

АНАЛІЗ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ШВИДКОДІЮЧИХ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦІЙНИХ УСТАНОВОК СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА УМОВ НЕСИНУСОЇДНОСТІ

© Бурбело М.Й., Бабенко О.В., 2005

Запропоновано варіанти структурних схем вимірювального каналу швидкодіючої вимірювальної системи установок симетрування навантажень. Проаналізовано похибки симетрування електричних навантажень за умов несинусоїдності.

Variants of block diagrams for measuring channel of high operating measuring system of balancing plants are proposed. Balancing errors of electric loads at non-sinusoidal condition are analyzed.

Як інформативний параметр в компенсаційних установках симетрування навантажень рекомендується [1, 2] використовувати зворотну складову пульсуючої потужності $\underline{N}_2 = 3\dot{U}_1\dot{I}_2$. Формувати вектор керування можна у вигляді [3–7]

$$b_{BC} = \frac{1}{3}[b_1 - 2b'_2];$$

$$b_{CA} = \frac{1}{3}[b_1 + b'_2 - \sqrt{3}g'_2];$$

$$b_{AB} = \frac{1}{3}[b_1 + b'_2 + \sqrt{3}g'_2],$$

де b_{BC}, b_{CA}, b_{AB} – провідності секцій конденсаторних батарей, що забезпечують повну компенсацію реактивної потужності і одночасно симетрування навантажень; $b_1 = Q/U^2$ – реактивна провідність прямої послідовності трифазного навантаження (де Q – реактивна потужність трифазного навантаження, U – діюче значення лінійної напруги мережі); $g'_2 = \text{Re}\underline{S}'_2/U^2$, $b'_2 = \text{Im}\underline{S}'_2/U^2$ – активна та реактивна умовні провідності зворотної послідовності трифазного навантаження (де \underline{S}'_2 – комплексна умовна потужність зворотної послідовності трифазного навантаження $\underline{S}'_2 = 3\dot{U}_1^* \dot{I}_2^*$, а \dot{U}_1, \dot{I}_2 – комплексні напруга прямої та спряжений струм зворотної послідовностей трифазного навантаження. За симетричної системи напруг $\underline{S}'_2 = \underline{N}_2^*$).

Отримані значення провідностей фаз конденсаторної установки у разі їх увімкнення забезпечують повну компенсацію реактивної потужності та одночасно симетрування навантажень за малих спотворень синусоїдної форми напруг та струмів.

Постановка завдання

За умови дії напруг та струмів із значними спотвореннями форми виникає похибка симетрування, яка залежить від структурної схеми вимірювальної системи і виконуваних перетворень інформативних параметрів. Ставиться задача аналізу похибок симетрування трифазних навантажень за умов несинусоїдності.

Обґрунтування результатів

Структурна схема вимірювальної системи (рис. 1) містить: фільтр струмів (ФС), два канали вимірювального перетворення (КП₁, КП₂) та мікроконтролер (МК) [6, 7].

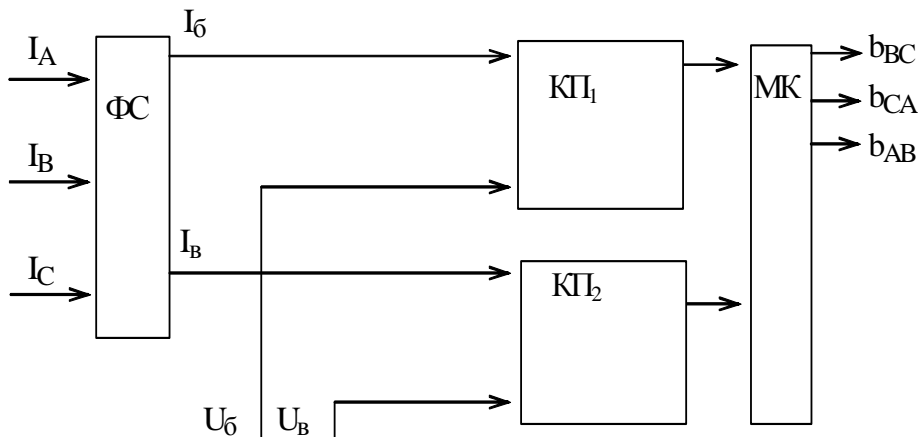


Рис. 1. Структурна схема вимірювальної системи для компенсаційних установок симетрування

Розглянемо три варіанти реалізації вимірювальних каналів під час побудови швидкодіючої вимірювальної системи.

