

УДК 621.314.632

А.П. СІНОЛИЦЬЙ, д-р техн. наук, проф., В.А. КОЛЬСУН, канд. техн. наук, доц.,  
В.С. КОЗЛОВ, магістрант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧА ДЛЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОПОКАЗНИКІВ

Наведено математичний апарат системи ідентифікації енергетичної моделі електроспоживачів, що розширює можливості нетрадиційних систем контролю та обліку енергетичних показників. Проведено оптимізацію математичних викладок для сучасних цифрових мікропроцесорних систем. Для прикладу обраховано еталонні значення критеріїв ідентифікації для типових промислових трифазних споживачів електроенергії.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Якісна та кількісна оцінка стану енергоефективності мережі та споживачів електроенергії є важливим етапом концепції енергозбереження, що передуює прийняттю нових організаційних та технічних заходів. Відомі спрощені системи технологічного контролю здатні вирішити задачу наближеної оцінки стану енергетичних показників електричної системи живлення та споживачів електроенергії. Одним із суттєвих недоліків таких систем є необхідність попереднього визначення енергетичної моделі електроспоживача. Запропонована система ідентифікації надасть змогу створити зазначені системи більш універсальними та автоматизованими.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Більшість систем контролю та обліку показників електроспоживання ґрунтуються переважно на визначенні активної і реактивної потужності (енергії) за допомогою електронних лічильників достатньо великої вартості. Необхідність застосування спрощених систем технологічного контролю, як більш перспективних, зазначена в [1]. Теоретичну базу для окремих силових енергоємних споживачів розроблено [2,3] та практично реалізовано [4].

**Постановка завдання.** При вирішенні проблеми ідентифікації необхідно розробити математичний апарат з урахуванням складності технічної реалізації останнього. Математичний апарат повинен бути максимально простими та адаптованими до використання у цифрових системах. Апаратні затрати ідентифікації не повинні перевищувати затрати на обчислення основного алгоритму технологічного контролю енергопоказників. Враховуючи незмінність енергетичної моделі протягом тривалого часу, ідентифікація має змогу відбутися один раз після включення системи або повторюватися через великі відносно періоду мережі живлення інтервали часу. Кількість критеріїв ідентифікації необхідно обирати за умови отримання максимально достовірного результату, враховуючи час ідентифікації як вторинну умову.

**Викладення матеріалу та результати.** Одним із розповсюджених способів ідентифікації об'єкту є порівняння сигналу відповіді останнього на дію вхідного сигналу з чітко визначеними параметрами. Звідси електричну систему навантаження можна розглядати як окремих об'єкт, що генерує сигнал відповіді (струм) на деякий первинний вхідний сигнал (напругу). Запропонована система використовує в якості еталонного сигналу напругу мережі за умови

$$K_c \rightarrow 1, \quad (1)$$

де  $K_c$  - коефіцієнт спотворення.

Такий підхід має перевагу: відсутність втручання у роботу приладу.

Опираючись на теорію розпізнавання образів [5,6] виділимо критерії ідентифікації, попередньо врахувавши особливості електричної природи досліджуваних систем:

вихідні сигнали струму та напруги періодичні та мають частоту 50 Гц, або близьку до неї - 25 Гц, 60 Гц залежно від типу мережі живлення;

амплітуда, та в загальному випадку форма сигналу, може змінюватися через декілька періодів напруги мережі;

сигнал за першу половину періоду може симетрично напрямку повторювати сигнал другої половини періоду. Іншими словами, вимірвальний сигнал може бути близьким до гармонічного синусоїдного сигналу.

Основні запропоновані критерії ідентифікації:

коефіцієнт спотворення  $K_c$ ;  
 похідна від сигналу для стандартної дискретизації;  
 похідна від сигналу для низької дискретизації;  
 відсоток заповнення прямокутника, в який вписано форму вимірюного сигналу;  
 Допоміжні критерії :  
 відстань між характерними точками;  
 перевірка на симетричність за 6-ма точками;  
 виявлення прогинів у формі інтерпретованого графічного образу, тощо.

