

Нормальний робочий режим / В.І. Великий, В.А. Андрійчук // Технічна електродинаміка. – 2005. – № 2. – С. 33-36.

3. Steigerwald R.L. A Comparison of High-Bridge Converter Topologies / R.L. Steigerwald // IEEE on Power Electronics. – 1988. – vol. 3. – No.2. – pp. 174-182.

4. Ribarich T.J. A New Control Method for dimmable high frequency electronic ballasts / T.J. Ribarich, J.J. Ribarich // Proc. of IEEE Appl. Power Electronics Conf. – 1998. – pp. 2038 – 2043.

5. M. Gulko. Current-Sourcing Push-Pull Parallel-Resonance Inverter (CS-PPPI): Theory and Application, as a Fluorescent Lamp Driver / M. Gulko, S. Ben-Yaakov // Proc. of IEEE APEC'93. – 1993. – pp. 411-417.

6. B.L. Hesterman. Parallel-Resonant Programmed Ballast / B.L. Hesterman, T.M. Poehlman, M. Tek // Darnell Group Inc. – 2000.

7. А. Лупенко. Математична модель вихідного каскаду електронного пускорегулювального апарату в коливальному режимі / А. Лупенко, Л. Мовчан, В. Натяга, І. Сисак // Вісник Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2010. – том 15 № 2. – с. 135-145.

8. Moo C.S. Designing Dimmable Electronic Ballast with Frequency Control / C.S. Moo, L.C. Cheng, H.N. Chen, H.C. Yen // Proc. of IEEE Appl. Power Electronics Conf., APEC'99. – 1999. – pp. 727-733.

9. Cavalcante F.S. A New Dimmable 70W Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamps / F.S. Cavalcante, I. Barbi // Conf. Rec. of IEEE Industry Applications Conference, Pittsburgh (Pennsylvania), USA. – 2002. – Vol. 3. – pp. 1856 – 1862.

10. Лупенко А.М. Дослідження частотного методу регулювання потужності люмінесцентних ламп / А.М. Лупенко // Світло- LUX. – 2007. – № 5. – С. 92-97.

Надійшла до редакції  
27.10.2010 р.

**УДК 621.316.1**

**М.Й. БУРБЕЛО, М.В. КУЗЬМЕНКО, Ю.В. ІЛЬЧУК**

Вінницький національний технічний університет

## **КЕРУВАННЯ КОМПЕНСАЦІЙНИМИ СИМЕТРУВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЙ**

Розроблено алгоритми керування несиметрією режиму для розподільних мережах енергопостачальних компаній в реальному часі за випадкового характеру навантажень. Показано, що доцільним є усереднення поточних значень складових струму зворотної послідовності на інтервалі часу 30 с.

The algorithms of management of the mode unsymmetry are worked out for distributive networks of energyprocurement companies real-time at casual character of loading. It is shown that expedient is усереднення of current values of constituents of current of reverse sequence on a time of 30 s domain.

Ключові слова: симетрування навантажень, керування симетрувальними пристроями.

### **Вступ**

Для розподільних мереж 10 та 0,38 кВ енергопостачальних компаній характерною є несиметрія струмів за зворотною послідовністю, яка створюється однофазними електроприймачами 0,38 кВ і має випадковий характер. Струми зворотної послідовності різних ТП в мережі 10 кВ накладаються, взаємно компенсуючи або підсилюючи один одного. Збільшення несиметрії струмів призводить до недопустимого збільшення напруги зворотної послідовності, яка негативно відбивається на роботі споживачів усіх ТП.

Найбільш ефективними для зменшення несиметрії струмів в розподільних мережах енергопостачальних компаній є компенсаційні симетрувальні пристрої (СП), оскільки одночасно з симетруванням електричного режиму можна додатково отримати ефект від компенсації реактивних навантажень. Їх порівняно легко реалізувати керованими.

Як інформативний параметр в системах керування компенсаційних СП можна використовувати напругу зворотної послідовності  $\dot{U}_2$ , струм зворотної послідовності навантаження  $\dot{I}_2$  [1, 2]; втрати потужності, що зумовлені струмом зворотної послідовності в лінії живлення  $\Delta P_{2л}$  [2]; пульсуючу потужність  $\underline{N} = 3(\dot{U}_1 \dot{I}_2 + \dot{U}_2 \dot{I}_1)$  [1], пульсуючу потужність зворотної послідовності навантаження

$\underline{N}_2 = 3\dot{U}_1 \dot{I}_2$ , комплексну умовну потужність зворотної послідовності  $\underline{S}'_2 = 3\dot{U}_1 \dot{I}_2^*$  або комплексну умовну провідність зворотної послідовності навантаження  $\underline{Y}_2 = \dot{I}_2 / \dot{U}_1$  [3].