На рис. 2 зображено структурну схему запропонованого першого варіанта вимірювального каналу системи з використанням перетворень диференціювання або інтегрування струму для отримання уявних складових. Вимірювання дійсних складових відрізняється відсутністю перетворень диференціювання або інтегрування струму. На схемі прийнято такі позначення: ДФО (ІФО) – диференціувальний(інтегрувальний) фазообертач, $K_1 - K_3$ – ключі, I_1, I_2 – інтегратори, $КН_1, КН_2$ – компаратори напруги, РЛ – реверсивний лічильник, ГТІ – генератор тактових імпульсів, БК – блок керування.

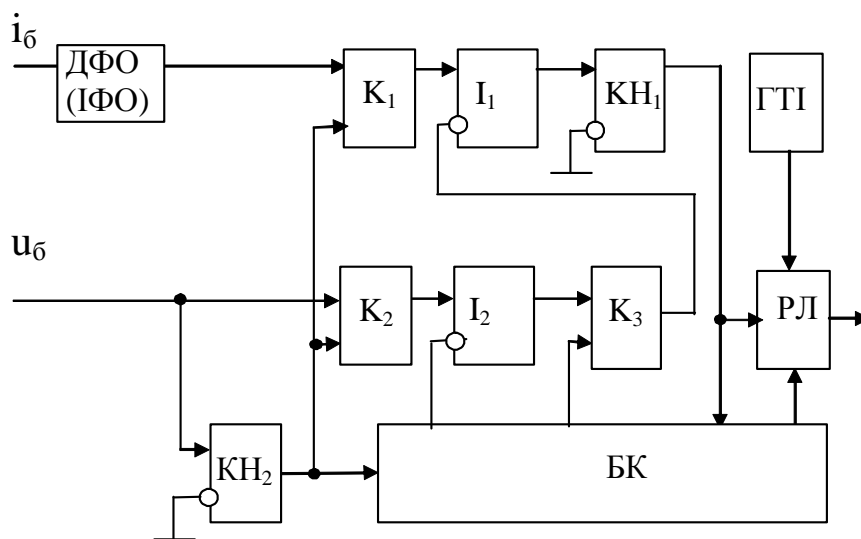


Рис. 2. Структурна схема першого варіанта вимірювального каналу швидкодіючої вимірювальної системи

Опишемо роботу елементів схеми під час визначення уявної складової провідності b_α каналу вимірювання α - складових за умови використання диференціувального фазообертача:

- за допомогою диференціувального фазообертача ДФО формується напруга, що пропорційна до похідної $i'_\alpha = \frac{d}{dt} i_\alpha(t)$ складової струму i_α ;

- після закінчення першого такту інтегрування на виходах інтеграторів I_1, I_2 значення величин будуть такими:

$$I'_\alpha = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \tau_D i'_\alpha(t) dt; U_\alpha = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} u_\alpha(t) dt,$$

де t_1, t_2 – моменти часу, що відповідають нульовим значенням u_α упродовж півперіоду; τ_D – стала часу диференціювання;

– розраховують значення $b_\alpha = \frac{I'_\alpha}{U_\alpha}$.

Вимірювання дійсної складової провідності g_α відрізняється відсутністю ДФО і зводиться до формування величин

$$I_\alpha = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} i_\alpha(t) dt, U_\alpha = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} u_\alpha(t) dt$$

на виходах інтеграторів I_1, I_2 та розрахунку складової провідності $g_\alpha = \frac{I_\alpha}{U_\alpha}$.

