

УДК 621.311

І.В. Пантелеєва, О.А. Сотніков

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ДО ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Проведені аналіз та узагальнення основних методів оцінки параметрів електричних сигналів. Визначена залежність фазового зсуву та амплітуди електричного сигналу на інтервалі часу, що складає долю його періоду з метою запобігання виникнення аварій в енергосистемі та подальшого її розвитку. Наукова новизна роботи полягає у розробці кореляційних функцій для рішення задач швидкодіючої оцінки підвищеної точності фазового зсуву та амплітуди сигналів промислової частоти, які змінюються синусоїдально, на короткому інтервалі часу, який складає не більше 10% тривалості його періоду.*

**Ключові слова:** електричний сигнал, енергосистема, фазовий зсув, амплітуда, енергетичний об'єкт.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз останніх досягнень та публікацій.** Складність енергетичних комплексів, як об'єктів управління, специфіка вимог, що ставляться до них, багатогранність задач регулювання і управління роблять особливо актуальною оптимізацію процесів виробництва електроенергії.

У загальному випадку енергосистема, в якій реалізується управління будь-яким процесом, включає в себе зовнішнє по відношенню до об'єкта управління середовище, самі об'єкти управління; пристрої, що керують ними та дають інформацію про їх стан. Зовнішнє середовище, діючи на об'єкти управління, змінює їх стан, а керуючі пристрої, одержавши відповідну інформацію, здійснюють її аналіз та виробляють керуючі дії, що переводять об'єкти управління в новий стан [1].

Процес управління носить циклічний характер. Один замкнений цикл містить такі етапи: збирання інформації про стан об'єкта чи процесу, яким управляють; перетворення інформації стану в інформацію управління; процес передачі інформації. В результаті виконання команд об'єкт управління змінює свій стан, що викликає новий цикл управління. Одержання інформації про об'єкт управління та його стан є надзвичайно важливим етапом процесу управління, до нього ставляться різноманітні, часом суперечливі вимоги. Саме таким протиріччям є вимоги щодо точності і достовірності інформації та швидкодії її одержання [2].

Складовими частинами процесу отримання інформації про стан об'єктів є процеси вимірювання та процеси їх оцінювання. Характерною особливістю процесу вимірювання є те, що на результати вимірювання мають вплив перешкоди, тому в кожному випадку ці результати можуть дати тільки приблизне уявлення про об'єкт, недостатнє для вироблення управлінської дії. У зв'язку з цим виникає необхідність у допоміжній обробці результатів ви-

мірювань, яка виконується у процесі оцінювання. Якщо при цьому вводиться критерій якості оцінки, а вона вибирається так, щоб цей критерій був максимальним чи мінімальним, то таке оцінювання буде найбільш ефективним чи, кажучи іншими словами, оптимальним.

**Мета статті:** Для вирішення задачі оптимального оцінювання необхідно здійснити синтез алгоритму обробки результатів вимірювань, який максимізує чи мінімізує критерій якості оцінки, для чого необхідно проаналізувати існуючі методи статистичного оцінювання.

### Основний матеріал

Питання теорії побудови оптимальних оцінок широко висвітлені у науковій літературі з математичної статистики. Практично результати теорії оцінювання використовуються при опрацюванні сигналів у радіолокаційних, радіонавігаційних, а також у інших радіотехнічних та радіоелектронних системах. На відміну від названих галузей, в енергетиці використовується комутаційна апаратура малої інерційності, тому тут потрібна велика точність та швидкодія оцінок стану.

Для того, щоб оцінки були надійними, вони повинні бути обґрунтованими, незміщеними та ефективними. Властивість обґрунтованості оцінок полягає в тому, що із зростанням кількості спостережень вона наближається до істинного оцінюваного значення. Вимоги обґрунтованості оцінки є необхідними для того, щоб оцінка мала практичне значення, бо в іншому разі збільшення обсягу вихідної інформації не буде наближати до істини. Властивість незміщеності оцінки полягає в тому, що вона не має систематичної похибки. Вимоги незміщеності оцінки важливі особливо на невеликій кількості спостережень. Особливість ефективності полягає в тому, що в скалярному випадку оцінки одного параметра, ефективна оцінка має мінімальну дисперсію серед всіх інших оцінок того ж параметра.

У практиці статистичного оцінювання параметрів найбільше розповсюдження одержали такі методи: максимальної правдоподібності; найменших квадратів; моментів; байсівський.

З точки зору теорії, найбільш значущим є байсівський метод отримання оцінок. Цей метод заснований на понятті ризику. Ризик обчислюється на основі втрат описуваної вартості помилки в залежності від розходження між істинним оцінюючим значенням та величиною оцінки. У будь-якій конкретній задачі втрат вибирається із декількох міркувань.

На практиці функція втрат вибирається як компроміс між цими двома вимогами. Слід зауважити, що у багатьох задачах одна і та ж оцінка може бути оптимальною для широкого класу функцій втрат. Недоліком байсівського методу, що суттєво обмежує його застосування, є те, що для обчислення ризику треба знати апріорне розподілення оцінюваного параметра.

