

ПЕРЕВАГИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФАЗНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З ПОЧЕРГОВИМ УПРАВЛІННЯМ

А. В. Пузирний, к. т. н. П. С. Сафонов

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Україна, м. Київ
p.s.safronov@gmail.com

Представлено аналіз переваг і проблем використання багатофазових перетворювачів з почерговим управлінням у потужних електронних системах. Основна увага приділяється принципу побудови, обмеженням та конструктивним міркуванням, пов'язаним з цими перетворювачами, а також останнім дослідженням у цій галузі. Наведено аналіз різних способів балансування струму в багатофазних перетворювачах з почерговим керуванням.

Ключові слова: багатофазні перетворювачі, дисбаланс струму, почергове керування, регулювання струму.

Останніми роками спостерігається підвищення попиту на потужні електронні системи. Це викликано широким впровадженням відновлюваних джерел енергії, електромобілів та апаратів для зварювання й інших пристроїв, де потрібно мати надійні та стабільні електричні параметри. Щоб задовольнити такі вимоги, силові електронні перетворювачі стали невіддільним компонентом різних потужних пристроїв. Багатофазні перетворювачі з чергуванням фаз — це клас силових електронних перетворювачів, які привертають все більшу увагу завдяки здатності забезпечувати вищу питому потужність, зменшувати втрати на комутацію та підвищувати надійність системи.

Однофазні регулятори напруги добре підходять для низьковольтних перетворювачів зі струмами приблизно до 25 А. Для більш високовольтних схем та схем з великими струмами необхідно застосовувати великі котушки індуктивності, це зменшує питому потужність і ефективність починає зменшуватися. Багатофазний перетворювач є хорошим рішенням для схем з високою потужністю, великими струмами та низьким рівнем пульсацій вихідної напруги та струму [2].

Метою цієї роботи є проведення аналізу способів зменшення дисбалансу струмів у фазах багатофазного перетворювача з почерговим управлінням.

Типова топологія багатофазного перетворювача, що показана на рис. 1, є доволі відомою та по суті являє собою декілька синхронних знижувальних перетворювачів, з'єднаних паралельно. Усі перетворювачі працюють на однаковій частоті, але вмикаються в різний час, що залежить від кількості перетворювачів, ввімкнених паралельно. Наприклад, якщо використовується двофазний перетворювач, комутаційні сигнали для транзисторів перетворювачів будуть зміщені за фазою на 180 ел. град. (0 ел. град., 180 ел. град.). При використанні трифазного перетворювача сигнали управління будуть зміщені за фазою на 120 ел. град. (0 ел. град., 120 ел. град., 240 ел. град.), аналогічно й для іншої кількості фаз [1].

Багатофазні перетворювачі працюють з почерговістю фаз. З діаграми імпульсів керування для випадку двофазного перетворювача, наведеної на рис. 2, видно, що фази чергуються. Чергування зменшує пульсації струмів на вході та на виході. По суті, двофазний перетворювач зменшує середньоквадратичне розсіювання потужності струму в польових транзисторах і котушках індуктивності вдвічі. Чергування зменшує також перехідні втрати [2].

Тож основними перевагами багатофазних почергових перетворювачів є зменшення навантаження на пристрої, зменшення розміру фільтра та зменшення пульсації напруги та струму на виході перетворювача. Однак схеми з використанням багатофазних перетворювачів з почерговим управлінням вимагають встановлення датчиків струму в контурах управління кожної фази для досягнення збалансованості фазних струмів, поліпшення фазних струмів та динамічної характеристики перетворювача. Дисбаланс струму залежить головним чином від прогальності, індуктивності та паразитних опорів у кожній фазі, які містяться в перетворювачі. Дисбаланс струму є однією з найважливіших

проблем для багатофазних перетворювачів у практичному застосуванні. Ефект струмового дисбалансу безпосередньо впливає на характеристики багатофазних перетворювачів, такі як питома потужність та ККД [3].

