

УДК 621.314

Грицюк І.В., к.т.н.

Грицюк Ю.В., к.т.н.

Оксенюк М.А., аспірант

Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ВПЛИВУ МОДУЛЬОВАНИХ НАПРУГ ЖИВЛЕННЯ НА РЕЖИМИ РОБОТИ СТАТИЧНИХ ТИРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРІВ

Грицюк І.В., Грицюк Ю.В., Оксенюк М.А. Аналіз впливу модульованих напруг живлення на режими роботи статичних тиристорних компенсаторів. Досліджено вплив 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.

Ключові слова: реактивна потужність, тиристор, компенсатор, модуляція.

Грицюк И.В., Грицюк Ю.В., Оксенюк Н.А. Анализ влияния модулированных питающих напряжений на режимы работы статических тиристорных компенсаторов. Исследовано влияние фазово-модулированного напряжения питания на энергетические показатели статического тиристорного компенсатора реактивной мощности с заземленной нейтралью в случае симметричного или несимметричного управления тиристорами бйтиристорных ключей. Доказано, что питание статического тиристорного компенсатора реактивной мощности фазово-модулированным напряжением имеет позитивное влияние на его технико-экономические показатели.

Ключевые слова: реактивная мощность, тиристор, компенсатор, модуляция.

Hrytsiuk I, Hrytsiuk Yu, Oksenjuk N. Analysis of the influence of modulated supply voltage on modes of static thyristor compensators. Influence amplitude- and the phase-modulated voltage of a feed on power parameters static thyristor compensator of reactive power with an earthed neutral is investigated at symmetric or asymmetrical controls thyristors bithyristors keys. Factors which allow optimizing operating modes of the compensator are determined, and also to increase his economic efficiency as source of reactive power.

Keywords: reactive power thyristor, compensator, modulation.

Постановка наукової проблеми. 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 існуючих 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 фільтрокомпенсуючими 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.

Аналіз досліджень. 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.

Зокрема, в роботі [2] доведено, що застосування амплітудно-модульованої напруги у разі симетричного керування тиристорами бітиристорних ключів статичного тиристорного компенсатора забезпечує зменшення питомої споживаної активної потужності на 7,3% порівняно з випадком живлення синусоїдною напругою. Виявлено, що крім кута керування α тиристорами на інтегральні показники енергетичного процесу має суттєвий вплив глибина амплітудної модуляції q . Фактично утворюється другий канал керування енергетичним процесом в СТК. Компенсатор стає двоканальним, що підвищує його режимну гнучкість.

У разі глибокої модуляції спостерігається біфуркація струму в колі тиристорів, яка супроводжується стрибком реактивної та споживаної активної потужностей. Причому, чим більше значення q , тим більші величини цих стрибків. Вказаний фізичний ефект дозволяє практично миттєво переходити на інший режим роботи СТК та застосовуватись при динамічній компенсації реактивної потужності. Аналогічні характеристики має режим несиметричного керування тиристорами бітиристорних ключів СТК.

Формулювання цілей статті. Метою даного дослідження є оцінка рівня впливу фазово-модульованої напруги живлення на показники енергетичного процесу СТК.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. 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

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

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

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 протікають якісно однаково, проте кількісно вони будуть відрізнятися через неоднаковість U_m та U'_m , q і q' . Однак ізоморфність 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. Дослідження проводилися для СТК, до складу якого входять реактори РКOC-3900/10-У1 та тиристори Т253-500. Характеристики вказаних елементів подані в роботі [2]. При визначенні 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 при його живленні 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*} замінити γ_0 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 $P_{Q*}(\alpha)$ при симетричному (рис.

1) й несиметричному керуванні тиристорами БК (рис. 2), якщо живлення здійснюється фазово-модульованою напругою. У разі фазової модуляції напруги живлення та симетричного керування тиристорами БК при збільшенні 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. 1 а, 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. При глибокій фазовій 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 більш вузькому діапазоні зміни величини q .

