

СИНХРОНІЗАЦІЯ ТА КЕРУВАННЯ ГЕНЕРОВАНОЮ ПОТУЖНІСТЮ ІНВЕРТОРІВ ФЕС ЗА ДОПОМОГОЮ ФАПЧ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ПАРКА

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто метод синхронізації інверторів фотоелектричних станцій з мережею за допомогою фазового автопідлаштування частоти. А також спосіб керування генерованою потужністю за допомогою переходу з трифазної в альтернативну систему координат.

Ключові слова: інвертор, ФЕС, система координат, ФАПЧ, перетворення Парка.

Abstract

The synchronization method of photovoltaic inverters using a phase locked loop and managing of the generated power using the transformation of the three-phase coordinate system to an alternative coordinate system was represented in this article.

Keywords: inverter, photovoltaic, coordinate system, PLL, Park transformation.

Вступ

Одним із висновків, отриманих в результаті спостережень, щодо розвитку розподілених енергетичних системах протягом останніх кількох років, є те, що електричні мережі недалекого майбутнього будуть в значній мірі засновані на нових розробках енергетичної електроніки. Деякі з яких вже використовуються в інших галузях промисловості протягом десятиліть[1]. Це означає, що підключені до електромережі перетворювачі енергії, що застосовуються в системах розподіленої генерації електроенергії, повинні бути ретельно розроблені та максимально керовані для досягнення, навіть кращої, продуктивності, ніж звичайні електростанції, які вони частково прагнуть замінити.

Одними з найважливіших аспектів, які необхідно враховувати при керуванні перетворювачами енергії, підключеними до електричних мереж, є належна синхронізація з трифазними напругами промислової мережі, а також керування їх роботою.

Побудова систем керування мережевими інверторами значною мірою відрізняється від систем керування автономних інверторів. Це пов'язано з тим що на відміну від останніх мережеві інвертори мають генерувати на виході не просто модульовану за допомогою ШІМ синусоїдну напругу, а й сформувати її таким чином, щоб забезпечити генерацію потужності в мережу відповідно до заявлених оператором показників.

В даній роботі розглянуто математичний метод, що дозволяє спростити розробку системи автоматичного керування а також оптимізувати обчислювальні ресурси контролера керування силовим перетворювачем.

Результати дослідження

Синхронізація з мережею трифазних перетворювачів - це не просто питання множення на три системи синхронізації, що використовується в однофазних інверторах, оскільки фази трифазної системи не працюють автономно, а роблять це скоординовано, зберігаючи кут фазового зсуву і порядок чергування фаз. Тому трифазну напругу слід розуміти як вектор, що складається з трьох

компонентів напруги (рис. 1), що забезпечує можливість генерування та споживання потужності в трифазній системі.

Модуль і швидкість обертання трифазного вектора напруги мережі залишаються постійними, коли в трьох фазах системи синусоїдальні напруги з рівною амплітудою, частотою і відносною фазою.

Дане представлення напруги дозволяє легко оперувати нею за допомогою сучасних цифрових сигнальних процесорів, що використовуються в блоках керування мережевими перетворювачами. За їх допомогою проводиться і синхронізація генерованих перетворювачами напруг з мережею, при включенні їх на паралельну роботу.

Процес синхронізації в переважній більшості базується на використанні програмного фазового автопідлаштування частоти (ФАПЧ). ФАПЧ — це система автоматичного регулювання, що коригує частоту генератора так, щоб вона дорівнювала частоті опорного сигналу. Регулювання відбувається завдяки негативному зворотному зв'язку. Вихідний сигнал керованого генератора порівнюється на фазовому детекторі з опорним сигналом, результат порівняння використовується для керування частотою генератора [2].

