

УДК 621.311

Ю.В. Грицюк, І.В. Грицюк, М.А. Оксенюк  
Луцький національний технічний університет

## ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ІНДУКТИВНОСТІ В СТАТИЧНИХ ТИРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРАХ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

*Досліджено вплив параметричної модуляції індуктивності на інтегральні показники енергетичного процесу статичного тиристорного компенсатора (СТК) із заземленою нейтраллю.*

*Ключові слова:* статичний тиристорний компенсатор, модуляція індуктивності, керування тиристорами.

Ю.В. Грицюк, І.В. Грицюк, Н.А. Оксенюк

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИИ ИНДУКТИВНОСТИ В СТАТИЧЕСКИХ ТИРИСТОРНЫХ КОМПЕНСАТОРАХ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

*Исследовано влияние параметрической модуляции индуктивности на интегральные показатели энергетического процесса статического тиристорного компенсатора (СТК) с заземлённой нейтралью.*

*Ключевые слова:* статический тиристорный компенсатор, модуляция индуктивности, управление тиристорами.

Y. Hrytsiuk, I. Hrytsiuk, M. Okseniuk

## PRACTICAL IMPLEMENTATION OF PARAMETRIC MODULATION INDUCTANCE STATIC THYRISTOR VAR COMPENSATOR

*The effect of parametric modulation inductance for integrated energy performance of static thyristor compensator (STC) with earthed neutral.*

*Keywords:* static thyristor compensator, inductance modulation, control thyristors.

**Постановка проблеми.** Світовий досвід застосування статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності (СТК) для оптимізації режимів електричних мереж, а також для підвищення якості електричної енергії свідчить про їх значну ефективність. Звичайно для отримання максимальної ефективності кожен випадок встановлення СТК вимагає досконалого обґрунтування з різних точок зору, зокрема й економічної.

Бажаними характеристиками СТК є швидкодія, достатній регульовальний діапазон, мінімальне споживання активної потужності а також можливість забезпечення багаторежимного функціонування.

Найбільш актуальним завданням є мінімізація споживання активної потужності СТК у разі генерування реактивної.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Попередні дослідження проводились для СТК із глухо заземленою та ізольованою нейтраллю і викладені в роботі [1]. Інтегральні показники енергетичного процесу визначались для режимів живлення СТК синусоїдною напругою та полігональними напругами. Результати досліджень продемонстрували очевидні переваги функціонування СТК, що живиться прямокутною або пилкоподібною напругою. За таких умов значно зменшується споживання активної потужності та досягається багаторежимність при достатньо широкому діапазоні регулювання реактивної потужності.

**Постановка завдань.** Метою публікації є дослідження впливу параметричної модуляції індуктивності на інтегральні показники енергетичного процесу статичного тиристорного компенсатора (СТК) із заземленою нейтраллю, схема якого подана в роботі [1], при симетричному та несиметричному керуванні тиристорами бітиристорних ключів (БК) компенсатора.

**Викладення основного матеріалу.** Оскільки індуктивний опір у кожній із фаз змінюється ідентично відносно прикладеної напруги, то струм через БК та фазний реактор не залежить від струму інших фаз. Це дає змогу розглянути квазістаціонарні процеси в одній із фаз СТК, а результати поширити для інших фаз.

При розрахунку показників енергетичного процесу СТК з параметричною модуляцією застосовувалися інтегральні методи їх визначення [2], оскільки вони дозволяють знайти значення цих показників без розкладання кривих струму та напруги у ряд Фур'є.

Індуктивність у фазі СТК було запропоновано змінювати за законом

$$L(t) = \frac{L_0}{1 + k \cos(2\omega t + \varphi)}, \quad (1)$$

де  $L_0$  - постійна складова індуктивності;  $k$  - індекс модуляції ( $0 \leq k \leq 1$ );  $\omega$ ,  $\varphi$  - відповідно колова частота та фаза модульованого сигналу.

За результатами математичного моделювання були визначені показники енергетичного процесу СТК (реактивна потужність  $Q$ , втрати активної потужності  $\Delta P$ , питомі втрати активної потужності  $\Delta P/Q$ ) у разі симетричного та несиметричного керування тиристорами та побудовані відповідні залежності.

Було встановлено, що завдяки зміні фази модульованого сигналу досягнута багатоканальність керування, внаслідок чого з'явилась можливість регулювання реактивної потужності з одночасною мінімізацією споживання активної потужності.

