

Проведён сравнительный анализ результатов аналитических расчетов цилиндрического индуктора с загрузкой в виде ферромагнитной трубы и результатов моделирования электрофизических процессов, которые протекают в индукторе методом конечных элементов с помощью программной среды COMSOL Multiphysics.

Цилиндрический индуктор, индукционный нагрев, ферромагнитная загрузка.

In this paper a comparative analysis the results of analytical calculations of cylindrical inductor which loaded by ferromagnetic pipe and the modeling results of electrophysical processes, which occur in the inductor by finite element method using the software COMSOL Multiphysics has been proved.

Cylindrical inductor, induction heating, ferromagnetic loading.

УДК 621.314.58

СИСТЕМНО-АНАЛІТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ВІТРО-СОНЯЧНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

В.В. Каплун, доктор технічних наук
Київський національний університет технологій та дизайну
В.В. Осипенко, кандидат технічних наук
С.С. Яцик, аспірант *
Національний університет біоресурсів
і природокористування України

Запропоновано задачу прогнозу моментів переведення систем із активного стану в пасивний і навпаки вирішувати за допомогою індуктивного алгоритму прогнозування так званих «рідкісних» явищ. Сформульовано постановку задачі й наведено основні етапи її розв'язання.

Вітро-сонячна система електроживлення, інформаційний моніторинг, прогнозування, індуктивний метод, зовнішні критерії оптимальності.

Сучасні тенденції розвитку малої електроенергетики передбачають використання різних класів джерел електроенергії, що у загальному випадку поділяються на дві основні групи – традиційні та поновлювані [4]. Введення в склад автономної системи різномірних джерел електроенергії, що використовують різні фізичні явища у процесі

* Науковий керівник – доктор технічних наук В.В. Каплун

© В.В. Каплун, В.В. Осипенко, С.С. Яцик, 2012

перетворення первинної енергії в електричну та здійснюють живлення визначеного складу споживачів, вимагає вирішення досить складних наукових задач синтезу таких систем, в т.ч. задачі прогнозування моментів переведення систем із активного стану в пасивний і навпаки. Для прогнозу енергетичного балансу вітро-сонячних систем електроживлення (ВССЕ) дані можна отримати з метеорологічних довідників, які дають усереднені показники енергетичного потенціалу вітру та сонця і цим самим вносять значні похибки до розрахунків, що призводить до зниження енергоефективності подібних систем.

Основний принцип створення вітро-сонячних систем електроживлення (ВССЕ) полягає в оптимальному виборі співвідношення потужностей вітрогенератора, сонячної електростанції та накопичувача електроенергії (акумуляторних батарей із зарядним пристроєм та інвертором) для забезпечення заданого графіка електроспоживання [1,4]. Стохастичний характер надходження первинної енергії вітру та сонця обумовлює певні труднощі щодо вирішення оптимізаційної задачі вибору потужності поновлюваних джерел та ємності накопичувача, оскільки метеорологічні умови використання ВССЕ є досить індивідуальними не тільки для району, а й для конкретного місця їх розташування.

Використання у ВССЕ поновлюваних джерел електроенергії у комплексі з традиційними джерелами (централізована енергосистема, електростанції з двигунами внутрішнього згорання тощо) обумовлено очікуваним економічним ефектом, а саме – зменшенням витрат на споживання електроенергії з централізованої мережі та органічних палив для двигунів внутрішнього згорання. Нестабільність роботи ВССЕ в часі, що викликана сезонністю, природними факторами, географічним місцем розташування і т.д., суттєво впливає на економічні показники цих систем [4].

Більшість сучасних традиційних методів прогнозування енергетичного потенціалу таких систем не враховують саме цю індивідуальність і необхідність управління такими системами в режимі реального часу, внаслідок чого складові елементи ВССЕ вибираються неоптимально, що, як правило, призводить до збільшення витрат на реалізацію проекту.

Мета досліджень – розробка методики прогнозування моментів переведення систем із активного стану в пасивний і навпаки за допомогою індуктивного алгоритму прогнозування так званих «рідкісних» явищ.