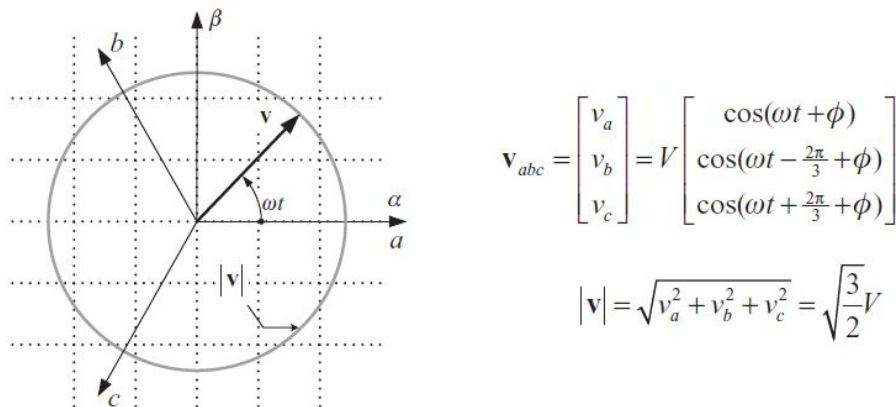


Рисунок 1. Представлення напруги трифазної мережі одним вектором

На сьогодні основним методом синхронізації мережеских інверторів є програмне ФАПЧ, реалізоване за допомогою цифрового керування [3] та математичного апарату, зокрема перетворення Парка (Park Transform) — це перетворення координат призначене для перетворення струмів з двофазної нерухомої системи координат у обертову систему координат орієнтовану по вектору, аналогічному вектору потокозчеплення ротора в електричних машинах, де змінні перетворюються до системи постійного струму. Застосовно до трифазних систем змінного струму, в техніці дане перетворення носить назву ABC-DQ0 Transformation.

$$\begin{pmatrix} U_d \\ U_q \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \cdot \begin{pmatrix} \sin(\Theta) & \sin\left(\Theta - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) & \sin\left(\Theta + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \\ \cos(\Theta) & \cos\left(\Theta - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) & \cos\left(\Theta + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{pmatrix}$$

де U_a, U_b, U_c - миттєві значення фазних напруг мережі, U_d, U_q - проекції просторового вектора на d та q осі відповідно а Θ - кут між вектором U_d і вектором U_a напруги мережі.

На рис. 2 проілюстровано описане перетворення.

Представлення трифазної системи у вигляді двох постійних величин дозволяє легко, не затрачаючи великої кількості обчислювальних ресурсів керувати амплітудою та частотою кожного з векторів окремих фаз трифазної системи.

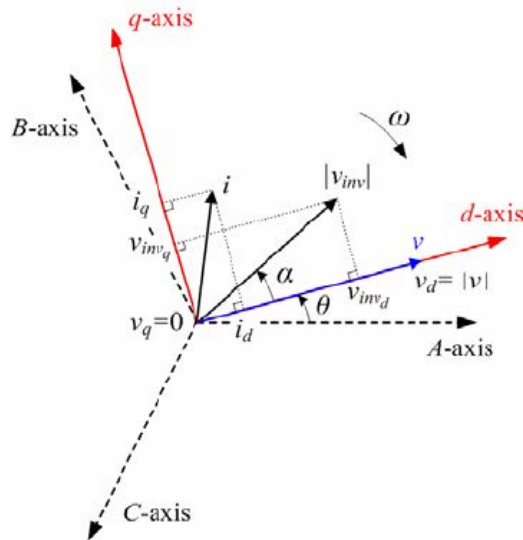


Рисунок 2. Перетворення системи координат

В свою чергу, можливість окремого регулювання d- та q-складовими вектора вихідного струму (до якого застосовується аналогічне ABC-DQ0 перетворення) дозволяє легко керувати генерованою активною та реактивною потужностями відповідно. Зазвичай до структури системи автоматичного керування мережевим перетворювачем входять один або кілька пропорційно - інтегруючих регуляторів, для регулювання компонент, зазначених вище, відповідно до завдання, поставленому системі автоматичного регулювання (рис. 3).