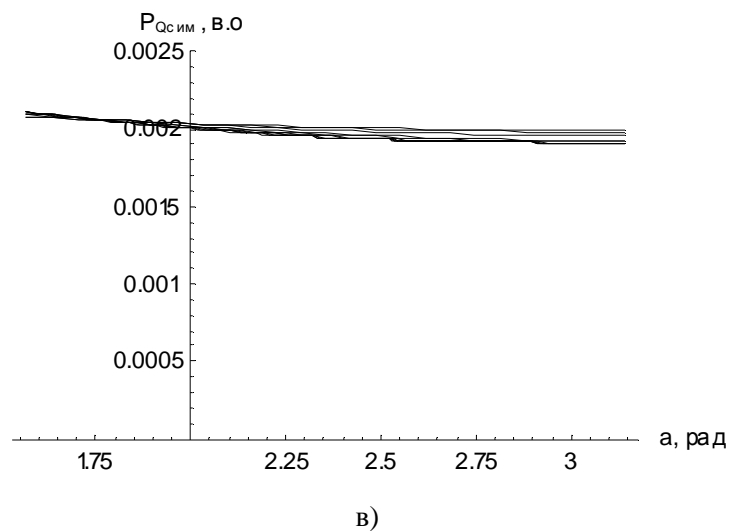
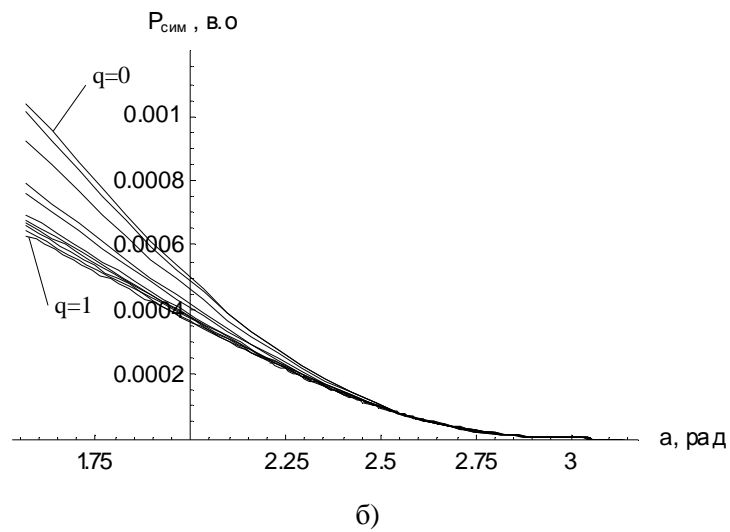
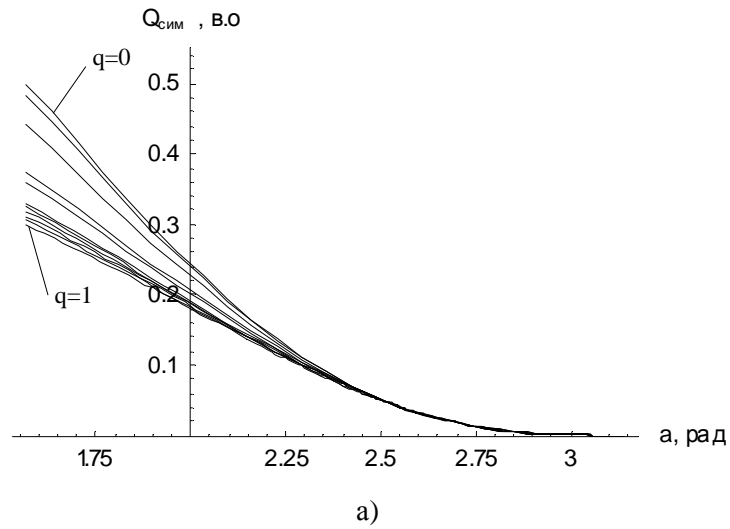


Рис. 1. Графіки залежностей $Q_*(\alpha)$, $P_*(\alpha)$ та $P_{Q_*}(\alpha)$ при симетричному керуванні тиристорами у разі живлення СТК фазово-модульованою напругою.

