

УДК 621.314.632

## МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ СИСТЕМИ ВЕРИФІКАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧА

**А. П. Сінолицький, В. А. Кольсун, В. С. Козлов**

Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»  
вул. XXII партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна. E-mail: kolsun\_va@3g.ua

Робота пов'язана з нетрадиційними системами контролю енергетичних характеристик у промислових умовах. Першим кроком таких систем є верифікація енергетичної моделі споживача. Запропоновано здійснювати верифікацію енергетичної моделі за струмом мережі. Подальші розрахунки енергетичних показників обчислюються за спрощеними алгоритмами, що надає такій системі можливість крім контролю енергетичних показників мережі здійснювати ефективне керування системами компенсації неактивних складових потужності.

**Ключові слова:** верифікація, енергетична модель споживача, складові потужності, енергооблік.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ СИСТЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБИТЕЛЯ

**А. Ф. Синолицький, В. А. Кольсун, В. С. Козлов**

Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»  
ул. XXII партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина. E-mail: kolsun\_va@3g.ua

Работа о нетрадиционных системах контроля энергетических характеристик в промышленных условиях. Первый шаг такой системы – верификация энергетической модели энергопотребителя. Предложено верифицировать энергетическую модель по току сети. Дальнейшие расчеты энергетических показателей вычисляются по упрощенным алгоритмам, которые дают такой системе возможность кроме контроля энергетических показателей сети осуществлять эффективное управление системами компенсации неактивных составляющих мощности.

**Ключевые слова:** верификация, энергетическая модель потребителя, составляющие мощности, энергоучет.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Основною складовою концепції енергозбереження є всезагальна та якісна оцінка характеристик енергетичного потоку електричної мережі та під'єднаних до неї споживачів електроенергії. Функцію такої оцінки на вітчизняних підприємствах частіше за все виконують лічильники активної та реактивної енергії, які не мають змоги надати вичерпну інформацію про процеси, що протікають в електричній мережі. Додавши можливість отримання невірних значень неактивних складових потужностей через невизначеність розрахункових формул для лічильників [1] та неможливість прогнозування, ефективність такої оцінки в контексті енергозаощадження є сумнівною.

Відомі дослідження і публікації стосовно розрахунків, обліку та прогнозування якісних характеристик електроспоживання енергоємними установками (комплексами) як вихідної передумови щодо вибору й застосування пристроїв, компенсуючих неактивні складові потужності, ґрунтуються переважно на використанні класичного (традиційного) [3, 7] та нетрадиційного [2] підходів. У першому випадку складна й вартісна технічна реалізація, у другому – неоднозначність математичного апарату і алгоритмів у автоматизованих розрахунках якісних характеристик групи електроспоживачів. Теоретичну базу для низки таких систем у вигляді алгоритму зі спрощеними функціоналами розроблено [4, 5] та практично реалізовано в [6]. Значно розширити можливості вищезгаданих систем мають можливість системи автоматичної верифікації типу споживача, мережі тощо. Схожі системи машинного зору, параметричної та структурної ідентифікації вдало виконують низку технічних задач [8]. Більшість досліджень і публікацій стосовно вказаної проблеми, включно з традиційними [7] та нетрадиційними [2] підходами, стосується технічних засобів та математичного опису енергопроцесів (складових повної

потужності, енергетичних коефіцієнтів, втрат і т.п.) і в багатьох випадках не мають безпосереднього зв'язку з компенсаційними пристроями або системами. Така невизначеність та складність згаданих пристроїв призводить до необхідності застосування нетрадиційних алгоритмів контролю, обліку та компенсації енергопоказників [3].

Головна задача системи верифікації – поставити у відповідність до досліджуваного об'єкту еталонний об'єкт з відомою математичною структурою. Система верифікації має бути універсальною з точки зору інтеграції до існуючих пристроїв обліку, аналізу та компенсації неактивних складових потужності тощо. З попередньої вимоги витікає необхідність невтручання у технологічний та енергетичний процеси. Математичний апарат зазначеної системи повинен бути максимально простим та адаптованим до використання в цифрових пристроях.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Для верифікації системи поодинокого споживача пропонується використовувати сигнал струму однієї фази мережі за умови синусоїдності напруги мережі живлення, коефіцієнт спотворення якої наближається до одиниці. Критерії верифікації зведено до табл. 1.

