

УДК 621.311

І.В. Пантелєєва

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

У статті розглянуті питання, пов'язані зі станом обробки електричних сигналів в енергетиці. Складовими частинами процесу отримання інформації про стан об'єктів управління є процеси вимірювання та оцінювання. Тому для вирішення задачі оптимального оцінювання необхідно здійснити синтез алгоритму обробки результатів вимірювань, який максимізує чи мінімізує критерій якості оцінки. У даній роботі вибір критерію якості оцінки здійснюється у відповідності з умовами вирішуваної задачі стосовно енергетичних установок.

Ключові слова: електроенергетика, електричний сигнал, незміщеність оцінки, статистичний синтез, функція втрат, білий гаусів шум, дисперсія відліків.

Вступ

Постановка проблеми. На сьогодні актуальності набуває рішення проблеми організації управління процесом виробництва електроенергії. Складність енергетичних комплексів, як об'єктів управління, специфіка вимог, що ставляться до них, та багатогранність задач регулювання управління роблять особливо актуальною оптимізацією цих процесів.

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.

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

Складовими частинами процесу отримання інформації про стан об'єктів управління є процеси вимірювання та процеси їх оцінювання. Характерною особливістю процесу вимірювання є те, що на результати вимірювання мають вплив перешкоди, в результаті чого вимірювання в кожному випадку можуть дати тільки приблизне уявлення про стан

об'єкта управління, недостатнє для вироблення управлінської дії. У зв'язку з цим виникає необхідність у допоміжній обробці результатів вимірювань, яка виконується в процесі оцінювання. Якщо при цьому вводиться критерій якості оцінки, а оцінка вибирається так, щоб цей критерій якості був максимальним чи мінімальним, то таке оцінювання є найбільш ефективним чи, кажучи іншими словами, оптимальним. Таким чином, для вирішення задачі оптимального оцінювання необхідно здійснити синтез алгоритму обробки результатів вимірювань, який максимізує чи мінімізує критерій якості оцінки. В нашому випадку вибір критерію якості оцінки здійснюється у відповідності з умовами вирішуваної задачі стосовно енергетичних установок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інформація про стан енергооб'єкта складає значення параметрів корисного електричного сигналу, який аудитивно діючи з похибкою, що носить випадковий характер, надходить на вхід пристрою оцінювання. У зв'язку із випадковим характером похибки на вході такого пристрою, його вихід також є випадковою величиною.

Питання теорій побудови оптимальних оцінок широко висвітлені в науковій літературі з математичної статистики.

Практично результати теорії оцінювання широко використовуються при опрацюванні сигналів у радіолокаційних, радіонавігаційних, а також у інших радіотехнічних та радіоелектронних системах. Успіхи, досягнуті в названих вище областях застосування теорій оцінювання, обумовлені специфікою умов вирішуваних задач, зокрема відносно неенергетичністю оцінювання параметрів сигналів.

На відміну від названих областей, у енергетиці використовується захисна апаратура малої інерційності, тому тут потрібна велика точність та швидкодія оцінок стану [1].

Для того, щоб оцінки були в якомусь визначеному сенсі надійними, вони повинні бути обґрунтованими, незмінними та ефективними. Властивість обґрунтованості оцінки полягає в тому, що із зростанням числа спостережень оцінка наближається до істинного оцінюваного значення. Вимоги обґрунтованості оцінки є необхідними для того, щоб оцінка мала практичний сенс, бо в противному разі збільшення обсягу вихідної інформації не буде наближати нас до істини.

Властивість незміщеності оцінки полягає в тому, що така оцінка не має систематичної похибки. Вимога незміщеності оцінки важлива особливо для невеликої кількості спостережень.

Властивість ефективності оцінки полягає в тому, що в скалярному випадку оцінки одного параметра ефективна оцінка має мінімальну дисперсію серед всіх інших оцінок того ж параметра.

