

УДК 621.314

Ю. В. Грицюк, асп.;

М. В. Петухов, к. т. н., доц.;

Б. С. Рогальський, д. т. н., проф.

ЗАСТОСУВАННЯ ФАЗОВО-МОДУЛЬОВАНОЇ НАПРУГИ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СТАТИЧНИХ ТИРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Проведено дослідження впливу фазово-модульованої напруги живлення на енергетичні показники статичного тиристорного компенсатора реактивної потужності з заземленою нейтраллю у разі симетричного або несиметричного керування тиристорами бітиристорних ключів. Доведено, що живлення статичного тиристорного компенсатора реактивної потужності фазово-модульованою напругою має позитивний вплив на його техніко-економічні показники.

Вступ

Застосування статичних тиристорних компенсаторів (СТК) реактивної потужності в електричних мережах промислових підприємств і енергопостачальних організацій забезпечує оптимізацію багатьох технічних і економічних показників систем електропостачання. Це підтверджується вітчизняним і зарубіжним досвідом експлуатації таких установок.

Аналіз сучасних моделей СТК демонструє, що незалежно від конструктивного виконання, схем і принципу дії, їх живлення здійснюється синусоїдною напругою промислової частоти.

Синусоїдний сигнал зазвичай містить спотворення, що викликані наявністю нелінійних елементів. СТК обладнують фільтрокомпенсувальними пристроями (ФКП), які, залежно від спектру гармонік в мережі, компенсують ті, що мають максимальну амплітуду. Незважаючи на наявність фільтрів, в певній мірі, негативний вплив несинусоїдності напруги все-таки зберігається. Тому існує можливість живлення СТК несинусоїдною напругою, але із детермінованими законами зміни відповідних параметрів (амплітуди, частоти та початкової фази). В такому випадку головним завданням є зменшення споживання активної потужності СТК, а також доведення його загальних техніко-економічних показників до оптимального рівня.

Попередні дослідження в цій області [1, 2] доводять, що живлення СТК напругами полігональної форми та амплітудно-модульованою напругою дозволяє значно зменшити питоме споживання активної потужності або ж підвищити режимну гнучкість компенсатора.

Постановка задачі

Якщо до затискачів СТК підводиться фазово-модульована напруга живлення

$$u(\theta) = U_m \sin(\theta + q \sin \theta),$$

то коли $0 \leq q \leq 1$, вона буде ізоморфною по відношенню до однотональної амплітудної модуляції напруги живлення [2] і може бути подана у вигляді

$$u(\theta) = U'_m (\sin \theta + q' \sin 2\theta), \quad (1)$$

де $U'_m = U_m (I_0(q) - I_2(q))$; $q' = \frac{I_1(q) - I_3(q)}{I_0(q) - I_2(q)}$; $I_n(q)$, $n = 0, 1, 2, 3$ — функції Бесселя дійсної

змінної q ; n — індекс цієї функції. Ізоморфність амплітудно- та фазово-модульованих напруг живлення свідчить про те, що під дією цих напруг процеси в СТК відбуваються якісно однаково, проте кількісно вони будуть відрізнятися через неоднаковість U_m та U'_m , q і q' . Однак ізо-

рфність модульованих напруг живлення дозволила провести дослідження енергетичних процесів в СТК у разі його живлення амплітудно-модульованою напругою, а результати цього дослідження поширити на СТК у разі його живлення фазово-модульованою напругою шляхом заміни U_m на U'_m та $0,5q$ на q' .

Таким чином, математичні моделі, які застосовувалися для дослідження впливу амплітудно-модульованої напруги на енергетичні показники СТК і описані в роботі [2], можуть бути адаптовані для компенсатора у разі живлення його фазово-модульованою напругою.

Результати досліджень

Дослідження проводилися для СТК, до складу якого входять тиристори Т253-500 та реактори РКOC-3900/10-У1. Характеристики вказаних елементів подані в роботі [2].

Для визначення інтегральних показників енергетичного процесу СТК застосовувалися інтегральні методи, оскільки вони дозволяють визначити ці показники без розкладання кривих струму та напруги у ряд Фур'є.