Для прийняття рішення щодо вибору найімовірнішої енергетичної моделі пропонується присвоїти кожному критерію ваговий коефіцієнт та на основі останнього обчислювати кінцевий параметр, за мінімумом якого обирати найімовірнішу модель:

$$M = (m_1 k_1 + m_2 k_2 + \dots + m_n k_n) / \sum_{n=1}^p k_n, \quad (1)$$

де  $M$  – кінцевий параметр для вибору найдостовірнішого варіанту;  $k_n$  – ваговий коефіцієнт відповідного критерію;  $m_n$  – параметр, який відображає ймовірність збігу математичної моделі об'єкту з  $n$ -ю еталонною моделлю.

Таблиця 1 – Критерії верифікації

Назва критерію	Формула для обчислення	Пояснення
Симетричність	$A_1 = -B_1, A_2 = -B_2, \dots, A_n = -B_n$	На графічний образ сигналу накладається парна кількість прямих, де $A_n$ та $B_n$ – точки перетину прямих та форми сигналу на першій та другій половинах періоду відповідно
Коефіцієнт спотворення	$K_c = A_{m1}^2 / \left( \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} I_{(n)}^2 \right)$	Обчислюється на основі формули, адаптованої для цифрових систем, де $A_{m1}$ – амплітуда першої гармоніки сигналу, $N$ – кількість точок дискретизації, $I_{(n)}$ – поточне значення струму, $K_c$ – коефіцієнт спотворення
Критерій на основі похідної сигналу [8]	$d = \left( \sum_{n=0}^k  I_{(n)}  \right)^2 / \left( 1000 \sum_{n=1}^k (I_{(n+1)} - I_{(n)})^2 \right)$	Являє собою нормовану середню швидкість зміни сигналу за час, рівний періоду напруги мережі живлення. Піднесення у квадрат застосовано для зменшення впливу на результат малих змін сигналу, якими можуть бути завади каналу виміру. $k$ – кількість точок вимірюваного сигналу
Критерій на основі похідної з низькою частотою дискретизації [8]	$d' = \left( \sum_{n=0}^k  I_{(n)}  \right)^2 / \left( \sum_{n=1}^m (I_{(nk/m+k/m)} - I_{(nk/m)})^2 \right)$	Даний критерій можна порівняти з пошуком кутів на інтерпретованому графічному образі. $m$ – коефіцієнт, що показує, у скільки разів буде зменшено крок дискретизації
Площа заповнення прямокутника [9]	$s_{(n)} = \sum_{j=kn/m}^{k(n+1)/m} I_{(j)} / \left(  I_{max}  \frac{k}{m} \right)$	Графічний образ вписується в прямокутник, половина сторони якого дорівнює максимальному за модулем значенню вимірюваного сигналу струму. Вісь часу ділить прямокутник на дві, рівні за площею, частини. $s_{(n)}$ – поточна частина прямокутника, $I_{max}$ – максимальне значення струму, $k$ та $m$ – множники, що показують, на скільки частин розділено прямокутник, $I_{(j)}$ – поточне значення струму

Для обчислення критерію  $m_n$  пропонується використовувати відносну похибку між значеннями, обчисленими за вищенаведеними критеріями та еталонними значеннями кожної моделі:

$$m_n = \left| (p_{ep} - p_p) / p_{ep} \right|, \quad (2)$$

де  $p_{ep}$  – еталонний параметр;  $p_p$  – досліджуваний параметр.

У такому разі найбільш достовірному критерію відповідатиме мінімальне значення змінної  $M$ :

$$Z = M_{min}, \quad (3)$$

де  $Z$  – результат верифікації системи.

Значну складність викликає верифікація споживачів з різними енергетичними моделями, об'єднаними у групу та працюючими з різним кутом керування, різним рівнем навантаження тощо. Обрахуємо приблизну загальну кількість варіантів еталонних сигналів:

$$N = (N_m) \cdot (N_n!) \cdot N_\alpha^T, \quad (4)$$

де  $N$  – загальна кількість варіантів;  $N_m$  – кількість можливих складних топологій мереж;  $N_n$  – кількість варіантів завантаженості споживачів;  $N_\alpha$  – кількість кутів керування;  $T$  – кількість різних моделей схем.

Прийmemo  $N_m = 100$ ,  $N_n = 3$ ,  $N_\alpha = 20$ ,  $T = 3$ . У такому разі загальна кількість варіантів за виразом (4):

$$N = 100 \cdot (3!) \cdot 20^3 = 4,8 \cdot 10^6. \quad (5)$$

Нині задача з такою великою кількістю варіантів є вирішуваною тільки для надсучасних цифрових систем, тому необхідно розглянути проблему під іншим кутом, наприклад, звести процес верифікації до дерева рішень, виходом якого буде лише частка еталонних моделей бази даних тощо.