Застосування методу моментів полягає в порівнянні вибіркового та відповідних теоретичних моментів, що залежать від оцінюваних параметрів. На основі розв'язку одержаної системи рівнянь будується алгоритм невідомих параметрів. До переваг цього методу слід віднести його порівняно просту чисельну реалізацію, а також те, що оцінки є функціями вибіркового моментів, що дозволяє легко проаналізувати їх властивості. До недоліків слід віднести порівняно низьку ефективність одержаних на його основі оцінок.

Метод найменших квадратів полягає в мінімізації деякого квадратичного функціоналу, що зв'язує параметри, які оцінюються, та результати вимірювань. Метод отримав розповсюдження в практиці статистичних досліджень, дякуючи двом його головним перевагам: по-перше, він не вимагає знання закону розподілу результатів вимірювання, а по-друге, він достатньо добре розроблений в плані чисельної реалізації.

У теорії та практиці статистичного оцінювання важлива роль належить методу максимальної правдоподібності. Оцінку за даним методом отримують у результаті пошуку глобального максимуму функцій правдоподібності, який залежить від оцінювання параметрів та результатів вимірювань. У випадку так званої параметричної апріорної невизначеності функція правдоподібності, крім корисних параметрів, залежить ще і від перешкоджаючих параметрів, що ставить у скрутне становище процес оцінювання. Для усунення негативного впливу перешкоджаючих параметрів та подолання апріорної невизначеності застосовуються багатоканальні, адаптивні, або інваріантні методи. Багатоканальні та адаптивні методи подолання апріорної невизначеності приводять до збільшення апаратних або тимчасових затрат.

Як уже відзначалось раніше, методи статистичного оцінювання успішно застосовують для розв'язання задач обробки сигналів у радіотехнічних та

радіоелектронних системах. Проте просте перенесення одержаних результатів для рішення задач оцінки стану енергооб'єктів навряд може привести до суттєвого прогресу в цій галузі. Справа в тому, що частота сигналів, які характеризують стан енергооб'єктів, значно нижча частот сигналів, що використовуються у радіотехнічних системах. Вимога розв'язання задач обробки понаднижкочастотних сигналів у режимі реального часу в ряді випадків приводить до необхідності здійснення завадостійкості оцінки параметрів сигналів за проміжок часу, що складає долю характерного часу зміни сигналу. У зв'язку з цим є актуальним розповсюдження методів статистичної теорії оцінювання на задачі подібного роду.

Енергетика в порівнянні з іншими галузями промисловості в найбілій мірі підготовлена до комплексної автоматизації технологічних процесів. Передмовою цього є безперервність та теплової енергії, висока культура експлуатації, а також максимальний досвід автоматизації окремих технологічних процесів. Дякуючи широкому впровадженню різноманітних пристроїв автоматизації, на електростанціях досягнуто значний ефект у відношенні надійності, якості і економічності виробництва та розподілу електроенергії. Проте умови експлуатації енергооб'єктів в енергосистемах обумовили появу ряду принципово нових функцій систем управління для реалізації яких технічно необхідне використання засобів мікропроцесорної та обчислювальної техніки.

Для сучасних електростанцій з агрегатами великої потужності, що працюють у об'єднаних енергосистемах характерною рисою є участь енергооб'єктів у регулюванні частоти та потужності, глибокі розвантаження, часті пуски та зупинки енергообладнання. Від систем управління енергооб'єктами вимагається максимальна надійність, можливість управління всіма режимами забезпечення високої маневреності та мобільності блоків, як можна більша адаптація до різноманітних умов експлуатації, а також автоматичного збору, зберігання та обробки інформації для оперативних та інших цілей. В зв'язку з цим, поряд з подальшим розвитком традиційних функцій (технічний контроль, автоматична стабілізація параметрів, аварійний захист та інше), в системах управління енергооб'єктами виникла необхідність реалізації нових задач, у тому числі і діагностики стану обладнання та оптимізації режимів у реальному часі. Подібні задачі вже не можуть бути вирішені традиційними для енергетики індивідуальними засобами контролю, регулювання, захисту та управління, які застосовувались до недавнього часу.

Збіг часу виробництва та споживання енергії обумовлює залежність між режимами роботи енергетичних підприємств та споживанням енергії на промислових об'єктах, що, враховуючи стохастичний характер процесу споживання енергії, накладає високі вимоги щодо рівня швидкодії управління цим процесом.

Необхідно урахувати, що можливі помилки в управлінні енергооб'єктами здатні викликати не тільки перебої у енергопостачанні, але і можуть призвести до екологічних катастроф. Неабияку роль у процесі забезпечення надійного управління енергооб'єктами відіграють питання одержання своєчасної та достовірної інформації про стан енергооб'єктів.

