

УДК 621.311.1

В.В. Гніліцький, к.т.н., доц.

О.А. Поліщук, інж.

Житомирський державний технологічний університет

КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В МЕРЕЖАХ З ПЕРІОДИЧНИМ НЕСИНУСОЇДНИМ СТРУМОМ

Запропоновано підхід для обчислення реактивної потужності та інших параметрів, які характеризують якість компенсації реактивної потужності в автоматичних конденсаторних установках. Увагу зосереджено на мережах з періодичним несинусоїдним струмом.

Постановка проблеми. Внаслідок зростання кількості нелінійних навантажень, котрі спричиняють появу вищих гармонік, ускладнюється розрахунок реактивної потужності, а також і сам процес її компенсації.

Питанню ідентифікації та розрахунку реактивної потужності при несинусоїдних напругах і струмах присвячено роботи українських науковців [1–3], проте єдиної методики так і не запропоновано, особливо з компенсації реактивної потужності для випадків, коли струм є періодичним несинусоїдним.

У Європі проходять конференції з цього питання і вже прийняті стандарти. У нас поки що – ні.

Аналіз літературних джерел та останніх досліджень. У колах змінного синусоїдного струму виконується співвідношення:

$$P^2 + Q^2 = S^2, \quad (1)$$

де P – активна потужність, Вт; Q – реактивна потужність, ВАр; S – повна потужність, ВА.

У свою чергу активна та реактивна потужності записуються таким чином:

$$P = UI \cos \varphi, \quad (2)$$

$$Q = UI \sin \varphi, \quad (3)$$

де U – діюче значення напруги, В; I – діюче значення струму, А; φ – зсув фаз між напругою і струмом, рад.

Фактично в колах з довільними періодичними сигналами активну потужність визначають як середнє значення потужності за період:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt, \quad (4)$$

де $p(t)$ – функція миттєвої потужності.

Але у колах несинусоїдного струму співвідношення (1) не виконується, оскільки $S^2 > P^2 + Q^2$.

Для того, щоб зв'язати активну, реактивну і повну потужності, вводять поняття потужності спотворення T , з урахуванням якої повна потужність записується таким чином:

$$P^2 + Q^2 + T^2 = S^2. \quad (5)$$

Для даних кіл активну потужність визначають за формулою (4) або:

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} P_k, \quad (6)$$

де P_k – активна потужність k -ї гармоніки, Вт.

Аналогічно записується реактивна потужність:

$$Q = \sum_{k=0}^{\infty} Q_k, \quad (7)$$

де Q_k – реактивна потужність k -ї гармоніки, ВАр.

Повна потужність для кіл несинусоїдного струму визначається через діючі значення напруги і струму аналогічно, як і для кіл синусоїдного:

$$S = UI, \quad (8)$$

проте діючі значення в даних колах обчислюються не так, як в колах синусоїдного струму, а за виразами:

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2}, \quad (9)$$

$$I = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I_k^2}, \quad (10)$$

де U_k – діюче значення напруги k -ї гармоніки, V ; I_k – діюче значення струму k -ї гармоніки, А.

Останнім часом науковці дискутують щодо поняття потужності спотворення. Деякі з науковців доводять, що потужність спотворення – різновид реактивної [3]. На думку автора, у [4] подане найбільш вірогідне тлумачення даної потужності. Пояснюється, що це є суто розрахункова величина, яка вводиться для оцінки невідповідностей у формах кривих напруги і струму.

Причина цьому – відсутність деяких гармонічних складових струму і присутність їх в нарузі, і, як наслідок, відсутній внесок цих гармонік у реактивну та активну потужності, хоча у діючих значеннях для підрахунку повної потужності ці складові є, що ілюструють формули (9), (10).

Отже сам розрахунок повної потужності в колах несинусоїдного струму, на думку автора, є, м'яко кажучи, наближеним. Це ще раз підтверджують досліди в [3], особливо найбільш "яскраві" ті випадки, коли потужність спотворення фіксується на активному навантаженні. Саме тому можна зробити висновок, що існуючі регулятори для автоматичних конденсаторних установок (АКУ) не завжди оптимально працюють і правильно обраховують параметри компенсації реактивної потужності, котрі потрібно вираховувати без участі у розрахунках потужності спотворення, тобто і без повної потужності.

