

УДК 621.313

РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ РЕГУЛЮВАННЯ ВХІДНОЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ
МАТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗАСОБАМИ КЕРУВАННЯ

В.М.Михальський, докт.техн.наук, **В.М.Соболев**, канд.техн.наук, **І.А.Шаповал**, канд.техн.наук, **В.В.Чопик**
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

Розглянуто особливості керування матричними перетворювачами, спрямовані на досягнення максимального розширення діапазону регулювання вхідної реактивної потужності. Показано тотожність математичної інтерпретації додаткових ступенів свободи в розв'язку трансферних рівнянь, незважаючи на їх різну реалізацію. Бібл. 3, рис. 3.

Ключові слова: матричний перетворювач, реактивна потужність, просторовий вектор, ступінь свободи.

Вступ. Серед аспектів теорії керування матричними перетворювачами (МП), які інтенсивно розглядаються останнім часом багатьма фахівцями, можна виділити дослідження додаткових можливостей регулювання вхідної реактивної потужності на протигагу теоретичним питанням оптимізації передачі активної складової потужності, які ґрунтовно розглянуті і вивчені. Ці можливості можна поділити на такі основні напрямки:

– застосування методу сингулярного розкладання матриць (декомпозиції) і одержання за рахунок цього доступу до маніпуляцій з додатковими ступенями свободи при керуванні МП [2];

– комбінування відомих концепцій додавання постійних складових у вихідну напругу і додавання нульової компоненти в систему симетричних складових просторових векторів керуючих функцій, що також сприяє отриманню додаткових ступенів свободи [1];

– формування на періоді широтно-імпульсної модуляції додаткових часових інтервалів, які не впливають на передачу активної потужності і призначені виключно для регулювання вхідної реактивної потужності [3].

У даній статті розглянуто алгоритми керування МП для розширення діапазону регулювання його вхідної реактивної потужності. Вихідна теоретична передумова для керування МП заснована на використанні просторових векторів як до електричних величин, так і до керуючих функцій.

Керуючу матрицю задано усередненими на такті модуляції значеннями елементів комутаційної матриці:

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}, \quad \begin{cases} 0 \leq m_{kh} \leq 1 - \text{відносні тривалості роботи ключів МП на такті модуляції,} \\ m_{1h} + m_{2h} + m_{3h} = 1, \quad k, h = 1, 2, 3. \end{cases} \quad (1)$$

Зв'язок між усередненими вхідними і вихідними електричними величинами (струмами і напругами) виражається за допомогою матриці M :

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = M^T \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{21} & m_{31} \\ m_{12} & m_{22} & m_{32} \\ m_{13} & m_{23} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Вхідні напруги і вихідні струми є вимірюваними величинами, а вихідні напруги і вхідні струми – заданими.

Елементи стовпців матриці M (рядків для M^T) можуть бути представлені просторовими векторами

$$\bar{m}_h = \frac{2}{3} \left(\bar{a}^0 m_{1h} + \bar{a}^1 m_{2h} + \bar{a}^2 m_{3h} \right), \quad \bar{a} = e^{j \frac{2\pi}{3}}, \quad h = 1, 2, 3. \quad (3)$$

З урахуванням обмежень у (1) зворотна трансформація виглядає в такий спосіб:

$$m_{kh} = \operatorname{Re} \left\{ \bar{a}^{-(1-k)} \bar{m}_h \right\} + \frac{1}{3} = \frac{\bar{a}^{-(1-k)} \bar{m}_h + \bar{a}^{(k-1)} \bar{m}_h^*}{2} + \frac{1}{3}, \quad (4)$$

де знак * символізує комплексно-сполучене значення.

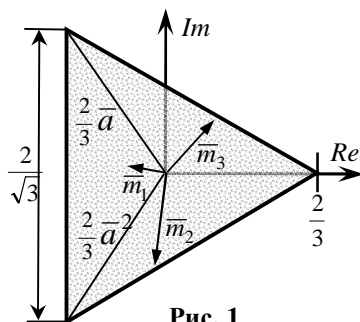


Рис. 1

Область значень просторових векторів керуючих функцій може бути наочно представлена на комплексній площині за допомогою обмежуючого рівностороннього трикутника (рис. 1) [1].

Якщо розкласти систему векторів \bar{m}_h на симетричні складові – пряму \bar{m}_d , зворотну \bar{m}_i і нульову \bar{m}_0 , то з їхньою допомогою можна вивести рівняння, які описують зв'язок між усередненими значеннями винятково за допомогою просторових векторів. Ці рівняння називаються трансферними (передатними)

$$\bar{u}_{out} = \frac{3}{2} (\bar{m}_d \bar{u}_{in}^* + \bar{m}_i^* \bar{u}_{in}), \quad \bar{i}_{in} = \frac{3}{2} (\bar{m}_d \bar{i}_{out}^* + \bar{m}_i \bar{i}_{out}). \quad (5)$$

У рівняннях (5) відсутня складова нульової послідовності \bar{m}_0 . Це, однак, не впливає на усереднені зв'язки комутаційної матриці. Система нульової послідовності проявляється лише в нульовій складовій системи вихідних напруг