Інтегральні показники енергетичного процесу СТК із заземленою нейтраллю, що живляться фазово-модульованою напругою можна знайти за формулами (16)...(24), (28)...(36) [2], якщо в них здійснити заміну q на $2q'$, величини Q_* , P_* , P_{T*} помножити на $(I_0(q) - I_2(q))^2$, а також в

$$P_{T*} \text{ замінити } \gamma_0 \text{ на } \frac{\gamma_0}{I_0(q) - I_2(q)}.$$

За допомогою системи Mathematica 5.0 були проведені відповідні розрахунки, та на їх основі побудовані графіки зміни реактивної потужності $Q_*(\alpha)$, споживаної активної потужності $P_*(\alpha)$ та її питомого значення $P_{Q*}(\alpha)$ у разі симетричного (рис. 1) й несиметричного керування тиристорами БК (рис. 2), якщо живлення здійснюється фазово-модульованою напругою.

У разі фазової модуляції напруги живлення та симетричного керування тиристорами БК зі збільшенням глибини модуляції q у межах від 0 до 1 відбувається зменшення величини реактивної потужності, величини споживаної активної потужності, а також зменшення на 4,9 % питомого значення споживаної активної потужності (рис. 1а, б, в). Оскільки максимальне значення генерованої реактивної потужності в цьому випадку менше, ніж у разі амплітудної модуляції напруги живлення, то ємність конденсаторної батареї і, відповідно, її вартість зменшуються.

Отже, застосування фазово-модульованої напруги живлення за інших рівних умов дає більший економічний ефект, порівняно із застосуванням амплітудної модуляції напруги живлення.

У разі глибокої фазової модуляції напруги живлення спостерігаються стрибки реактивної та споживаної активної потужності СТК. Однак величина цих стрибків значно менша, ніж при амплітудній модуляції напруги живлення. Крім того, стрибки потужностей спостерігаються у вузькому діапазоні зміни величини q .

При несиметричному керуванні тиристорами БК у разі фазової модуляції напруги живлення зі збільшенням q відбувається така ж зміна конфігурації кривих $Q_*(\alpha)$, $P_*(\alpha)$ (рис. 2а, б), як і при амплітудній модуляції, а питоме значення споживаної активної потужності зменшується на 4,9 % в діапазоні кутів керування α від $\frac{2\pi}{3}$ до π (рис. 2в). Оскільки максимальне значення генерованої реактивної потужності в цьому випадку буде найменшим серед усіх розглянутих варіантів, то ємність та вартість конденсаторної батареї теж будуть найменшими.