Для каналу вимірювання β -складових алгоритм аналогічний. Формуються величини

$$I'_\beta = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \tau_D i'_\beta(t) dt; I_\beta = \frac{1}{T} \int_{t_3}^{t_4} i_\beta(t) dt; U_\beta = \frac{1}{T} \int_{t_3}^{t_4} u_\beta(t) dt,$$

де t_3, t_4 – моменти часу, що відповідають нульовим значенням u_β упродовж півперіоду,

– визначають провідності

$$b_\beta = \frac{I'_\beta}{U_\beta}; g_\beta = \frac{I_\beta}{U_\beta}.$$

Симетричні складові провідностей навантаження $b_1 = 0,5(b_\alpha + b_\beta)$; $g'_2 = 0,5(g_\alpha - g_\beta)$; $b'_2 = 0,5(b_\alpha - b_\beta)$ розраховують за допомогою мікроконтролера МК.

У разі використання інтегрувального фазообертача ІФО (для каналу обробки α -складових) формують величини

$$I_\alpha = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} i_\alpha(t) dt; I''_\alpha = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{\tau_I} \int i_\alpha(t) dt \right) dt; U_\alpha = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} u_\alpha(t) dt,$$

де τ_I – стала часу інтегрування. Визначають відношення $g_\alpha = \frac{I_\alpha}{U_\alpha}$, $b_\alpha = \frac{I''_\alpha}{U_\alpha}$.

На рис. 3, б зображено залежності коефіцієнта зворотної складової відповідно струму та напруги основної гармоніки як функцій коефіцієнта потужності за умов несинусоїдності у разі використання диференціовального фазообертача, а на рис. 4 – у разі використання інтегрувального фазообертача. Розрахунки виконувалися для електричної мережі напругою 10 кВ для однофазних та двофазних навантажень споживача, з потужністю фази 1,1 МВт з урахуванням значення коефіцієнта п'ятої гармонічної складової (4%) і сьомої гармонічної складової (3%) від основної гармоніки напруги живлення, що відповідає вимогам ГОСТу 13109–97. Опір лінії електропередавання прийнято $\underline{Z}=1+j2$ Ом.

З графіків, які зображені на рис. 3 і рис. 4, випливає, що коефіцієнт зворотної послідовності струму основної гармоніки досягає 5%, а коефіцієнт зворотної послідовності напруги – 0,2%. Це часто не задовольняє вимоги практики.

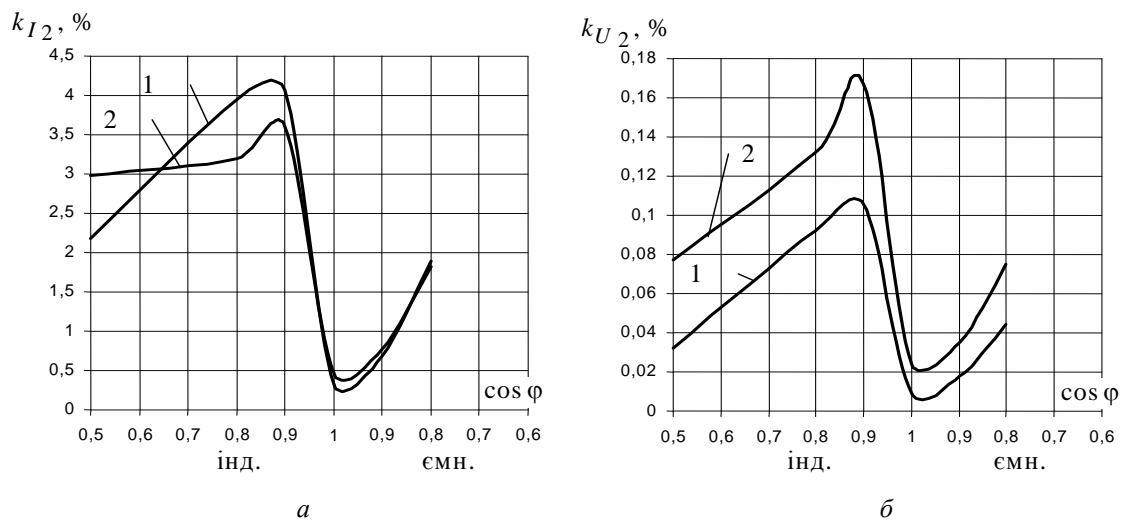


Рис. 3. Графіки залежностей зворотної складової струму (а) та напруги (б) у разі використання диференціювального фазообертача

