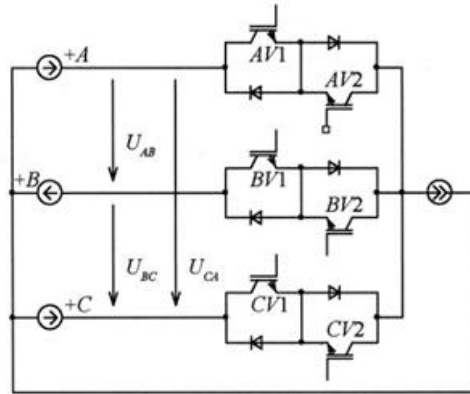


Рисунок 3 – Схема перетворювача з трьома незалежними джерелами змінної напруги

На рис. 4 показано схему цифрового БРР, який має три канали за кількістю ключів перетворювача на рис. 3. Кожний канал містить логічні елементи "І" та "АЛЕ", 2 мультиплексори (MUX), чотирикальний зсувний регістр (RG).

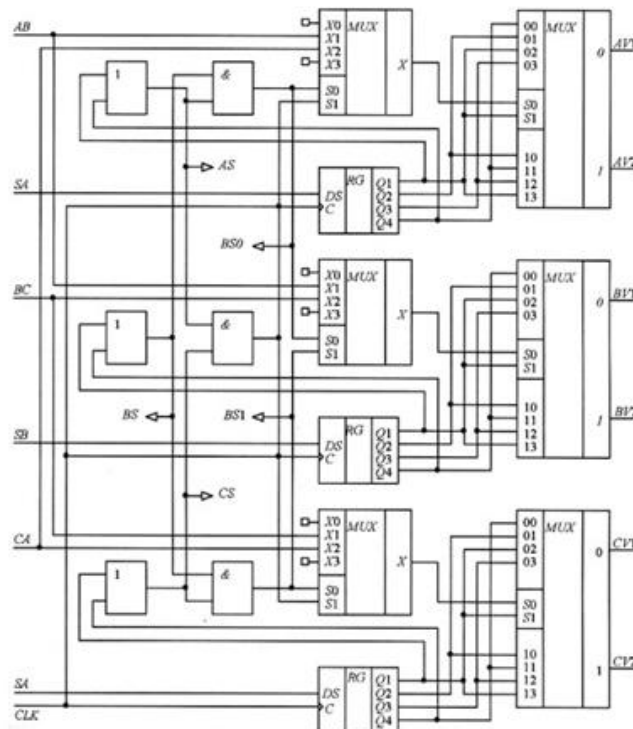


Рисунок 4 – Схема цифрового блоку режиму роботи перетворювача на рис. 3

На рис. 5 подано наступні часові діаграми: CLK – тактовий сигнал з періодом, що дорівнює одному ступеню комутації; SA, SB, SC – алгоритми роботи ключів, сформовані системою управління; BQ1-BQ2 – вихідні імпульси зсувненого регістру, фронти яких визначають момент комутації вентилів; AS, BS, CS – імпульси, що визначають інтервали часу від початку процесу включення до завершення процесу виключення відповідного ключа; BS0, BS1 – імпульси, керуючі першим мультиплексором, який, у свою чергу, вибирає сигнали AB, BS або CA для забезпечення відповідної полярності напруг на комутуваних парах ключів; AV1-CV2 – сигнали управління вентилями. Для прикладу вказані полярності джерел напруги і виділені жирною лінією діаграми сигналів каналу В.

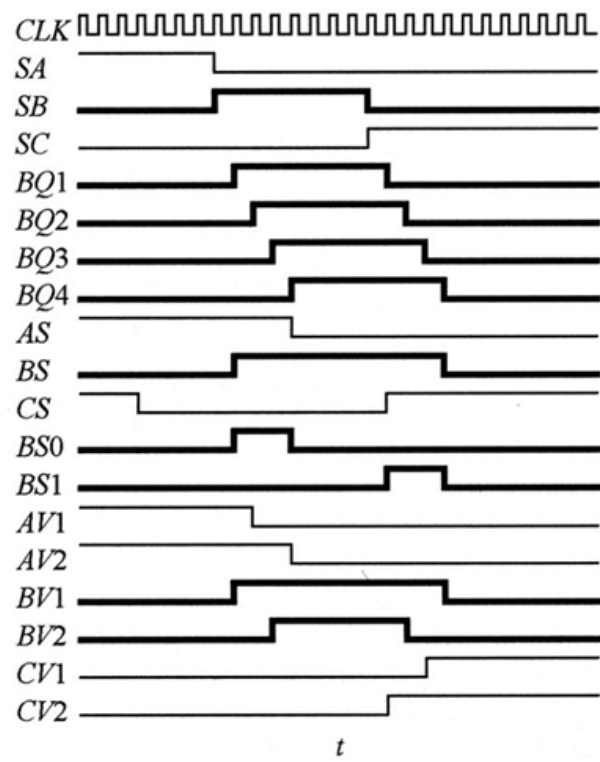


Рисунок 5 – Часові діаграми роботи БРР ключів перетворювача на рис. 3

Розглянута чотириступенева комутація є найбільш узагальненим варіантом БКН, використання якого доцільно у випадках, коли частота комутацій близька до частоти мережі, з якою змінюється полярність напруги на ключах. Якщо частота комутацій у багато разів перевищує частоту мережі, то в однофазних регуляторах може бути використана двоступінчата або інверторна комутація (рис. 6).