Як корисний сигнал, який несе інформацію про стан енергооб'єкта, може бути прийнятий синусоїдальний сигнал  $\sin(\omega t + \varphi_0)$  частоти 50 Гц. Для забезпечення швидкодії процедура оцінювання параметрів сигналів, які несуть інформацію про стан енергооб'єкта, повинна здійснюватись за період аналізу менший, ніж характерний час зміни корисного сигналу, тобто періоду зміни сигналу в цілому. Для забезпечення надійності оцінки процедура такого оцінювання повинна бути завадостійкою.

Враховуючи вищесказане, сигнал, що аналізується, може бути заданий в такому вигляді:

$S(t) = A_0 \sin(\omega t + \varphi_0) + n(t)$ ;  $t \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ , (1)  
де  $t$  – безмежна змінна, що приймає цілочислові значення із інтервалу  $t \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ ;  $A_0$  – амплітуда корисного сигналу;  $\Delta t = T/(N-1)$  – інтервал дискредитації;  $T$  – час аналізу;  $\varphi_0$  – фазовий зсув сигналу, від чуваний відносно початку відліку, заданого моментом часу нуль;  $n(t)$  – відліки стаціонарного білого гаусового шуму з дисперсією відліку  $\sigma^2$ . слід зауважити, що у прийнятих позначеннях величини  $\omega$  та  $\varphi_0$  вимірюються в радіанах.

В силу статистичної незалежності відліків шуму функція буде дорівнювати добутку одномірних щільностей:

$$N(t) = n(t) = S(t) - A_0 \sin(\omega t + \varphi_0). \quad (2)$$

Так як час аналізу дорівнює  $T$ , то число статистично незалежних відліків  $N$  буде зв'язане із часом аналізу виразом:

$$N = 2F_{\max}^0 \cdot T + 1, \quad (3)$$

де  $N_0 \cdot F_{\max}^0 = \delta^2$  – дисперсія відліків білого шуму.

Слід відзначити, що функція щільності імовірності розглядається як функція параметрів  $A$  та  $\varphi$ , являє собою функцію правдоподібності цих параметрів:

$$L(A_0, \varphi_0) = \frac{1}{(2\pi\delta^2)^{N/2}} \times \exp\left\{-\frac{1}{2\delta^2} \sum_{t=0}^{N-1} [S(t) - A_0 \sin(\omega t + \varphi_0)]^2\right\}. \quad (4)$$

## Висновки

1. Систематизовані методи оцінювання параметрів електричних сигналів, приведені переваги та недоліки кожного з них.

2. Приведена залежність (4) дає можливість одержання статистичних оцінок фазового зсуву та амплітуди електричного сигналу синусоїдально змінюється на інтервалі часу, який складає долю його періоду.

3. Подані таким чином сигнали дозволяють підійти абсолютно по новому до питання їх використання у системах управління та діагностики енергетичним обладнанням.

## Список літератури

1. Пантелеєва И.В. Оценка параметров сигналов, изменяющихся в течении доли пери ода / И.В. Пантелеєва, Е.А. Шеломов // Труды международной НТК «Микрокад-97». – Х.: Мишкольц, 1997. – Т. 8. – С. 84-87.
2. Артюх С.Ф. Деякі питання теорії статистичного оцінювання параметрів сигналів у електроенергетиці / С.Ф. Артюх, И.В. Пантелеєва // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 4. – С.68-71.

Надійшла до редколегії 9.12.2008

Рецензент: докт. техн. наук, проф. С.Ф. Артюх, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

## К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

И.В. Пантелеєва, А.А. Сотников

Проведены анализ и обобщение основных методов оценки параметров электрических сигналов. Определена зависимость фазового сдвига и амплитуды электрического сигнала на интервале времени, который составляет долю его периода с целью предотвращения возникновения аварии в энергосистеме и дальнейшего её развития. Научная новизна работе заключается в разработке корреляционных функций для решения задач быстродействующей оценки повышенной точности фазового сдвига и амплитуды синусоидально изменяющихся сигналов промышленной частоты на коротком интервале времени, который составляет не более 10% длительности его периода.

**Ключевые слова:** электрический сигнал, энергосистема, фазовый сдвиг, амплитуда, энергетический объект.

## TO THE QUESTION OF RESEARCH OF METHODS OF ESTIMATION OF PARAMETERS ELECTRIC SIGNALS OF ELECTROENERGY OBJECTS

I.V. Panteleeva, A.A. Sotnikov

The analysis and generalization of basic methods of estimation of parameters of electric signals are conducted. Dependence of phase change and amplitude of electric signal on a time domain which makes the stake of his period with the purpose of prevention of origin of power interruption and further its development is definite. A scientific novelty to work consists in development of correlation functions for the decision of tasks of fast-acting estimation of the promoted exactness of phase change and amplitude of sinusoidal changing signals of industrial frequency on a short time domain which makes no more than a 10% duration of his period.

**Keywords:** electric signal, grid, phase change, amplitude, power object.