Залежно від кількості критеріїв ідентифікації буде змінюватися достовірність результату. Чим більше критеріїв, тим більша достовірність та менша швидкість розпізнавання. Звідси поділ на основні та допоміжні критерії є умовним. Враховуючи поставлену задачу необхідно застосувати якомога більше критеріїв, але, як буде показано нижче, у разі одиничного споживача електроенергії для вдалої ідентифікації достатньо використати критерії, названі вище основними. Зазначимо, що всі дії виконуються над сигналом струму мережі. Приведемо детальний опис зазначених основних критеріїв.

Коефіцієнт спотворення можна обчислити за виразом

$$K_c = I_{(1)} / \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_{(n)}^2} \quad (2)$$

Але необхідне для цього перетворення Фур'є займає багато машинного часу та не є раціональним для пошуку коефіцієнту спотворення навіть у разі використання адаптованих для мікропроцесорних системи алгоритмів швидкого перетворення Фур'є. Тому пропонується обчислювати коефіцієнт спотворення за такою формулою

$$K_c = \int_0^{2\pi} (A_1 \cdot \sin(\omega t))^2 dt / \int_0^{2\pi} (I(\omega t))^2 dt, \quad (3)$$

де  $A_1$  – амплітуда першої гармоніки, знайдена через ковзаюче дискретне перетворення Фур'є, суть якого розкрито нижче;  $I(\omega t)$  - неперервний вихідний сигнал.

Слід врахувати, що

$$\int_0^{2\pi} (A_1 \sin(\omega t))^2 dt = A_1^2 \pi. \quad (4)$$

Для дискретних систем  $\pi=N/2$ . Зазначимо, що ділення на число? яке є результатом піднесення двійки в ступінь  $N$ , де  $(N \in \mathbf{N})$ , є одною з найпростіших операцій для мікропроцесорних систем та полягає у побітовому зсуві числа вправо (вліво) на константу  $Z=\log_2 N$ . Тому переписуємо формулу (3) так

$$K_c = \frac{A_1^2}{\frac{2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} (I_{(n)})^2}. \quad (5)$$

Кінцева формула для мікропроцесорних систем через операцію зсуву виглядає так

$$K_c = \frac{A_1^2}{\sum_{n=0}^{N-1} (I_{(n)})^2} \gg \log_2 N. \quad (6)$$

Амплітуду та фазу першої гармоніки пропонується знаходити через дискретне перетворення Фур'є для однієї гармоніки:

$$X_{(1)} = \sum_{n=1}^k I_{(n)} \cdot e^{\frac{2\pi \cdot n \cdot i}{k}}, \quad (7)$$

де  $X_{(1)}$  - комплексне значення першої гармоніки;  $k$  – кількість точок вимірюного сигналу.

Значення амплітуди та фази першої гармоніки можна обчислювати будь-яким способом, але вище приведене ковзаюче дискретне перетворення Фур'є не потребує значної апаратної підтримки та перераховується на кожному наступному такті дискретизації у реальному часі.

Похідна від сигналу при стандартній частоті дискретизації обчислюється, враховуючи наступне: для дискретних систем похідну замінюють різницею

$$\frac{d(i)}{dt} = \frac{I_{n+1} - I_n}{\Delta t}, \quad (8)$$

де  $i$  - вихідний неперервний сигнал;  $I_{n+1}$  та  $I_n$  - поточне та попереднє дискретні значення вимірюваного сигналу;  $\Delta t$  - величина кванту часу, що для дискретної системи дорівнює 1.

Тоді формула, адаптована для цифрових систем буде мати вигляд

$$d = \left( \sum_{n=0}^k |I_{(n)}| \right)^2 / 1000 \cdot \sum_{n=1}^k (I_{(n+1)} - I_{(n)})^2. \quad (9)$$

Фізично похідна від струму є швидкість зміни сигналу струму на кожному такті вимірюваного сигналу. Піднесення у квадрат застосовано для зменшення впливу малих змін сигналу відносно великих змін. Цей захід можна трактувати як зменшення впливу випадкових завод на канал виміру.