Однак до цього часу системи керування розглядалися в статичному режимі без врахування динаміки зміни навантажень.

### **Постановка завдання**

Ставиться завдання розробки алгоритму роботи системи керування несиметрією режиму для

розподільних мереж 10 та 0,38 кВ енергопостачальних компаній в реальному часі за випадкового характеру навантажень.

### Результати дослідження

Алгоритм формування вектора провідностей секцій конденсаторних батарей СП, що містить три емнісних елементи, можна подати у такому вигляді:

$$b_{BC} = \frac{1}{3}[(b_1 - b_{ex}) - 2b_2];$$

$$b_{CA} = \frac{1}{3}[(b_1 - b_{ex}) + b_2 - \sqrt{3}g_2];$$

$$b_{AB} = \frac{1}{3}[(b_1 - b_{ex}) + b_2 + \sqrt{3}g_2],$$

де  $b_{ex} = g_1 \operatorname{tg} \varphi_{ex}$  – задане значення вхідної реактивної провідності після симетрування;  $g_1 = \operatorname{Re}(\underline{Y}_1)$ ;  $b_1 = -\operatorname{Im}(\underline{Y}_1)$  – активна та реактивна провідності прямої послідовності навантаження  $\underline{Y}_1 = \underline{I}_1 / \underline{U}_1$ ;  $g_2 = \operatorname{Re}(\underline{Y}_2)$ ;  $b_2 = -\operatorname{Im}(\underline{Y}_2)$  – активна та реактивна складові умовної провідності зворотної послідовності навантаження  $\underline{Y}_2 = \underline{I}_2 / \underline{U}_1$ .

Інформативні активна і реактивна провідності прямої та зворотної послідовностей можуть бути визначені через ортогональні складові провідностей

$$\begin{cases} g_1 = 0,5(g_\alpha + g_\beta); & b_1 = 0,5(b_\alpha + b_\beta) \\ g_2 = 0,5(g_\alpha - g_\beta); & b_2 = 0,5(b_\alpha - b_\beta) \end{cases}$$

де  $g_\alpha = \frac{I_\alpha \cos \varphi_\alpha}{U_\alpha}$ ;  $b_\alpha = \frac{I_\alpha \sin \varphi_\alpha}{U_\alpha}$ ;  $g_\beta = \frac{I_\beta \cos \varphi_\beta}{U_\beta}$ ;  $b_\beta = \frac{I_\beta \sin \varphi_\beta}{U_\beta}$ ,

$$\dot{U}_\alpha = \dot{U}_A, \dot{U}_\beta = \dot{U}_{BC} / \sqrt{3}, \dot{I}_\alpha = 2\dot{I}_A - \dot{I}_B - \dot{I}_C, \dot{I}_\beta = (\dot{I}_B - \dot{I}_C) / \sqrt{3}.$$

Розглянемо пропорційне регулювання з використанням безпосередньо вимірних значень величин, усереднених на інтервалі 3 с, та пропорційно-інтегральне регулювання, яке може здійснюватися інтегруванням часових залежностей вимірних провідностей  $g_\alpha, g_\beta, b_\alpha, b_\beta$  або розрахованих часових залежностей  $g_1, g_2, b_1, b_2$  чи сформованих часових залежностей вихідних змінних  $b_{BC}, b_{CA}, b_{AB}$  на ковзному інтервалі часу тривалістю 30 с.

На рис. 1 зображено залежності струму зворотної послідовності на ТП-280 до (1) і після (2) регулювання: а – з використанням пропорційного регулювання; б – з використанням пропорційно-інтегрального регулювання. На рис. 2 зображено ті самі залежності на ТП-464.