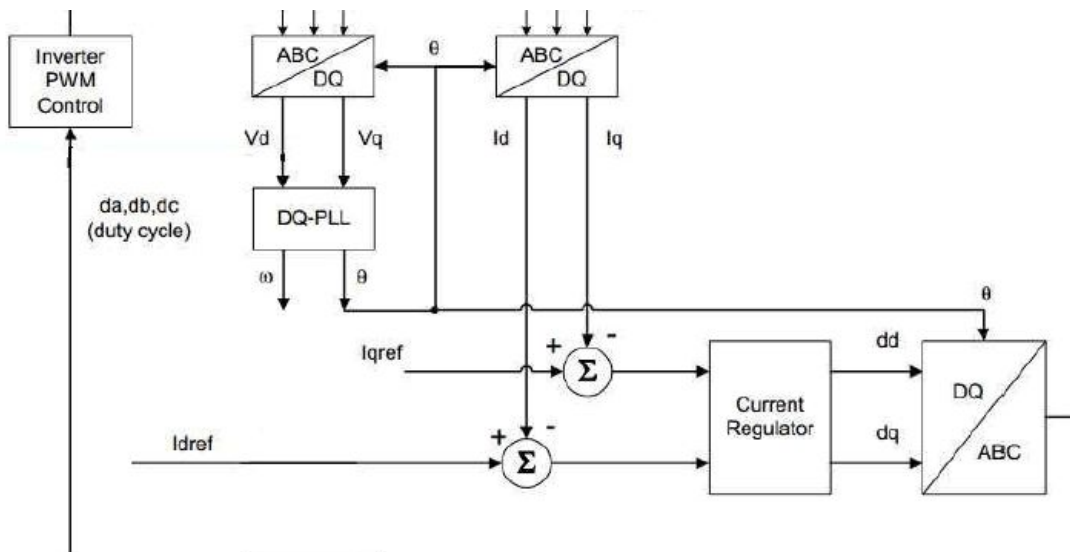


Рисунок 3. Система автоматичного керування мережевим інвертором

Після процесу регулювання здійснюється зворотнє перетворення (DQ0-ABC) та формується завдання на ШІМ-контроллер перетворювача. Таким чином досягається можливість ефективного та коректного управління, по суті, будь яким мережевим перетворювачем.

Висновки

В роботі розглянуто використання перетворення Парка при розробці систем керування мережевими інверторами.

Практичні дослідження, проведені на інверторах, системи керування яких побудовані за допомогою вказаного математичного апарата, підтверджують високу точність та ефективність

управління, не витрачаючи при цьому великої кількості обчислювальних ресурсів мікроконтролера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kazmierkowski, M., Krishnan, R. and Blaabjerg, F., Control in Power Electronics – Selected Problems, Academic Press, 2002.
2. ФАПЧ. Режим доступу — https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазове_автопідлаштування_частоти.
3. Manish Bhardwaj. Software Phase Locked Loop Design Using C2000™ Microcontrollers for Three Phase Grid Connected Applications. - Application report. Texas Instruments. November 2013
4. Teodorescu, R. and Blaabjerg, F., Flexible Control of Small Wind Turbines with Grid Failure Detection Operating in Stand-alone and Grid-Connected Mode. IEEE Transactions on Power Electronics, 19, September 2004, 1323–1332.
5. Kaura, V. and Blasco, V., Operation of a Phase Locked Loop System under Distorted Utility Conditions. IEEE Transactions on Industry Applications, 33, January/February 1997, 58–63.

Голодюк Володимир Сергійович — студент групи ЕСМ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vgolodyk@gmail.com

Коваль Андрій Миколайович — асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: koval.a.m@vntu.edu.ua

Holodiuk Volodymyr S. — Department of electrical engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : vgolodyk@gmail.com

Koval Andriy M. — Department of electrical engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : koval.a.m@vntu.edu.ua