Матеріали та методка досліджень. У світовій практиці простежуються два напрями розвитку альтернативної енергетики: створення автономних систем електроживлення і системних електростанцій з поновлюваними джерелами, в першу чергу ВССЕ [5].

Системно-аналітичне та економічне обґрунтування проектної потужності ВССЕ повинно розроблятися експертно-аналітичними групами, до яких, як правило, повинні входити енергетики, системні аналітики, бізнес-аналітики, метеорологи, кліматологи тощо, адже комплексне вирішення цієї проблеми вимагає оцінки і визначення ступеня залежності рівня надійності такої системи електроживлення від співвідношення потужностей традиційних та нетрадиційних джерел, об'єднаних спільністю режимів і попиту споживачів на електроенергію в такій складній системі.

Результати досліджень. Розглянемо одну із найважливіших задач в таких системно-аналітичних проектах.

При спільному використанні вітроенергетичної установки і сонячної електростанції в автономній системі використовуються акумуляторні батареї. При цьому, беручи до уваги високу вартість фотоелектричних перетворювачів, така комплектація може бути виправдана лише в тому випадку, якщо буде зменшена вартість отриманої електроенергії. З цього ми отримуємо умову спільного використання вітроенергетичної і фотоелектричної установок:

$$S_{W0} + S_{A0} \geq S_{W1} + S_{A1} + S_P, \quad (1)$$

де: S_{W0} – вартість вітроенергетичної установки без використання сонячної електростанції; S_{A0} – вартість акумуляторів без використання фотоелектричної установки; S_{W1} – вартість електричної установки при спільному використанні з фотоелектричною установкою; S_{A1} – вартість акумуляторів при спільному використанні з фотоелектричною установкою; S_{P1} – вартість фотоелектричної установки.

При цьому надійність електроживлення у порівнянні з роздільним використанням вітроенергетичної і фотоелектричної установок не повинна зменшуватися. Разом з тим, використання двох незалежних джерел у ВССЕ зменшує період використання акумуляторів, а, відповідно, зменшується їх ємність і вартість. Крім того, це призводить до зниження проектних потужностей як вітрогенератора, так і фотоелектричної станції, що також позитивно впливає на економічність проекту.

На основі викладеного, можна записати баланс енергії при спільному використанні вітроенергетичної і фотоелектричної установок:

$$(N_W t_W + N_P t_P + (N_W + N_P) t_{WP} - N_H (t_W + t_P + t_{WP}) - N_N t_A) \eta_{BCSE} \geq N_H t_C, \quad (2)$$

де N_W, N_P, N_i – відповідно потужності вітрогенератора, фотоелектричної установки та навантаження, кВт; t_W, t_P, t_{WP} – тривалість часу генерації вітрогенератора, фотоелектричної станції та їх сумісної роботи відповідно, год.; $x_1^*, \dots, y^* = f(a_0, x_1^*, \dots, x_j^*, \dots, x_s^*), \dots, x_s^*)$ t_A, t_C – тривалість періоду, який збігається з періодом роботи акумуляторів та загального часу споживання заданої потужності, год.; η_{BCSE} – коефіцієнт корисної дії ВССЕ.

Для прогнозу енергетичного балансу ВССЕ треба мати дані про t_W, t_P, t_{WP} . Такі дані можна отримати з метеорологічних довідників, які дають усереднені показники природного енергетичного потенціалу вітру та сонця і цим самим вносять значні похибки до розрахунків, що при реалізації проектів призводить до зниження енергоефективності подібних систем.

Звідси стає очевидним, що в цій задачі дуже важливо мати прогнози в реальному часі, а саме таких часових параметрів:

- момент t_{ap} переходу вітро-сонячної системи електроживлення з активного стану в пасивний у зв'язку зі змінами метеорологічних показників (сила вітру, хмарність тощо);

- момент t_{pa} переходу вітро-сонячної системи електроживлення із пасивного стану в активний, але вже внаслідок протилежних змін метеорологічних показників;

- тривалість періоду часу $[t_{ap}, t_{pa}]$ між вказаними моментами переходів з одного стану в інший.