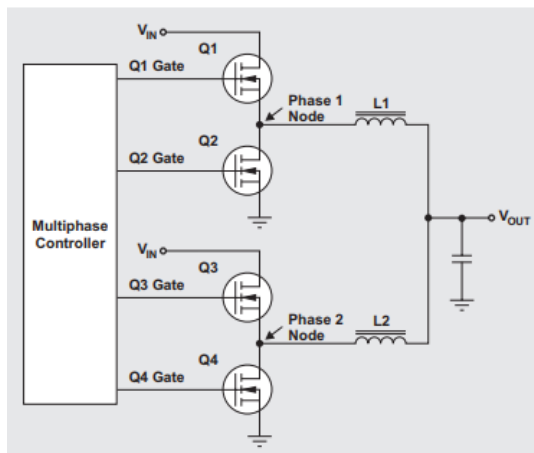


Рис. 1. Типова топологія багатофазного перетворювача

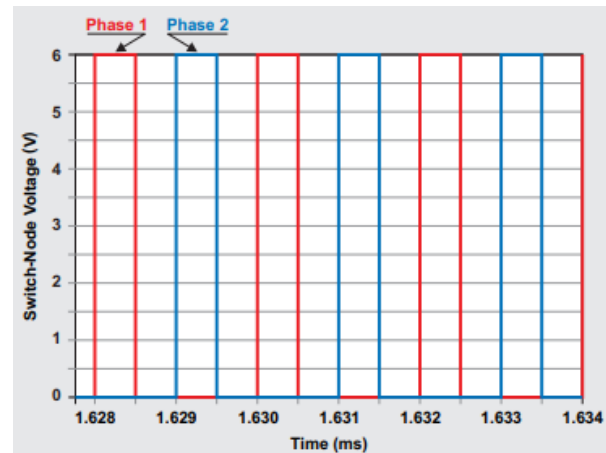


Рис. 2. Імпульси керування двофазним перетворювачем

Для подолання дисбалансу струму використовують схеми, основним завданням яких є регулювання струму у фазах. На сьогодні найпоширенішими схемами для контролю струму у фазах є такі: звичайний ПІ-регулятор з одним оновленням за період комутації; ПІ-регулятор з високою швидкістю виконання, яка дорівнює частоті дискретизації, а не частоті комутації; регулятор на основі лінійно-квадратичного регулятора зі зворотним зв'язком за станом; адаптивний гібридний регулятор, який складається з гістерезисного регулятора під час перехідного процесу та ПІ-регулятора під час стаціонарного режиму [4].

Аналіз цих схем контролю показав, що використання ПІ-регулятора з високою швидкістю оновлення призводить до підвищення продуктивності щонайменше на 10% порівняно зі звичайною реалізацією ПІ-регулятора з однією частотою оновлення. Це збільшення продуктивності відбувається завдяки більшій обчислювальній потужності та підвищеній складності. Адаптивний гібридний регулятор демонструє найкращі показники при ступінчастих перехідних процесах, оскільки забезпечує майже оптимальну перехідну характеристику, а ПІ-регулятор можна налаштувати для мінімізації збурень, що вносяться шумом. Регулятор на основі лінійно-квадратичного регулятора зі зворотним зв'язком за станом можна налаштувати на досягнення кращих динамічних показників порівняно з ПІ-регулятором. Однак обидві ці схеми демонструють гірші характеристики в усталеному стані, що перешкоджає їх застосуванню в системах, які вимагають високої точності регулювання.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Карбівська Т. О. *Перетворювачі електроенергії з модульною структурою та зниженим рівнем пульсації для контактного зварювання: дис. ... д-ра філософії* : 171 – електроніка. Київ, 2021, 179 с.
2. Baba D. Benefits of a multiphase buck converter. *Analog Applications Journal*, 2012, 1Q, pp. 8–13.
3. Reyes-Portillo I.A., Claudio-Sánchez A., Morales-Saldaña J.A. et al. Study of the Effects of Current Imbalance in a Multiphase Buck Converter for Electric Vehicles. *World Electr. Veh. J.*, 2022, 13, 88.
4. Tsolaridis G., Jeong M., Biela J. Evaluation of current control structures for multi-phase interleaved DC-DC converters. *IEEE Access*, 2021, 9, pp. 142616–142631.

A. Puzyrnyi, P. Safronov

Benefits and features of using multi-phase interleaved converters

The paper presents an analysis of the advantages of and problems with using multi-phase interleaved converters in high-power electronic systems. The main focus is on the design principle, limitations and design considerations associated with these converters, as well as recent research in this area. An analysis of different structures for building current balancing in multiphase interleaved converts is presented.

Keywords: multiphase converters, current unbalance, interleaved control, current control, PI-controller.