За додатної полярності напруги мереди зворотні на цьому напівперіоді вентиля VS1, VS4 постійно ввімкнені, а вентиля VS2, VS3 переключуються з частотою і шпоруватістю відповідно заданому алгоритму імпульсного регулювання. Під час паузи, коли обидва регулюючі вентиля VS2, VS3 вимкнені,

струм навантаження може проходити у будь-якому напрямку через постійно ввімкнені VS_1 , VS_2 . На другому напівперіоді вентиляльні пари міняються ролями. В околі переходу напруги через нуль, у зоні нечутливості датчика напруги, мають бути ввімкнені тільки два вентиля, що належать одному ключу.

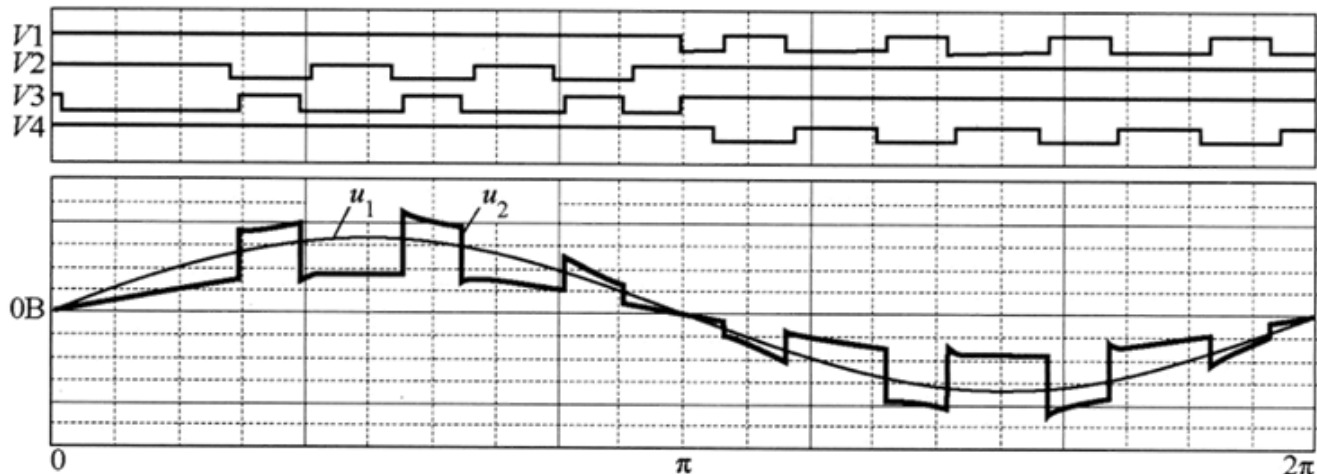


Рисунок 6 – Інверторна (двоступінчата) комутація ключів

Висновки. Багатоступінчата комутація забезпечує зміну стану ключів перетворювача без комутаційних струмів короткого замикання, перенапруг і додаткових втрат. Для запобігання короткого замикання джерела живлення необхідно виключити можливість комутації ключів у зоні нечутливості датчика напруги. Така комутація можлива тільки за використання ключів змінного струму з повним і незалежним управлінням провідністю в обох напрямках. Принципи побудови системи управління вентилями перетворювача залишаються незмінними, а складність самої системи незначно збільшується.

Перелік посилань

1. Липківський К.А. Трансформаторно-ключові виконавчі структури перетворювачів змінної напруги. – Київ: Наук. думка, 2003. – 216с. (трансформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения).
2. Schilling W. Die Berechnung der electrischen verhdltnisse in einphasigen selbeterregter Wechselrichtern // Archiv fur Elektrotechnik. – 1983. – XXVII. – P22 – 34.
3. Голубев В.В. Імпульсне перетворення змінної напруги. – К.: Наукова думка, 2019. – 245с.
4. Голубев В.В. Методика розрахунків фільтрів імпульсних перетворювачів змінної напруги//Техн. Електродинаміка. – 2016. - №2. - с.21-25.
5. Голубев В. В. Принципи комутації змінного струму та їх використання //техн. Електродинаміка. Темат. Вип. «Проблеми сучасної елетротехніки» - 2000. – 42. – С60. – 63