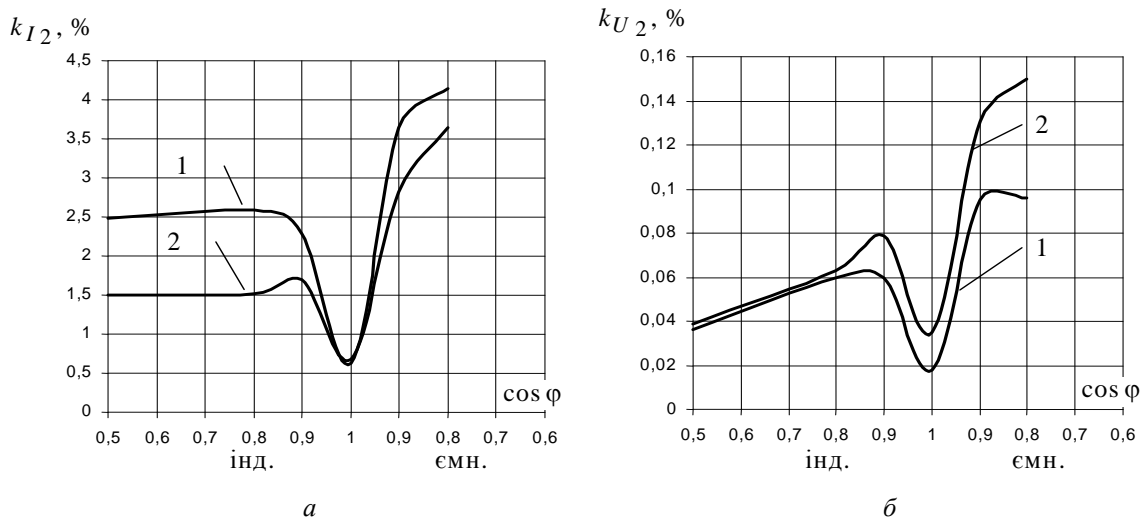


Рис. 4. Графіки залежностей зворотної складової струму (а) та напруги (б) у разі використання інтегрувального фазообертача

Ортогональність векторів напруг u_α та u_β дає змогу розширити кількість інформативних параметрів вимірювальних систем симетрування трифазних навантажень. Розглянемо другий варіант вимірювального каналу, в основу роботи якого покладено алгоритм з формуванням таких інтегральних значень:

$$I_\alpha = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} i_\alpha(t) dt, \quad U_\alpha = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} u_\alpha(t) dt, \quad I_\beta''' = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} -i_\beta(t) dt;$$

$$I_\beta = \frac{1}{T} \int_{t_3}^{t_4} i_\beta(t) dt, \quad U_\beta = \frac{1}{T} \int_{t_3}^{t_4} u_\beta(t) dt, \quad I_\alpha''' = \frac{1}{T} \int_{t_3}^{t_4} i_\alpha(t) dt.$$

та визначенням провідностей

$$g_\alpha = \frac{I_\alpha}{U_\alpha}; \quad b_\alpha = \frac{I_\alpha'''}{U_\alpha}; \quad g_\beta = \frac{I_\beta}{U_\beta}; \quad b_\beta = \frac{I_\beta'''}{U_\beta}.$$

На рис. 5 зображено залежності коефіцієнта зворотної складової відповідно струму та напруги основної гармоніки як функції коефіцієнта потужності у разі застосування такого алгоритму.