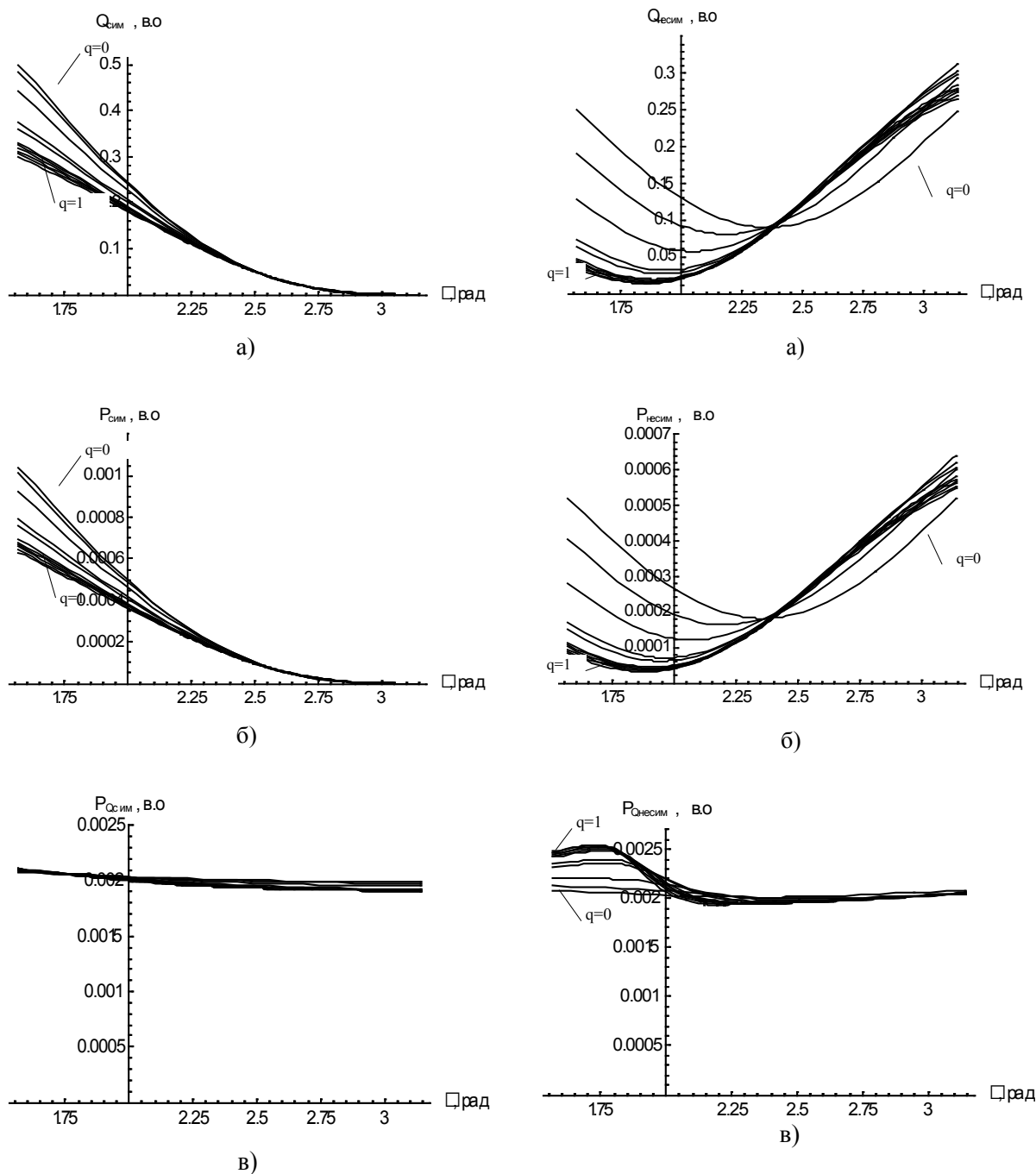


Рис. 1. Графіки залежностей $Q_*(\alpha)$, $P_*(\alpha)$ та $P_{Q^*}(\alpha)$ у разі симетричного керування тиристорами, коли СТК живиться фазово-модульованою напругою

Рис. 2. Графіки залежностей $Q_*(\alpha)$, $P_*(\alpha)$ та $P_{Q^*}(\alpha)$ у разі несиметричного керування тиристорами, коли СТК живиться фазово-модульованою напругою

Таким чином, застосування фазово-модульованої напруги живлення при несиметричному керуванні тиристорами БК дає найбільший економічний ефект порівняно з іншими варіантами. При глибокій фазовій модуляції напруги живлення так само, як і у разі симетричного керування тиристорами БК, спостерігаються незначні стрибки реактивної та споживаної активної потужностей СТК у вузькому діапазоні зміни величини q .

Висновки

1. Запропоновано використовувати фільтрокомпенсувальний пристрій для формування на застискачах СТК фазово-модульованої напруги живлення (з детермінованими законами зміни фази)

з метою оптимізації режимів роботи компенсатора.

2. Виявлено, що так само як і у разі амплітудної модуляції, такі у разі фазової модуляції напруги живлення при симетричному та несиметричному керуванні тиристорами БК, внаслідок біфуркації струму в колі тиристорів, спостерігаються стрибки генерованої реактивної потужності та споживаної активної потужності. Слід зауважити, що у випадку фазово-модульованої напруги стрибки згаданих показників значно менші, ніж у разі живлення амплітудно-модульованою напругою, крім того вони спостерігаються у вужчому діапазоні зміни глибини модуляції q .

3. Доведено, що застосування фазово-модульованої напруги живлення дає більший економічний ефект, порівняно з випадком, коли застосовується амплітудно-модульована напруга, оскільки зменшується величина генерованої реактивної потужності, а це дозволяє зменшити ємність конденсаторної батареї та відповідно її вартість.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грицюк Ю. В., Петухов М. В., Рогальський Б. С., Свиридов М.П. Оптимізація режимів роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності при їх живленні напругами полігональної форми за критерієм мінімуму питомої споживаної активної потужності. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 2. — С. 46—55.

2. Грицюк Ю. В., Петухов М. В., Рогальський Б. С. Застосування амплітудно-модульованої напруги для оптимізації роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 6. — С. 67—75.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем електроспоживання та енергоменеджменту

Надійшла до редакції 07.11.07
Рекомендована до друку 10.12.07

Грицюк Юрій Віталійович — аспірант, Петухов Микола Васильович — доцент.
Кафедра електропостачання, Луцький державний технічний університет;

Рогальський Броніслав Станіславович — професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергоменеджменту.

Вінницький національний технічний університет