Статичний тиристорний компенсатор у разі несиметричного керування тиристорами може працювати з невеликим індексом модуляції, забезпечуючи мінімальне споживання активної потужності. Крім того, порівняно з симетричним режимом, у випадку несиметричного керування тиристорами зменшується рівень генерованої реактивної потужності, що дає змогу зменшити вартість конденсаторних батарей.

Для підтвердження енергоощадності режиму роботи СТК з параметричною модуляцією індуктивності, яку втілено в дослідному зразку однофазного компенсатора (структурна схема зображена на рис. 1), було виконане експериментальне дослідження та визначення показників енергетичного процесу для порівняння їх з результатами теоретичних досліджень.

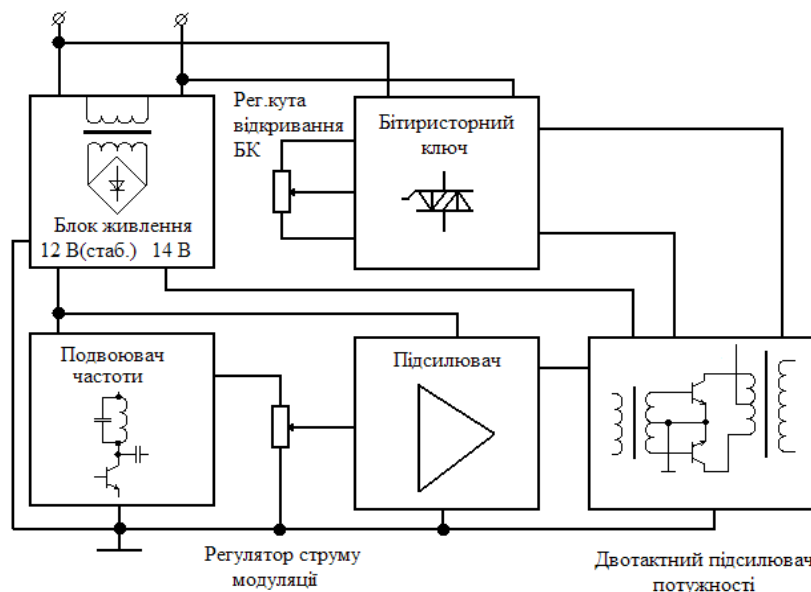


Рис. 1. Структурна схема однофазного СТК з модуляцією реактивного параметру

Струм модуляції змінювали в межах від 0 до 3 А з дискретністю 0,02 А (де це дозволяли можливості потенціометра). Було отримано 50 значень напруги, струму навантаження, активної потужності та коефіцієнта активної потужності. За результатами експерименту були побудовані відповідні залежності  $U = f(I_m)$  (рис. 2);  $I = f(I_m)$  (рис. 3);  $\cos \varphi = f(I_m)$  (рис. 4);  $P, Q, S = f(I_m)$  (рис. 5);  $R, X, Z = f(I_m)$  (рис. 6) та  $\Delta P = f(I_m)$  (рис. 7).