Похідна від сигналу при низькій дискретизації обчислюється за формулою

$$d = \left( \sum_{n=0}^k |I_{(n)}| \right)^2 / 1000 \cdot \sum_{n=1}^m \left( I_{\left(\frac{k}{m}n + \frac{k}{m}\right)} - I_{\left(\frac{k}{m}n\right)} \right)^2, \quad (10)$$

де,  $l=k/m$ ,  $l \in N$ .

У деякому сенсі даний критерій можна трактувати як підсумовуючу оцінку критерію пошук кутів у інтерпретованому графічному образі.

Відсоток заповнення прямокутника знаходимо за формулою

$$s_{(n)} = \frac{\sum_{j=\frac{k}{m}n}^{\frac{k}{m}(n+1)} I_{(j)}}{I_{\max}(k/m)}, \quad (11)$$

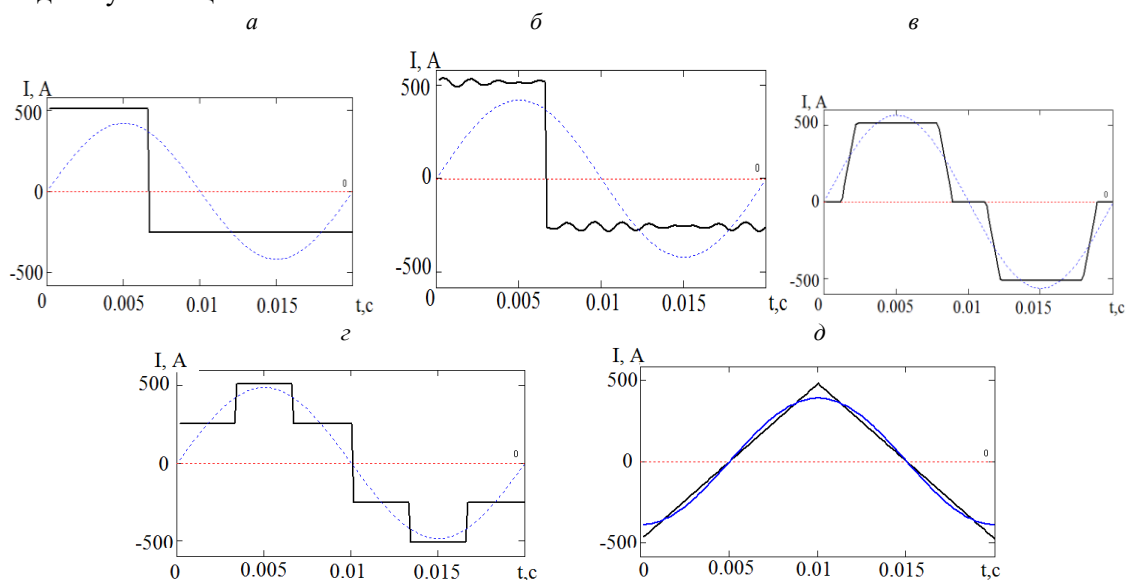
де,  $l=k/m$ ,  $l \in N$ .

Половина вертикальної сторони прямокутника дорівнює максимальному за модулем значенню струму. Площі додатної та від'ємної частин прямокутнику, накладеного на вимірний сигнал, однакові.

Як узагальнений критерій вищенаведеного параметру ідентифікації, для збільшення швидкості, запропоновано обчислювати суму квадратів обчислених площин, тобто

$$sp = \sum_{n=0}^m s_{(n)}^2 \quad (12)$$

Приведемо приклади типових трифазних промислових навантажень та обрахуємо числові значення критеріїв ідентифікації для кроку дискретизації 128 точок на період (рис. 1). Результати зведемо у таблицю.