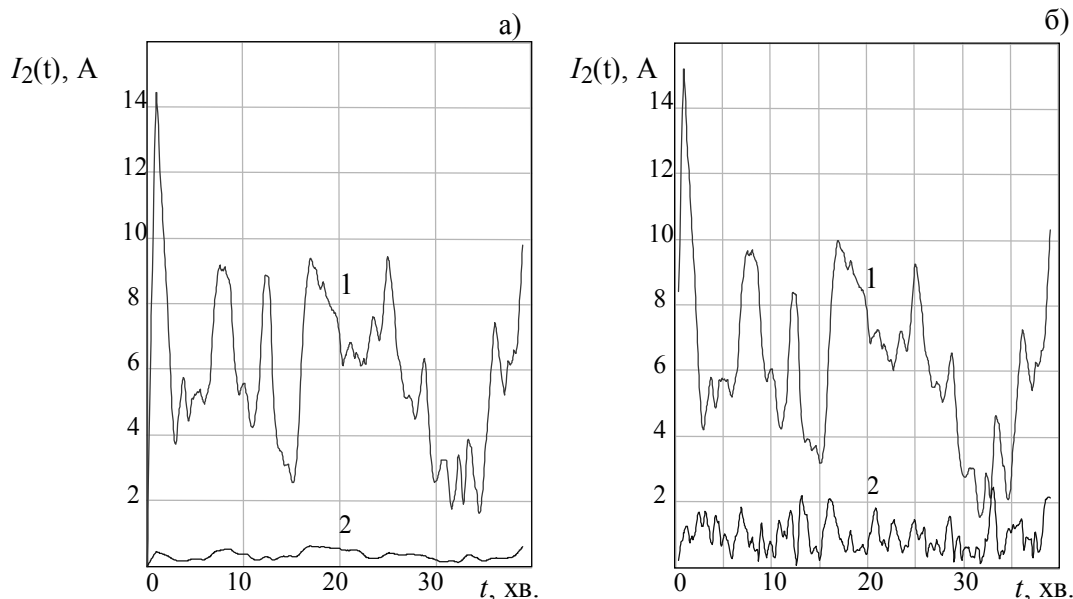


Рис. 1. Струм зворотної послідовності на ТП-280 до (1) і після (2) регулювання:  
а – з використанням пропорційного регулювання;  
б – з використанням пропорційно-інтегрального регулювання

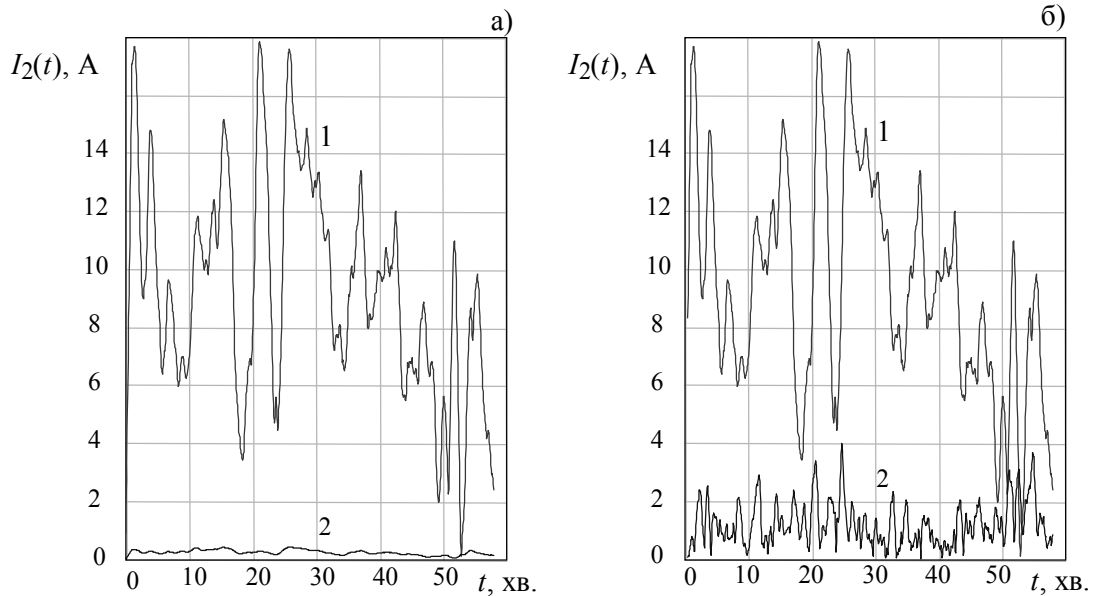


Рис. 2. Струм зворотної послідовності на ТП-464 до (1) і після (2) регулювання:  
а – з використанням пропорційного регулювання;  
б – з використанням пропорційно-інтегрального регулювання

З наведених залежностей випливає, що пропорційне регулювання забезпечує вищу точність, ніж пропорційно-інтегральне, що пояснюється меншим запізненням регулювальних дій. Однак, як видно з рис. 3, за пропорційного регулювання залежності керованих провідностей СП повинні змінюватися значно різкіше, що ускладнює реалізацію силової частини симетрувального пристрою.