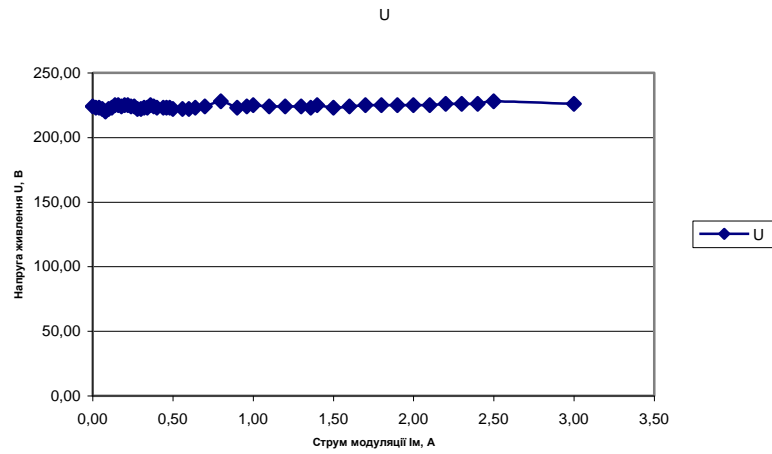


Рис. 2. Графік зміни живлячої напруги в процесі модуляції індуктивності

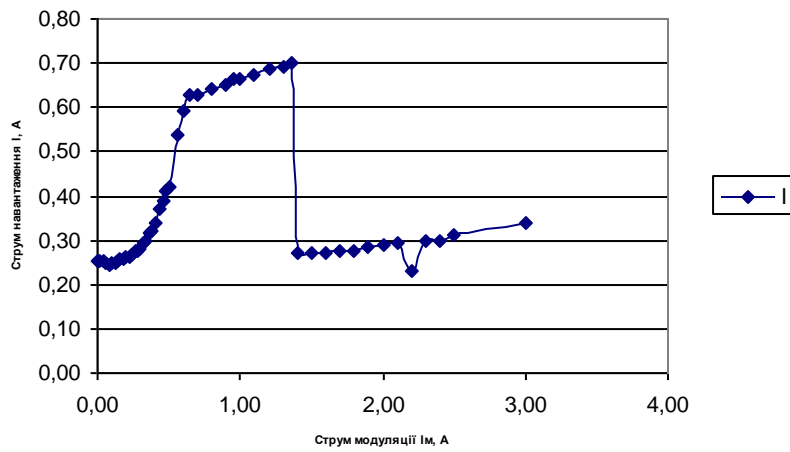


Рис. 3. Графік зміни струму навантаження в процесі модуляції індуктивності

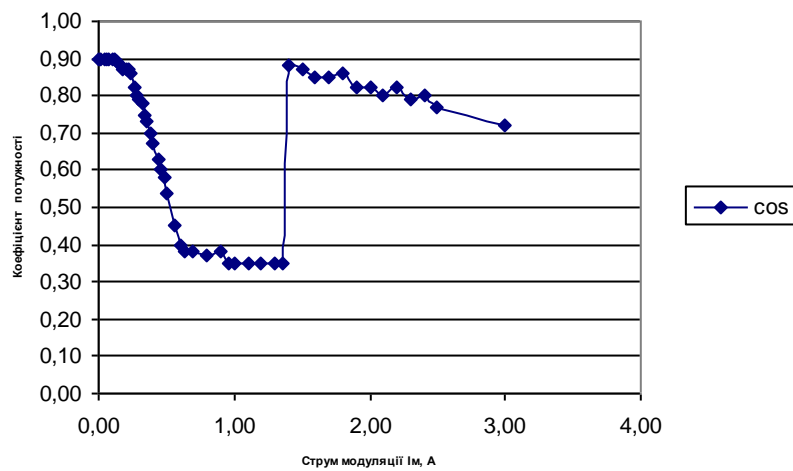


Рис. 4. Графік зміни коефіцієнта активної потужності

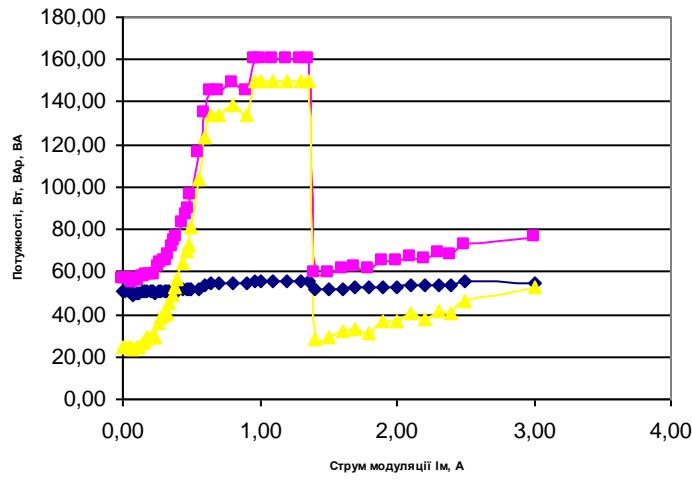


Рис. 5. Графік зміни активної, реактивної та повної потужностей

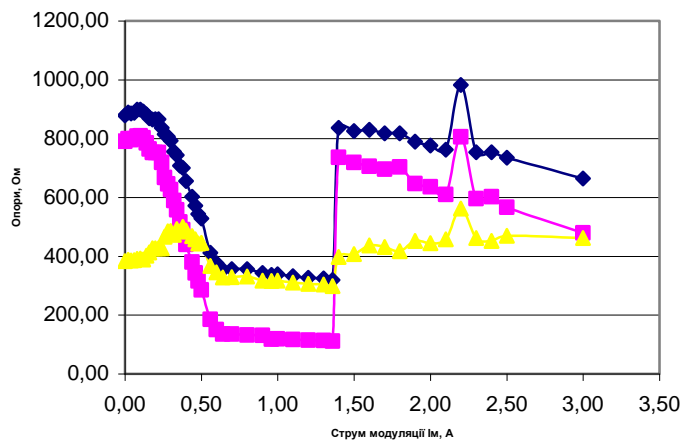


Рис. 6. Графік зміни активного, реактивного та повного опорів досліджуваної схеми компенсатора