Для вирішення задач оцінювання у більшості випадків характерною є ситуація, коли відомі статистичні характеристики корисного сигналу та перешкоджаючої завади не визначені у цьому випадку в процесі синтезу алгоритму оптимального оцінювання доводиться оперувати функціями розподілу оцінюваних величин, причому характер функцій розподілу передбачається відомим, а невідомі лише їх деякі числові параметри.

У процесі статистичного синтезу оптимального по суті того чи іншого критерію, алгоритм оцінювання встановлюється зв'язок між одержаними в результаті вимірювання даними та значеннями цих невідомих числових параметрів.

У практиці статистичного оцінювання параметрів найбільше розповсюдження одержали такі методи отримання оцінок:

- метод максимальної правдоподібності;
- метод найменших квадратів;
- метод моментів;
- байсівський метод.

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

Бажано, щоб функція витрат служила адекватною мірою ступеня задоволення споживача. Це не завжди можливо, так як часто буває важко показати аналітичну міру того, що принципово може бути якістю виконання.

Мета статті полягає у відшукуванні оцінки, яка мінімізує очікувану величину вартості. Тому, друга думка при виборі функцій витрат полягає в тому, щоб задатися такою їх функцією, яка б дозволяла розв'язати цю задачу.

Основний розділ

На практиці функція витрат 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 витрат. Недоліком байсівського методу, що суттєво обмежує його застосування, є те, що для обчислення ризику треба знати апіорне розподілення оцінюваного параметра.

Застосування методу моментів полягає в порівнянні вибірових та відповідних теоретичних моментів, що залежать від оцінюваних параметрів. На основі розв'язку одержаної системи рівнянь будується алгоритм оцінювання невідомих параметрів. До переваг цього методу слід віднести його порівняно просту чисельну реалізацію, а також те, що оцінки є функціями вибірових 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 широке 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 оцінюваних параметрів та результатів вимірювань. У випадку так званої параметричної апіорної 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 апіорної невизначеності застосовуються багатоканальні, адаптивні, або інваріантні методи. Багатоканальні та адаптивні методи подолання апіорної невизначеності приводять до збільшення апаратних або тимчасових затрат.

Як уже відзначалось раніше, методи статистичного оцінювання успішно застосовуються для розв'язку задач обробки сигналів у радіотехнічних та радіоелектронних системах. Проте просте перенесення одержаних результатів для розв'язку 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'язку задач обробки понаднизькочастотних сигналів у режимі

реального часу в ряді випадків приводить до необхідності здійснення завадостійкої оцінки параметрів сигналів за проміжком 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 найбільшій мірі підготовлена до комплексної автоматизації технологічних процесів. Передумовою цього є безперервність та технологічне відпрацювання виробництва електричної 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 автоматизація 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 низки 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

привести 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:

$$S(t) = A_0 \sin(\omega t + \varphi_0) + n(t);$$

$$t \in \{0, 1, \dots, N-1\}, \quad (1)$$

де t – безмежна змінна, що приймає цілочислові значення із інтервалу $t \in \{0, 1, \dots, N-1\}$;

A_0 – амплітуда корисного сигналу;

$\omega = \omega^0 \Delta t$, де ω^0 – кругова частота сигналу;

$\Delta t = T/(N-1)$ – інтервал дискретизації; T – час аналізу; φ_0 – фазовий зсув сигналу, відлічуваний відносно початку відліку, заданого моментом часу нуль; $n(t)$ – відліки стаціонарного білого гаусового шуму з дисперсією відліку σ^2 . Слід зауважити, що у прийнятих позначеннях величини ω та φ_0 вимірюються в радіанах.