**Рис. 1.** Перша гармоніка та форми струму первинних обмоток трансформатора: *a* – нульової; *b* – нульової зі спотворенням у каналі виміру; *в* – мостової; *г* – еквівалентної 12-фазної схем випрямлення та *д* – трикутна форма сигналу

Таблиця 1

Характер навантаження, схеми перетворювача	Коефіцієнт спотворення	Оцінка на основі похідної	Оцінка на основі похідної з низькою частотою дискретизації	Оцінка на основі площі заповнення	Симетричність
Трифазна нульова схема випрямлення	0,826	3,211	3,211	1,879	Ні
Трифазна нульова схема випрямлення зі спотворенням	0,823	3,132	3,121	1,887	Ні
Трифазна мостова схема перетворення з активним навантаженням	0,958	1,849	1,849	2,477	Так
Трифазна мостова схема перетворення з індуктивним навантаженням	0,976	12,319	2,23	2,458	Так
Еквівалентна 12-фазна схема перетворення	0,957	3,612	3,612	1,932	Так
Синусоїдальний сигнал	1	43,05	5,45	1,975	Так
Трикутний сигнал	0,993	32,768	4,096	1,154	Так

**Висновки.** Адаптувавши до електричних кіл методи графічної ідентифікації інтерпретованого образу, запропоновано математичний апарат для побудови системи ідентифікації енергоспоживача, що значно підвищує універсальність нетрадиційних систем контролю та обліку енергетичних показників. Запропоновані математичні викладки є відносно простими в аспекті технічної реалізації системи на сучасній мікропроцесорній базі. Система ідентифікації має низьку чутливість до завад у каналі виміру. Це дає змогу використовувати для виміру сигналу відносно дешеві датчики струму.

#### Список літератури

1. **Кумаков Ю.А.** Оценка показателей качества электрической энергии в цифровых системах управления силовой электроникой / **Ю.А. Кумаков** // *Электрик*, 2010. - №1-2. - С. 34 – 38.
2. **Сінолиций А.П.**, Нетрадиційні системи автоматизованого контролю та обліку енергетичних показників / **А.П. Сінолиций, В.А. Кольсун, М.В. Жуйков** // *Вісник Криворізького технічного університету*, 2007. – Вип. 17. – С. 138-142.
3. **Сінолиций А.Ф.** Модифицированный метод расчета энергетической эффективности сложных комплексов и систем/ **А.Ф. Сінолиций** // *Академический вестник международной академии компьютерных наук и систем*, 1998. – №2. – С. 90-94.
4. **Сінолиций А.П.** Автоматизована система контролю та обліку енергетичних показників системи живлення групи електроприводів / **А.П. Сінолиций, В.А. Кольсун, В.С. Козлов** // *Вісник Криворізького технічного університету*, 2011. – Вип. 28. – С. 154-156.
5. **В. Н. Вапник** Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения) / **В.Н. Вапник, А.Я. Червоненкис**. - М.: Наука, 1974. - 416 с.
6. [http://citforum.ru/programming/delphi/recognition\\_1/](http://citforum.ru/programming/delphi/recognition_1/)

Рукопис подано до редакції 05.04.12

УДК 624.046.2

О.І. ВАЛОВОЙ, О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, кандидати техн. наук, доц.

М.О. ВАЛОВОЙ, асистент, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

#### ОКРЕМІ ПИТАННЯ РОЗРАХУНКУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПІДСИЛЕНИХ НАРОЩУВАННЯМ

Встановлено залежність між зміною форми поперечного перерізу дослідних балок, яка відбулася під час підсилення, та передчасним їх руйнуванням. Результати узагальнені та зроблені висновки, приведено рекомендації з підвищення несучої здатності таких елементів.

**Вступ.** Реконструкція будівель буває потрібною в багатьох випадках наприклад, коли змінюють функціональне призначення будівлі і як наслідок змінюють його конфігурацію або коли його конструктивні елементи, під час експлуатації, набули ушкоджень, які не дозволяють надалі безпечно експлуатувати будівлю. Часто під час реконструкції виникає потреба у збільшенні