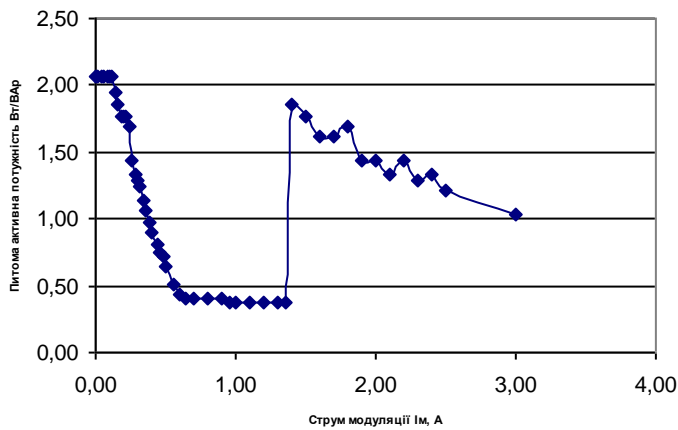


Рис. 7. Графік зміни питомої активної потужності в процесі параметричної модуляції

Аналізуючи графік зміни напруги (рис. 4.1), спостерігаємо максимальне відхилення живлячої напруги до 228 В, що складає 3,6% від номінальної, це відповідає нормативному відхиленню згідно ГОСТ 13109-97, а тому суттєво не впливає на результати розрахунків.

В процесі збільшення струму модуляції індуктивності, при його значенні 0,12 А починається різке збільшення реактивної потужності, а відповідно і повної. Реактивна потужність зростає від 24,7 ВАр (при відсутності модуляції) до 138,1 ВАр (при  $I_m = 0,8$  А), тобто 5,6 рази. Цей процес відбувається майже за майже незмінного споживання активної потужності. Зростання споживання активної потужності на піку генерування реактивної становить 7,8%. Даний ефект супроводжується також різким пропорційним зростанням повного струму та зменшенням  $\cos\phi$  з 0,9 до 0,35, що пояснюється різким стрибком реактивної потужності, яка має індуктивний характер. Причиною даного явища є поява від'ємного диференційного опору в напівпровідниках схеми компенсатора за наявності модуляції індуктивності з частотою 100 Гц. Це ефект підтверджує здатність СТК з параметричною модуляцією індуктивності швидко збільшувати генеровану індуктивну складову потужності при фактично незмінному споживанні активної потужності. Енергоефективність даного режиму роботи СТК підтверджується графіком рисунка 4.6. На ділянці струму модуляції від 0,6 до 1,36 А спостерігається мінімальне питоме споживання активної потужності при генеруванні реактивної (0,37 Вт/Вар). Це в 5,6 рази менше, порівняно з режимом при відсутності модуляції.

Для підтримання енергоощадності роботи розробленого дослідного зразка однофазного статичного тиристорного компенсатора реактивної потужності діапазон зміни струму модуляції слід підтримувати в межах від 0,6 до 1,36 А.

Розроблений дослідний зразок СТК запропоновано застосовувати в схемах непрямой компенсації реактивної потужності в з постійно ввімкненою конденсаторною установкою в низьковольтних електричних мережах з різкозмінним навантаженням.

**Висновки.** Запропоновано застосовувати параметричну модуляцію для оптимізації режимів роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності.

Завдяки зміні фази модульованого сигналу досягнута багатоканальність керування, внаслідок чого з'явилась можливість регулювання реактивної потужності з одночасною мінімізацією споживання активної потужності.

Статичний тиристорний компенсатор у разі несиметричного керування тиристорами може працювати з невеликим індексом модуляції, забезпечуючи мінімальне споживання активної потужності. Крім того, порівняно з симетричним режимом, у випадку несиметричного керування тиристорами зменшується рівень генерованої реактивної потужності, що дає змогу зменшити вартість конденсаторних батарей.

#### Список використаних джерел:

1. Петухов М.В., Гадай А.В., Грицюк Ю.В. Дослідження математичної моделі параметричного статичного компенсатора реактивної потужності // Вісник НУ „Львівська політехніка”. – 2001. - №421. – с. 154 - 159 .
2. Тонкаль В.Е., Жуйкою В.Я., Денисюк С.П., Яценко Ю.А. Определение и компенсация реактивной мощности в цепях несинусоидального тока и напряжения. – К.: Ин-т пробл. энергосбережения, 1990. – 28 с.– С. 46–51.

Стаття надійшла до редакції 14.12.2015.