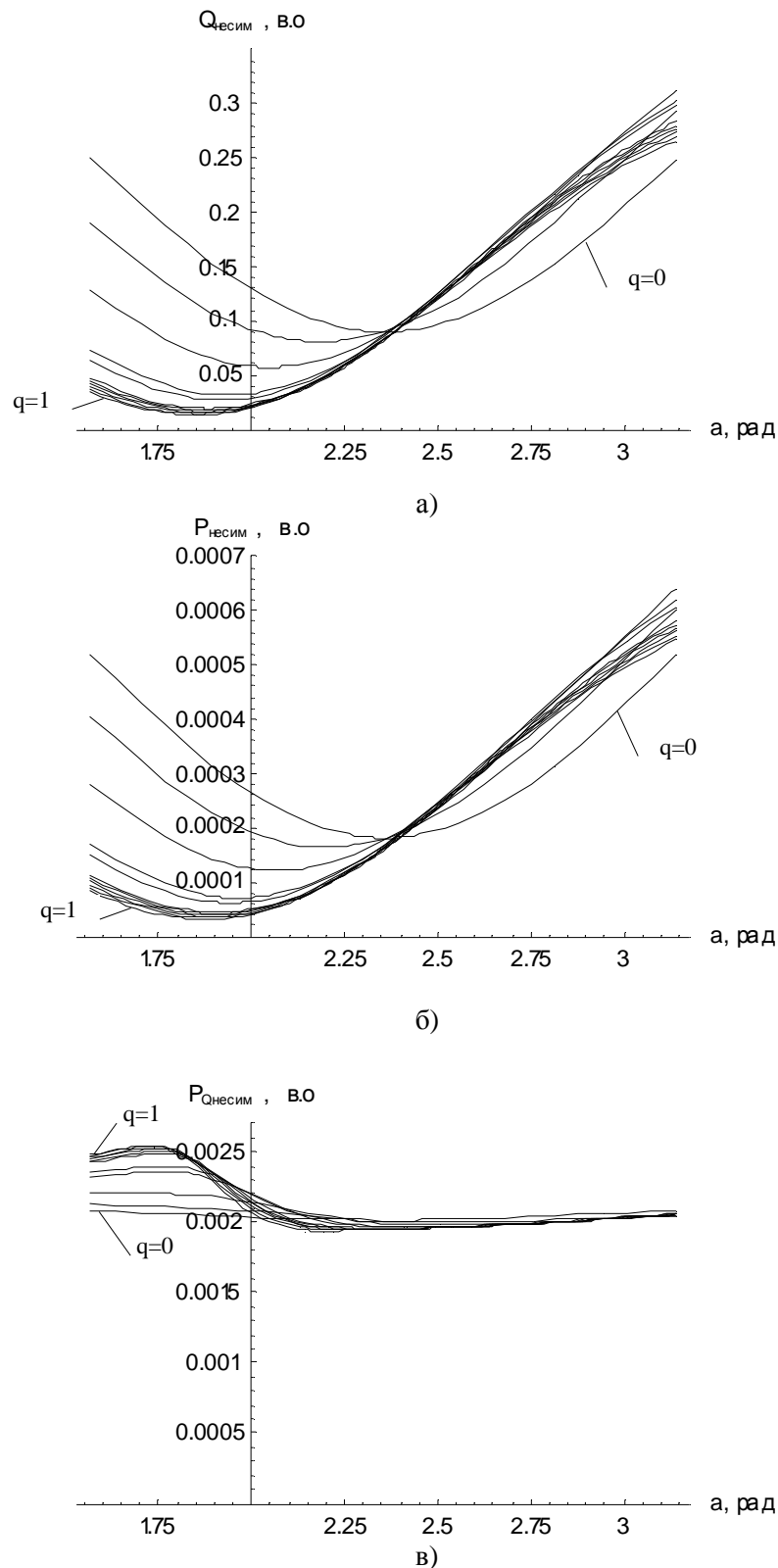


Рис. 2. Графіки залежностей $Q_*(\alpha)$, $P_*(\alpha)$ та $P_{Q_*}(\alpha)$ при несиметричному керуванні тиристорами у разі живлення СТК фазово-модульованою напругою.

При несиметричному керуванні тиристорами БК у разі фазової модуляції напруги живлення зі

збільшенням q відбувається така ж сама зміна конфігурації кривих $Q_*(\alpha)$, $P_*(\alpha)$ (рис. 2 а, б), що 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. 2, в). Оскільки максимальне значення генерованої реактивної потужності в цьому випадку буде найменшим серед усіх розглянутих варіантів, то ємність та вартість конденсаторної батареї теж будуть найменшими.

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 та перспективи подальшого дослідження.

1. Запропоновано використовувати фільтрокомпенсуючий пристрій для формування на затискачах 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, 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 більш вузькому 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 використаних джерел.

1. Грицюк Ю.В. Оптимізація режимів роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності при їх живленні напругами полігональної форми за критерієм мінімуму питомої споживаної активної потужності. / Ю.В. Грицюк, М.В. Петухов, Б.С. Рогальський, М.П. Свиридов. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. - №2. – С. 46-55.
2. Грицюк Ю.В. Застосування амплітудно-модульованої напруги для оптимізації роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності. Ю.В. Грицюк, М.В. Петухов, Б.С. Рогальський. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. - №6. – С. 54-67.