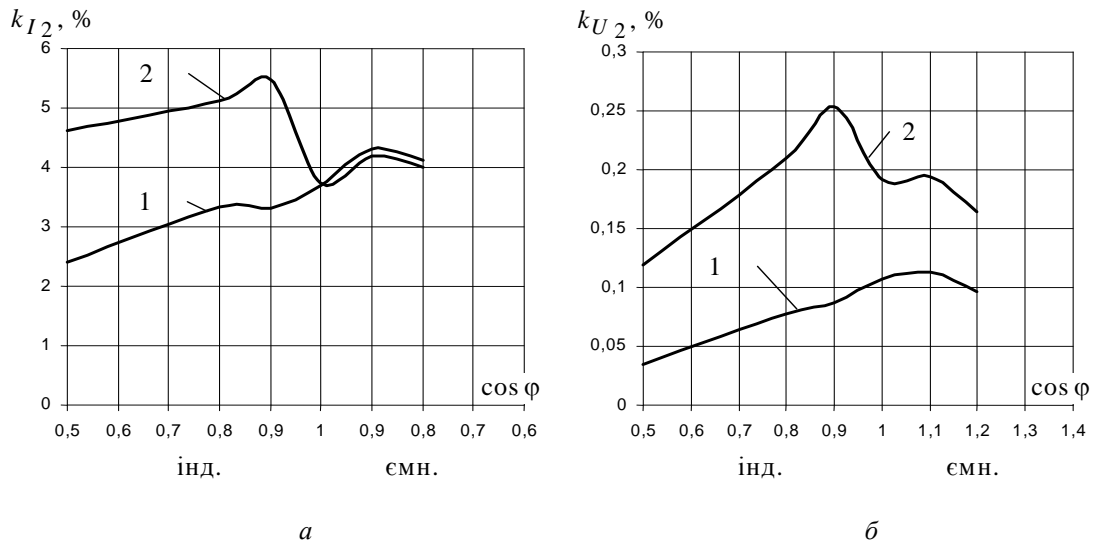


Рис. 5. Графіки залежностей зворотної складової струму (а) та напруги (б) у разі використання ортогональності векторів напруг u_ω , u_β

З графіків видно, що похибки ще більші, ніж в попередньому випадку. Проте в такій системі відсутні диференціальні або інтегровальні фазообертачі, що дещо спрощує їх реалізацію.

Недоліком розглянутих варіантів вимірювальних каналів швидкодіючої системи є низька точність за умов несинусоїдності. Істотне підвищення точності можна забезпечити, увівши інтегровальні фазообертачі ІФО₁, ІФО₂ одночасно в кола перетворення напруги та струму (рис. б), що є характерною особливістю третього запропонованого варіанта. Для отримання уявних складових провідностей інтегровальний фазообертач ІФО₁ в колі перетворення струму відсутній.

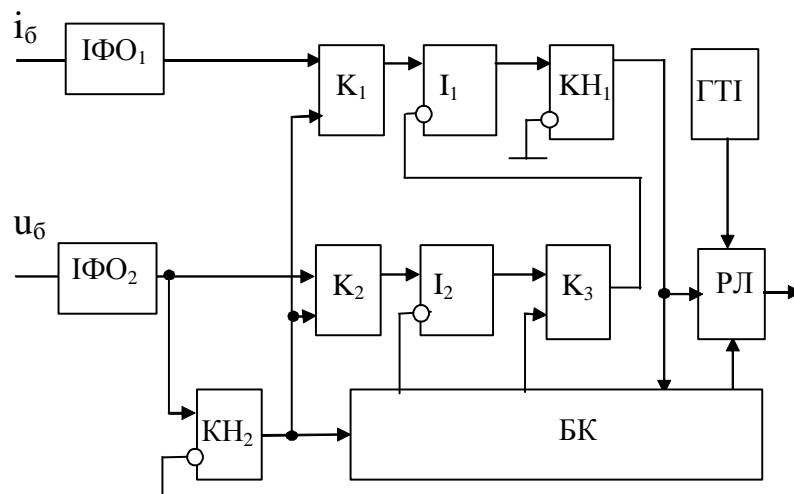


Рис. 6. Структурна схема третього варіанта вимірювального каналу швидкодіючої вимірювальної системи з використанням двох інтегровальних фазообертачів

На рис. 7 зображено залежності коефіцієнта зворотної складової відповідно струму та напруги основної гармоніки як функцій коефіцієнта потужності у разі використання двох інтегровальних фазообертачів.

Отримане значення струму зворотної послідовності не перевищує 0,3 %, а коефіцієнт зворотної послідовності напруги основної гармоніки – 0,01%. Допустиме значення коефіцієнта зворотної складової напруги згідно з ГОСТом 13109-97 становить 2 %. Отже, вказане значення струму та напруги зворотної послідовності вимоги задовольняє.