Одномірна функція щільності імовірності шуму має вигляд [2]:

$$f[n(t)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{n^2(t)}{2\sigma^2}\right]. \quad (2)$$

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

$$F = [n(0), n(1), \dots, n(N-1)] \prod_{t=0}^{N-1} F[n(t)] =$$

$$= \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{N/2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=0}^{N-1} n^2(t)\right]. \quad (3)$$

Тоді із виразу (1) витікає:

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

Підставивши цей вираз у (3), одержимо функцію сумісної щільності імовірності N , відліків $S(t)$:

$$F[S(0), S(1), \dots, S(N-1)] =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=0}^{N-1} n^2(t) - A_0 \sin(\omega t + \varphi_0)\right\}^2. \quad (4)$$

Надалі можна вважати, що шум, який породжує вибірка $n(t)$, являє собою процес з рівномірним обмеженим спектром:

$$\Omega(F^0) = \begin{cases} \frac{N_0}{2}, & (F^0) \leq F_{\max}^0; \\ 0, & (F^0) > F_{\max}^0, \end{cases} \quad (5)$$

а спектр сигналу, що аналізується, лежить у середині спектра $\Omega(F^0)$. Тоді кореляційна функція, яка відповідає спектру (5), буде мати вигляд [2]:

$$K(\tau^0) = N_0 F_{\max}^0, \quad (6)$$

де $N_0 F_{\max}^0 = \sigma^2$ – дисперсія відліку білого шуму.

Так як кореляційна функція $K(\tau^0)$ дорівнює нулю в моменти часу $\tau_1^0 = t / (2F_{\max}^0)$, то у силу гаусовості шуму, відліки, взяті в ці моменти, будуть статистично незалежними.

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

$$N = 2F_{\max}^0 T + 1. \quad (7)$$

Враховуючи співвідношення (7), можна записати відоме корисне співвідношення, що зв'язує в даному випадку інтеграл з кінцевою сумою, тобто:

$$\int_0^T U(\tau^0) d\tau^0 \approx \frac{1}{2F_{\max}^0} \sum_{t=0}^{2F_{\max}^0 T} U\left(\frac{t}{2F_{\max}^0}\right). \quad (8)$$

Слід відзначити, що функція щільності імовірності, яка визначається співвідношенням (4), роз-

глядається як функція параметрів A та φ , являє собою функцію правдоподібності цих параметрів:

$$L(A_0 \varphi_0) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)} \times \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{t=0}^{N-1} [S(t) - A_0 \sin(\omega t + \varphi_0)]^2\right\}. \quad (9)$$

Висновки

1. Залежність (9) дає можливість одержання статистичних оцінок фазового зсуву та амплітуди електричного сигналу, що синусоїдально змінюється на інтервалі часу, який складає долю його періоду.

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

Список літератури

1. Шеломов Е.А. Оценка параметров сигналов, изменяющихся в течение доли периода / 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 / С.Ф. Артюх // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 1999. – №4. – С. 68-71.

Надійшла до редколегії 2.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.І. Канюк, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

И.В. Пантелеева

В статье рассмотрены вопросы, связанные с составлением обработки электрических сигналов в энергетике. Составными частями процесса получения информации о состоянии объектов управления являются процессы измерения и оценивания. Поэтому для решения задачи оптимального оценивания необходимо осуществить синтез алгоритма обработки результатов измерений, который максимизирует или минимизирует критерий качества оценки. В работе выбор критерия качества оценки осуществляется в соответствии с условиями решаемой задачи относительно энергетических установок.

Ключевые слова: электроэнергетика, электрический сигнал, несмещённость оценки, статистический синтез, функция потерь, белый гауссов шум, дисперсия отчётов.

SOME ASPECTS OF THE ESTIMATION OF PARAMETERS OF SIGNALS IN ELECTRIC

I.V. Panteleyeva

Describes issues related to processing electrical signals in the energy sector. Parts of the process of obtaining information on the status of the control objects are the processes of measurement and estimation. Therefore to solve the problem of optimal estimation needed synthesis algorithm processing measurement results, which maximizes or minimizes the criterion of quality evaluation. The selection criterion of the quality of the assessment carried out in accordance with the terms of the solved task on power plants.

Keywords: electroenergy, electric signal, unbiasedness of estimations, statistical synthesis, function of losses, white Gauss noise, dispersion of reports.