Мета роботи – запропонувати варіант математичної моделі для обчислення реактивної потужності та інших показників регулятором АКУ.

Викладення основного матеріалу. Для початку потрібні технічні показники, з котрих буде видно, аналізувати лиш першу гармоніку (класичний варіант), чи декілька (внаслідок значної частки реактивної потужності від вищих гармонік). Візьмем поки що тільки для теорії другий варіант, коли потрібно аналізувати скінченну кількість гармонік.

Одразу слід відмітити, що використання коефіцієнта потужності $\chi = \frac{P}{S}$ є некоректним через вплив потужності спотворення на розрахунки.

Тепер для прикладу проаналізуємо практичну реалізацію компенсації реактивної потужності в мережах, у яких присутні вищі гармоніки.

Конденсаторні установки типу КРМ і УКРМ компанії ЕТК «Джоуль» в мережах несинусоїдного періодичного струму комплектуються фільтрами вищих гармонік для збільшення експлуатаційного строку даних установок. Це пояснюється тим, що конденсатори швидко виходять з ладу при появі вищих гармонічних складових. Такі установки називають фільтрокомпенсуючими (ФКУ). Їх функція – компенсація реактивної потужності від першої гармоніки.

З практичного досвіду виробників конденсаторних установок можна зробити висновок, що для компенсації всієї реактивної потужності потрібні також ФКУ, причому компенсація повинна виконуватись конкретно по кожній гармоніці.

Тоді, за аналогією до (1), для k -ї гармонічної складової можна записати:

$$P_k^2 + Q_k^2 = S_k^2. \quad (11)$$

Відповідно P_k і Q_k :

$$P_k = U_k I_k \cos \varphi_k, \quad (12)$$

$$Q_k = U_k I_k \sin \varphi_k. \quad (13)$$

Отже буде доцільним використання коефіцієнта потужності для k -ї гармоніки:

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{S_k}. \quad (14)$$

Також відмітимо, що використання коефіцієнта реактивної потужності буде коректним як для k -ї гармоніки:

$$\operatorname{tg} \varphi_k = \frac{P_k}{Q_k}, \quad (15)$$

так і для сумарних активної та реактивної потужностей:

$$\chi_Q = \frac{P}{Q} \tag{16}$$

Однолінійну електричну схему типових ФКУ показано на рис. 1:

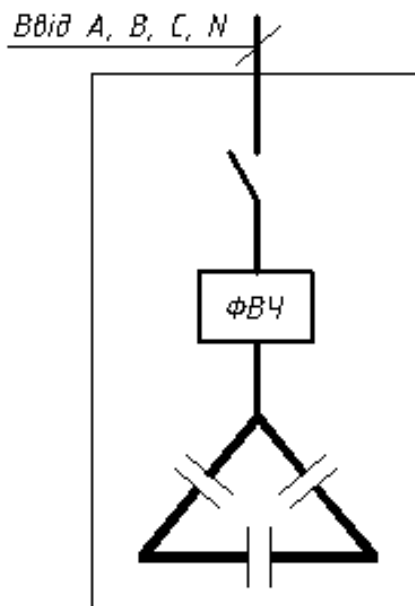


Рис. 1. Однолінійна схема типових ФКУ
ФВЧ – фільтр вищих частот

Тому однолінійна схема установки для компенсації всієї реактивної потужності по кожній гармоніці (УКРП), наприклад до 4-ї буде відрізнятися від схеми рис. 1 тим, що на кожну гармоніку виділяється ФКУ (рис. 2):