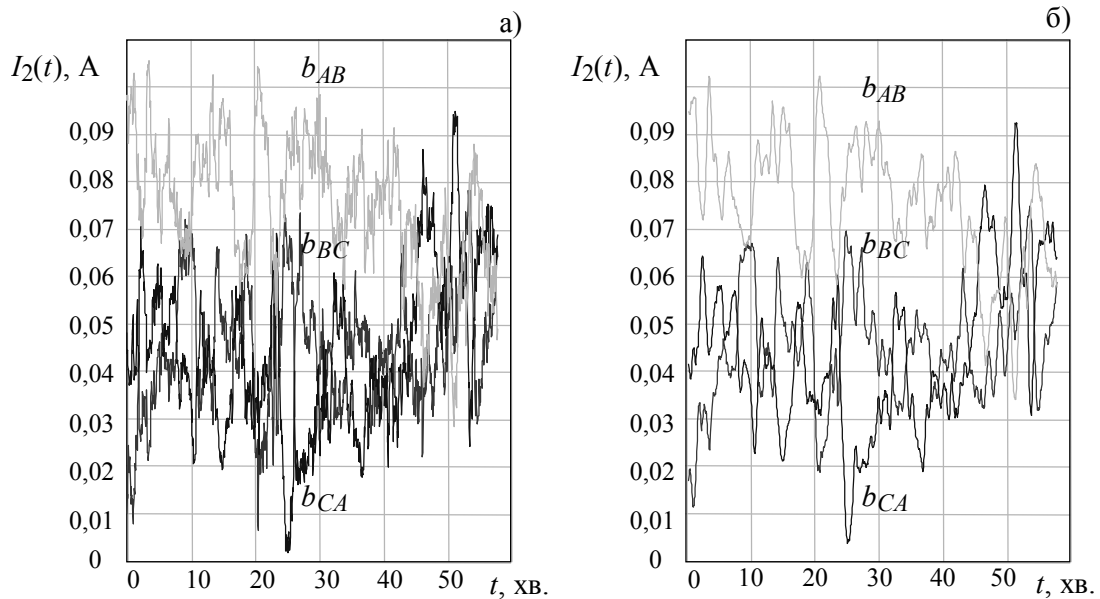


Рис. 3. Залежності керованих провідностей симетрувального пристрою на ТП-464:  
а – з використанням пропорційного регулювання;  
б – з використанням пропорційно-інтегрального регулювання

Моделювання пропорційно-інтегрального регулювання виконано з використанням ковзного вікна тривалістю 30 с. Подальше збільшення тривалості інтегрування приводить до істотного зменшення точності симетрування.

Аналіз впливу дискретності регулювання СП виконано з використання двоступеневого СП із співвідношенням провідностей 1: 2. На рис. 4 зображено залежності струму зворотної послідовності на ТП-280 (а) і ТП-464 (б) до (1) і після (2) регулювання за пропорційного регулювання. На рис. 5 зображено аналогічні залежності за пропорційно-інтегрального регулювання.

З порівняння рис. 4 та рис. 5 випливає, що використання пропорційного чи пропорційно-інтегрального регулювання істотно не впливає на точність симетрування за дискретного характеру регулювання. З наведених залежностей також випливає, що дискретність СП істотно знижує якість симетрування. Використання СП із співвідношенням провідностей 1: 2 на ТП-280 не забезпечує необхідної точності симетрування. Що стосується ТП-464, то такий пристрій в принципі може бути використаний,

оскільки струм зворотної послідовності зменшується вдвічі. Хоча значно кращим є використання співвідношення провідностей 1: 2: 4.