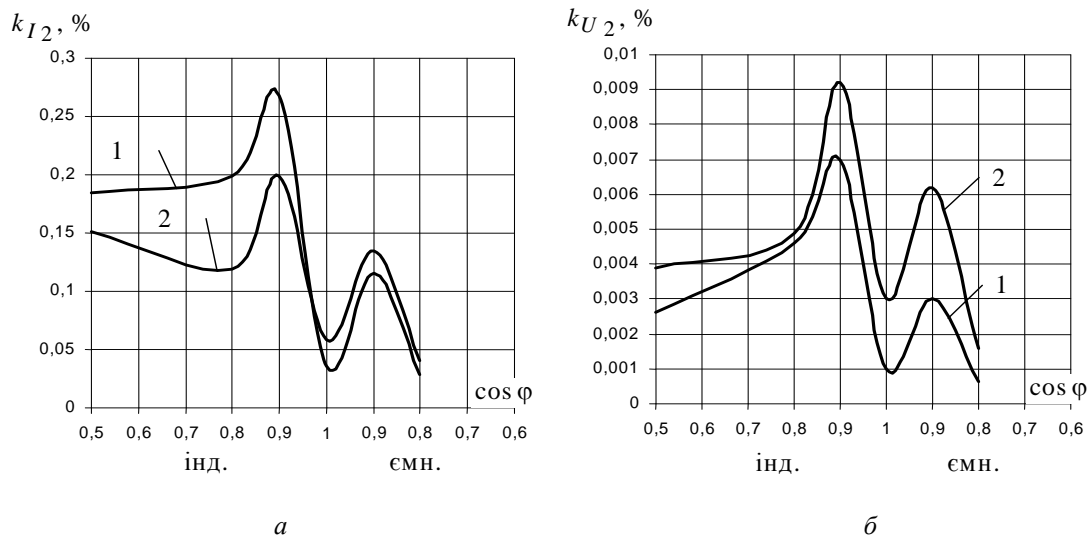


Рис. 7. Графіки залежностей зворотної складової струму (а) та напруги (б) у разі використання двох інтегральних фазообертачів

Разом з тим, недоліком швидкодіючих систем з використанням інтегральних фазообертачів є залежність результатів вимірювань від фазового зсуву інтервалу інтегрування. Проаналізуємо похибки, що виникають внаслідок зсуву інтервалу інтегрування тривалістю π відносно моменту переходу через нульове значення основної гармоніки напруги на $\pi/360$ за умов несинусоїдності (рис. 8).

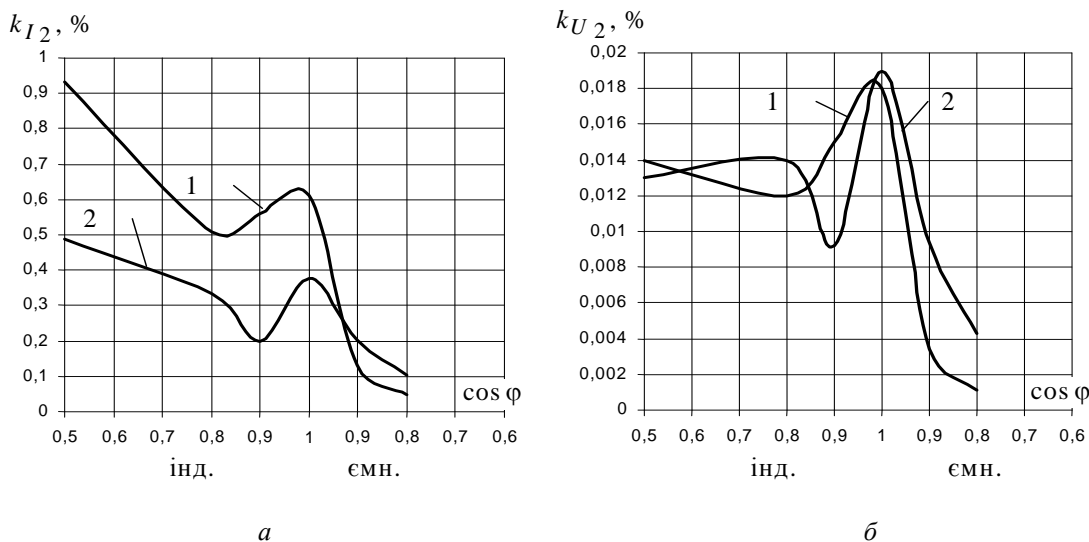


Рис. 8. Графіки залежностей зворотної складової струму (а) та напруги (б) за наявності зсуву інтервалу інтегрування на $\pi/360$

Як впливає із аналізу наведених залежностей, у такому разі коефіцієнт зворотної послідовності струму основної гармоніки збільшується (до 1%), а коефіцієнт зворотної послідовності напруги основної гармоніки збільшується до 0,02%, що можна вважати допустимим.