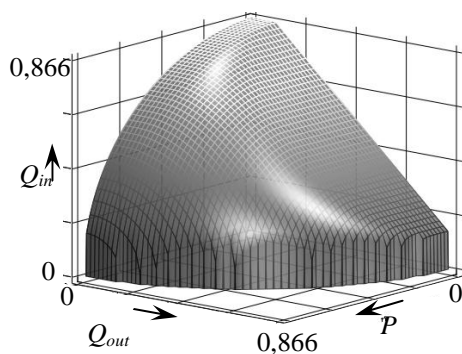


Рис. 2

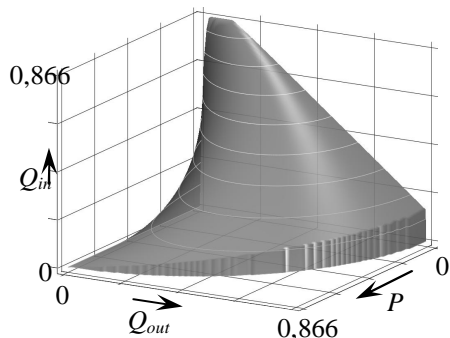


Рис. 3

$$u_0 = \frac{1}{3}(u_a + u_b + u_c) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \bar{u}_{in} (\bar{m}_1 + \bar{m}_2 + \bar{m}_3)^* \right\} = \frac{3}{2} \operatorname{Re} \left\{ \bar{u}_{in} \bar{m}_0^* \right\}. \quad (6)$$

У загальному розв'язку трансферних рівнянь присутні два невизначені члени, які інтерпретуються як ступені свободи – скалярна і векторна \bar{m}_0 (нульова система) складові.

В геометричній інтерпретації це означає, що при введенні відмінного від нуля вектора нульової послідовності \bar{m}_0 відбувається зміщення кінців векторів \bar{m}_h на величину \bar{m}_0 , а при змінах вільної скалярної змінної – спотворення системи векторів \bar{m}_h за рахунок зміщення їхніх кінців у напрямку, перпендикулярному вектору вхідної напруги. При цьому всі маніпуляції не повинні призводити до виходу векторів \bar{m}_h за обмежуючий трикутник (рис. 1).

Різні алгоритми керування відрізняються для однієї й тієї ж робочої точки лише тим, що ступені свободи приймають різні значення, а це позначається на діапазоні регулювання. Варіанти отримання таких сполучень значень допоміжних ступенів свободи, які дозволяють окремо регулювати коефіцієнт передачі напруги та вхідну реактивну потужність і гранично досягати їхніх екстремальних значень у кожній робочій точці, складають задачу відповідного алгоритму керування.

Результати різних підходів до регулювання вхідної реактивної потужності МП можуть перетинатися або відрізнятися в різних робочих діапазонах. Для прикладу на рис. 2 і рис. 3 показано області максимального використання реактивної потужності: теоретично максимально можлива та отримана методом сингулярного розкладання матриць (декомпозиції) відповідно. На цих рисунках позначення P , Q_{in} , Q_{out} – активна, вхідна та вихідна реактивні потужності відповідно у відносних одиницях.

Висновки. Узагальнюючи розглянуті алгоритми керування з точки зору розташування побудованих векторних систем у межах обмежуючого трикутника, можна зробити висновок, що збільшення діапазону регулювання реактивної потужності здійснюється за рахунок оптимального (екстремального) використання граничних областей цього трикутника. Додаткові ступені свободи для різних алгоритмів керування мають різну математичну інтерпретацію але при регулюванні реактивної потужності виконують типовий перерозподіл тривалостей ввімкнутих станів ключів, а також лінійний зсув усіх векторів векторної системи у певному напрямку для додаткового внесення в систему складових нульової послідовності з метою максимального розширення діапазону регулювання.

1. *Igney J., Braun M.* Space vector modulation strategy for conventional and indirect matrix converters // Proceedings of the 11th Int. European Conf. on Power Electronics and Applications. – Dresden (Germany). – 2005.

2. *Hossein Hojabri, Hossein Mokhtari, Liuchen Chang.* A Generalized Technique of Modeling, Analysis, and Control of a Matrix Converter Using SVD // IEEE Trans. on Industrial Electronics. – 2011. – Vol. 58. – No.3. – Pp. 949–959.

3. *Schafmeister F., Kolar J.W.* Novel Hybrid Modulation Schemes Significantly Extending the Reactive Power Control Range of All Matrix Converter Topologies With Low Computational Effort // IEEE Trans. on Industrial Electronics. – 2012. – Vol. 59. – No.1. – Pp. 194–210.

УДК 621.313

Расширение диапазона регулирования входной реактивной мощности матричных преобразователей средствами управления

В.М.Михальский, докт.техн.наук, **В.Н.Соболев**, канд.техн.наук, **И.А.Шаповал**, канд.техн.наук, **В.В.Чопик**
 Институт электродинамики НАН Украины, пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

Рассмотрены особенности управления матричными преобразователями, направленные на достижение максимального расширения диапазона регулирования входной реактивной мощности. Показана тождественность математической интерпретации дополнительных степеней свободы в решении трансферных уравнений, несмотря на их разную реализацию. Библ. 3, рис. 3.

Ключевые слова: матричный преобразователь, реактивная мощность, пространственный вектор, степень свободы.

Extension of the input reactive power regulation range of a matrix converter by control means

V.M.Mykhalskyi, V.M.Sobolev, I.A.Shapoval, V.V.Chopik
 Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine, Peremogy pr, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

The features of the matrix converter control to achieve the maximum expansion of the input reactive power control range have been considered. It is shown that the identity of the mathematical interpretation of additional degrees of freedom in the solution of transfer equations, despite their different implementation. References 3, figures 3.

Key words: matrix converter, reactive power, space vector, degree of freedom.

Надійшла 30.12.2011

Received 30.12.2011