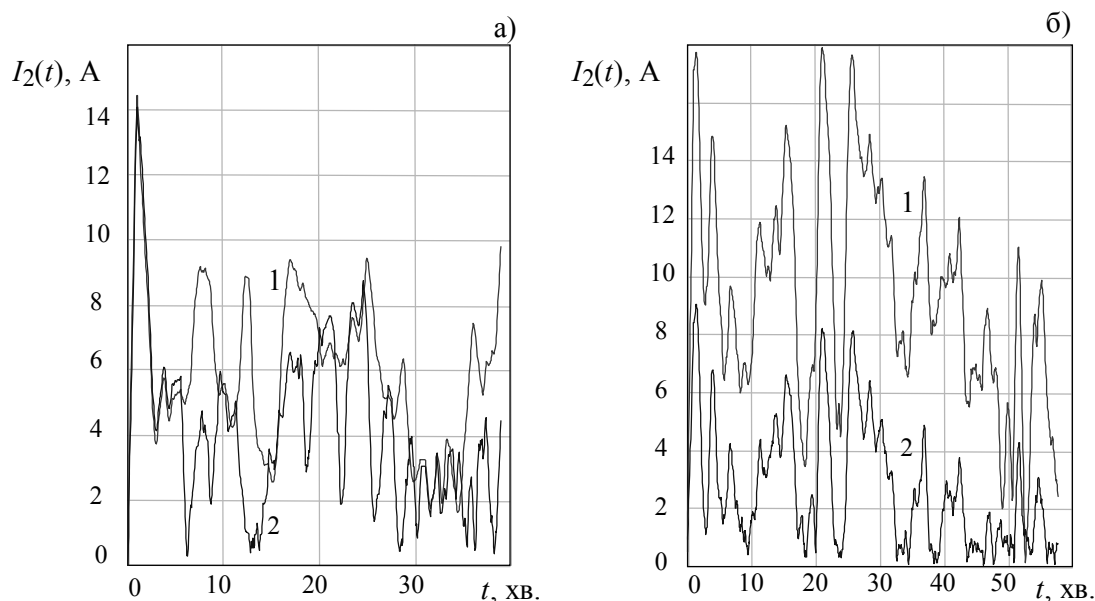


Рис. 4. Струм зворотної послідовності на ТП-280 (а) і ТП-464 (б) до (1) і після (2) пропорційного регулювання

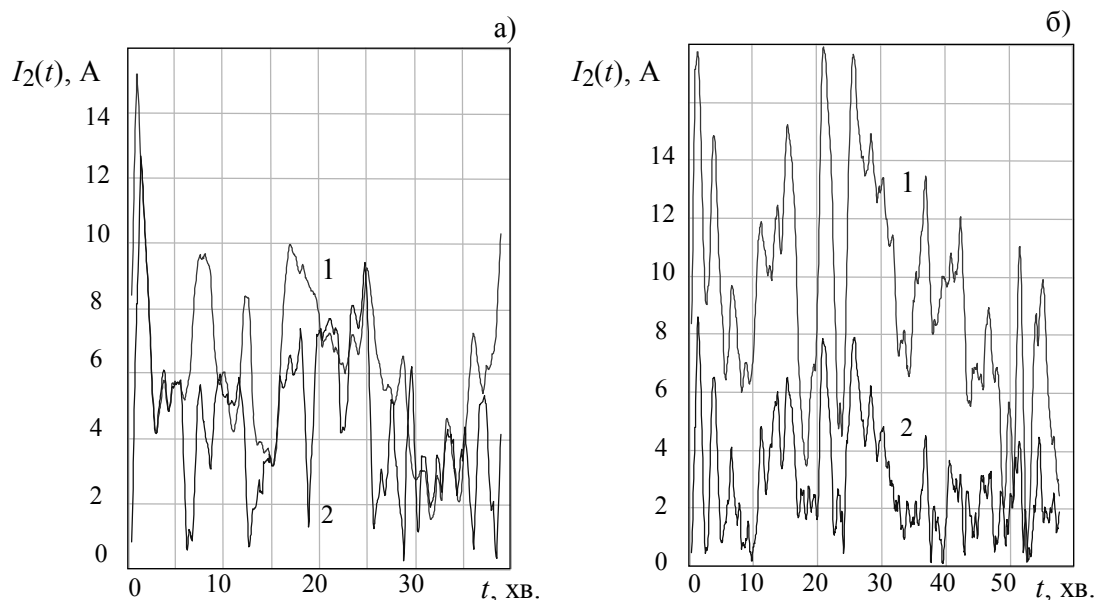


Рис. 5. Струм зворотної послідовності на ТП-280 (а) і ТП-464 (б) до (1) і після (2) пропорційно-інтегрального регулювання

### Висновки

Проаналізовано алгоритми керування несиметрією режиму для розподільних мережах енергопостачальних компаній в реальному часі за випадкового характеру навантажень. Показано, що доцільним є усереднення поточних значень складових струму зворотної послідовності на інтервалі часу 30 с. У разі застосування дискретно-регульованих СП бажано використовувати установки із співвідношенням провідностей 1: 2: 4.

### Літератури

1. Кузнецов В. Г. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях / В. Г. Кузнецов, А. С. Григорьев, В. Б. Данилюк – К.: Наукова думка, 1992. – 240 с.
2. Аввакумов В. Г. Методы нескальной оптимизации и их приложения / В. Г. Аввакумов. – К.: Вища школа, 1990. – 188 с.
3. Бурбело М.Й. Квазізрівноважені вимірювальні канали для симетрувальних установок: Монографія / М.Й. Бурбело, О. В. Бабенко – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2009. – 96 с.

Надійшла до редакції  
16.11.2010 р.