ВИСНОВКИ. Запропонована система верифікації електричних споживачів дає змогу значно розширити можливості існуючих систем обліку, контролю та компенсації неактивних складових потужності. Запропоновані математичні викладки є відносно простими в аспекті технічної реалізації системи на сучасній мікропроцесорній базі. Верифікація споживачів, під'єднаних до групи, є більш складною, на відміну від верифікації поодинокого споживача, та потребує розгляду проблеми в іншому контексті, ніж надання форми струму (напруги) як графічного образу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Давыдов А.С., Попенка А.Н., Аникин В.В. Особенности измерения полной и реактивной мощности и энергии в электрических сетях // Український метрологічний журнал. – 2009. – № 2. – С. 11–15.
2. Дрехслер Р. Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке; пер. с чешск. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.

3. Кумаков Ю.А. Оценка показателей качества электрической энергии в цифровых системах управления силовой электроникой // *Электрик*. – 2010. – № 1, 2. – С. 34–38.

4. Сінолиций А.П., Кольсун В.А., Жуйков М.В. Нетрадиційні системи автоматизованого контролю та обліку енергетичних показників // *Вісник Криворізького технічного університету*. – 2007. – Вип. 17. – С. 138–142.

5. Синолицый А.Ф. Модифицированный метод расчета энергетической эффективности сложных комплексов и систем // *Академический вестник международной академии компьютерных наук и систем*. – 1998. – № 2. – С. 90–94.

6. Сінолиций А.П., Кольсун В.А., Козлов В.С. Автоматизована система контролю та обліку енергетичних показників системи живлення групи електроприводів // *Вісник Криворізького технічного університету*. – 2011. – Вип. 28. – С. 154–156.

7. Черемісін М.М., Зубко В.М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням. – Харків: Факт, 2005. – 192 с.

8. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение ; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.

9. Режим доступу: [http://citforum.ru/programming/delphi/recognition\\_1/](http://citforum.ru/programming/delphi/recognition_1/).

## MATHEMATIC TOOL OF ENERGY MODEL VERIFICATION SYSTEM FOR HIGH VOLTAGE ELECTRIC LOAD

**A. Sinolitsyi, V. Kolsun, V. Kozlov**

State Higher Education Institution «Kryvyj Rih National University»

vul. XXII partyzdu, 11, Kryvyj Rih, 50027, Ukraine. E-mail: kolsun\_va@3g.ua

Work is about nonconventional monitoring systems of power characteristics in industrial conditions. The first step of such system is power model verification of the power consumer. It is offered to verify power model on a network current. The further calculations of power indicators are calculated on the simplified algorithms which give the chance to such system to carry out efficient control systems of indemnification of inactive components of power except control of power indicators of a network.

**Key words:** verification, power model of the consumer, making powers, the power account.

### REFERENCES

1. Davydov A., Popenaka A., Anikin V. Features of measuring the total and reactive power of the electric and energy networks // *Ukraine metrological Journal*. – 2009. – № 2. – PP. 11–15. [in Russian]

2. Drechsler R. *Measurement and evaluation of the quality of the electrical energy with asymmetric and non-linear load*. Trans. from Czech. – M.: Energoatomizdat, 1985. – 112 p. [in Russian]

3. Kumakov Yu. Estimation of the quality of the electric energy in digital control systems of power electronics // *Electric*. – 2010. – № 1, 2. – PP. 34–38. [in Russian]

4. Sinolitsy A., Kolsun V., Zhuikov M. Alternative systems of automated control and accounting of energy parameters // *Bulletin of the Krivoy Rog Technical University*. – 2007. – Iss. 17. – PP. 138–142. [in Ukrainian]

5. Sinolitsy A. A modified method for calculating the energy performance of complex systems and systems // *Academic journal of International academy of computer science and systems issues*. – 1998. – № 2. – PP. 90–94. [in Russian]

6. Sinolitsy A., Kolsun V., Kozlov V. Automated control and accounting-tic energy performance of power electronic group ropryvdiv // *Bulletin of the Krivoy Rog Technical University*. – 2011. – Iss. 28. – PP. 154– 156. [in Ukrainian]

7. Cheremisin M., Zubko V. *Automation of accounting and control power consumption*. – Kharkiv: Fact, 2005. – 192 p. [in Ukrainian]

8. Shapiro L., Stockman J. *Computer Vision*. Trans. from English. – М.: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2006. – 752 p. [in Russian]

9. Mode of access: [http://citforum.ru/programming/delphi/recognition\\_1/](http://citforum.ru/programming/delphi/recognition_1/).

Стаття надійшла 20.07.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Сінчуком О.М.