Висновки

Проаналізовано похибки симетрування навантажень за умов несинусоїдності. Показано, що коефіцієнт зворотної послідовності струму може не перевищувати 1 %, якщо напруга живлення містить, крім основної гармоніки, п'яту гармоніку, що становить 4 %, та сьому гармоніку, що становить 3 %. Якщо опір лінії електропередавання становить $Z=1+j2$ Ом, то коефіцієнт зворотної послідовності основної гармоніки напруги не буде перевищувати 0,02%.

1. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. – К., 1985. 2. Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора / Минэнерго СССР. – М., 1986. 3. Квазі-компенсаційні вимірювальні пристрої для регуляторів реактивної потужності / М.Й. Бурбело, Б.С. Рогальський, В.М. Непійвода, С.І. Вознюк // *Енергетика и электрификация*. – 2001. – №6. – С. 29–33. 4. Пат. 64831 Україна. МКИ Н02J 3/26. Пристрій для автоматичного симетрування струмів і стабілізації заданого коефіцієнта потужності трифазної системи: Пат. 64831 Україна. МКИ Н02J 3/26 / М.Й. Бурбело, Б.С. Рогальський, В.О. Іванков, В.Ф. Сайченко (Україна). – №2001075285; Заявлено 24.07.01. Опубл. 15.03.04. Бюл. №3. 5. Бурбело М.Й. Квазікомпенсаційні вимірювальні перетворювачі для пристроїв симетрування трифазних навантажень // *Енергетика и электрификация*. – 2001. – №12. – С. 26–28. 6. Бурбело М.Й., Бірюков О.О., Бабенко О.В. Вимірювальна система для компенсаційних установок симетрування трифазних навантажень // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2002. – №2. – С. 92–95. 7. Бурбело М., Бабенко О. Вимірювальна система для компенсаційних установок симетрування швидкозмінних навантажень трифазних споживачів // *Промислова електроенергетика та електротехніка*. – 2003. – №5. – С. 25–27.

УДК 681.32

Я.В. Гапонюк

Фізико-механічний інститут НАН України

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРА ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИМ МЕТОДОМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СТРУКТУРОВАНОГО ОСВІТЛЕННЯ

© Гапонюк Я.В., 2005

Розглянуто один із методів розв'язання задачі визначення діаметра циліндричної труби для неперервного контролю її технологічних розмірів у ході виготовлення із застосуванням безконтактних оптико-електронних засобів формування зображення видимої поверхні труби в умовах структурованого освітлення.

It is considered one method of cylinder tube diameter determination for uninterrupted measurements monitoring during manufacture process by implementing of non-contact optic-electronic devices for tube visible surface image forming in the structural lighting conditions.

1. Постановка проблеми

В умовах неперервного виробничого циклу виготовлення виробів циліндричної форми, наприклад, циліндричних труб, методом видавлювання, або циліндричних заготовок під час токарних робіт, виникає задача постійного контролю певних технологічних розмірів циліндричних виробів, таких, як діаметр та стан поверхні виробу, наприклад, наявність або відсутність поверхневих дефектів. Використання відомих механічних засобів контролю діаметра циліндрів практично унеможливує неперервність виконання робіт, вимагає присутності оператора та робить контроль достатньо трудомістким. Відомі оптико-електронні автоматичні системи значною мірою вирішують завдання неперервності контролю, проте їх виготовлення вимагає застосування прецизійних оптичних, механічних та(або) електронних компонентів, індивідуального або дрібносерійного виготовлення, кваліфікованих пусконаладжувальних робіт, що і визначає достатньо високі ціни на таке устаткування, понижену надійність та довговічність. Крім того, оптико-електронні системи визначення діаметра труб побудовані здебільшого на основі тіньового методу, що дає змогу говорити про наявність дефектів тільки в тій області поверхні, яка збігається з контрольованим контуром циліндра.