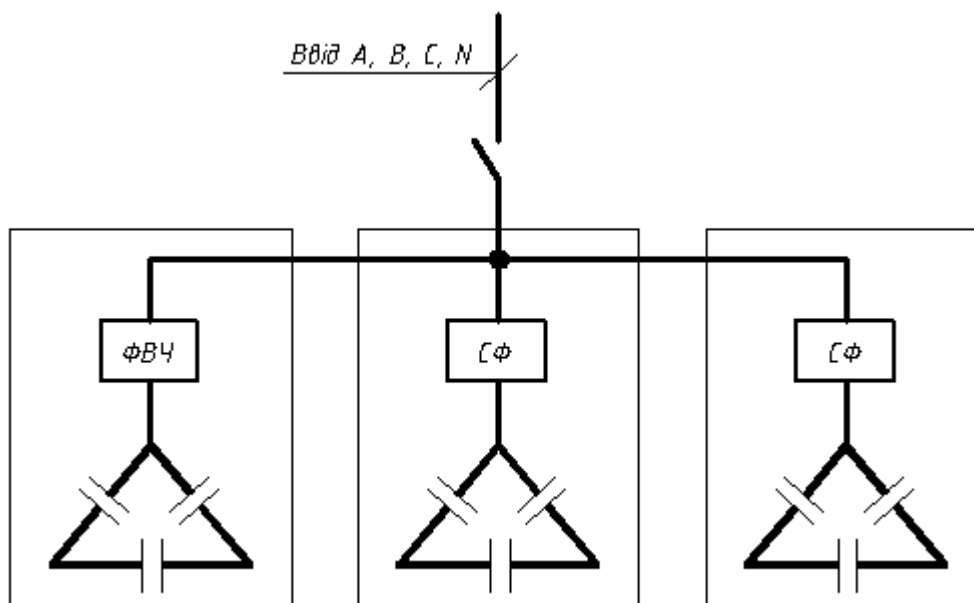


Рис. 2. Однолінійна схема УКРП
СФ – смуговий фільтр

Висновки. УКРП повинна складатись із декількох ФКУ, кількість яких дорівнює кількості гармонік, що розглядаються. На ввіді установки, що компенсує реактивну потужність від 1-ї гармоніки, повинен

бути фільтр вищих частот, на вводах усіх інших – смугові фільтри, які пропускають сигнали діапазону частот $2f \pm \Delta f$, $3f \pm \Delta f$ і т. д., де f – частота 1-ї гармоніки (в даному випадку промислова).

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Саєнко Ю.Л.* Реактивна потужність в системах електропостачання з нелінійними навантаженнями: Автореф. дис. ... докт. техн. наук / Приазовський державний технічний університет. – Маріуполь, 2003. – 42 с.
2. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Исаева Т.М.* Об определении реактивной мощности при несинусоидальных режимах // Проблемы энергетики. – 2005. – № 1.
3. *Соломчак О.В., Гладь І.В.* Проблеми розрахунку та компенсації реактивної потужності в мережах з несинусоїдним (нелінійним) навантаженням: Наукова стаття / Івано-Франківський Національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2008.
4. *Каргополова Н.П.* Теорія електричних та магнітних кіл. Курс лекцій: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 474 с.

ГНІЛЦЬКИЙ Віталій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизованого управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- цифрова обробка сигналів;
- інформаційні системи;
- мікропроцесорні пристрої в енергозбереженні.

Тел.: 8(0412)37-84-82.

E-mail: gnil@ztu.edu.ua

ПОЛЩУК Олександр Анатолійович – спеціаліст кафедри електронних апаратів Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- мікропроцесорні пристрої в енергозбереженні.

Подано 20.08.2009

Компенсація реактивної потужності в мережах з періодичним несинусоїдним струмом.

Запропоновано підхід для обчислення реактивної потужності та інших параметрів, які характеризують якість компенсації реактивної потужності в автоматичних конденсаторних установках. Увагу зосереджено на мережах з періодичним несинусоїдним струмом.

Компенсация реактивной мощности в сетях с периодическим несинусоидальным током.

Предложен подход для вычисления реактивной мощности и других параметров, которые характеризуют качество компенсации реактивной мощности в автоматических конденсаторных установках. Внимание сосредоточено на сетях с периодическим несинусоидальным током.

Indemnification of reactive power in networks with a periodic current not sine-wave.

The approach for calculation of reactive power and other parameters describing quality of indemnification of reactive power in automatic capacitor installations is offered. The attention is concentrated on networks with a periodic current not sine-wave.