Звичайно, згадані моменти не настають миттєво. Для цього існують певні передумови, які необхідно ув'язати системно і зміна яких «в ансамблі» може спричинити настання того чи іншого явища (моменту t_{ap} чи t_{pa}). Оскільки такі явища не мають вираженої циклічності, для дослідження рівнів досконалості ВССЕ на етапі проектного моделювання нами пропонується використати метод, запропонований в [2]. Для застосування такого підходу для кожного конкретного регіону й місцевості, де планується будівництво ВССЕ повинні бути проведені попередні метеорологічні спостереження, тривалість яких зумовлена конкретними вимогами проекту, але кількість настання вказаних моментів t_{pa}, t_{pa} повинна бути достатньою для проведення аналітичного моделювання. Підхід, запропонований в [2] дозволяє «працювати» з відносно нетривалими періодами натурних досліджень (до 40–50 моментів настання «подій» типу t_{pa}, t_{pa}). Крім того, при цьому не висувуються які-небудь особливі вимоги до характеру статистичних даних.

Важливо зауважити, що вибір проектного інформаційного базису в метеоспостереженнях, який релевантно відповідатиме майбутньому функціонуванню ВССЕ в реальних умовах, доцільно формувати за індуктивною процедурою системно-аналітичних досліджень [6], застосовуючи при цьому в його контурі процедуру прогнозування «рідкісних явищ» за комбінаторним алгоритмом методу групового урахування аргументів (МГУА) [3].

Задачу прогнозування моменту настання «рідкісної події» сформулюємо так [2]. Нехай за результатами моніторингу деякої системи на інтервалі спостереження $T = [t_0, t_k]$ n раз мало місце настання події $\xi_i, i = 1, 2, \dots, n$, яка нас цікавить. Очевидно, що весь інтервал T можна розбити на n ділянок: $T = [t_0, t_{s_1}, \dots, t_{s_i}, \dots, t_{s_{n-1}}, t_{s_n}]$, де t_{s_i} – момент настання i -ї події. Таке розбиття впливає з зазначеного припущення, що на одному інтервалі $[t_{s_{i-1}}, t_{s_i}]$ лише один раз могло мати місце настання події ξ_i . Крім цього, кожен інтервал $[t_{s_{i-1}}, t_{s_i}]$ розбитий на l більш дрібних інтервалів $\Delta t' = [t'_{j-1}, t'_j] = \text{const}, j = 1, 2, \dots, l$; в його вузлах і виконуються контрольні заміри параметрів об'єкта. Таким чином, у розглянутій задачі задано n моментів настання події $\xi_i, i = 1, 2, \dots, n$. Прогнозу підлягає $(n + 1)$ -й момент. Під подією ξ_i тут мається на увазі момент t_{ap} чи момент t_{pa} .

Поставлену задачу можна вирішувати за допомогою регресійного рівняння моделі виду:

$$\begin{aligned}
y_f = f\{ & x_{1(0)}, x_{1(-1)}, \dots, x_{1(-\tau_1)}, \\
& x_{2(0)}, x_{2(-1)}, \dots, x_{2(-\tau_2)}, \\
& \dots \\
& x_{m(0)}, x_{m(-1)}, \dots, x_{m(-\tau_m)}, \theta\},
\end{aligned}
\tag{3}$$

де y – вихідна (прогнозна) величина, x_i , $i = 1, 2, \dots$; m – аргументи; τ_1, \dots, τ_m – запізнення кожного з аргументів; θ – вектор параметрів, що повинні оцінюватися.

Якісна відмінність такого підходу від традиційних прогнозуючих процедур полягає в такому:

- серед аргументів функції $f(x_i)$ відсутні значення запізнень вихідної величини y ;

- вихідна величина – це час від останнього спостереження (контрольного заміру) до моменту настання рідкісної події. Причому на інтервалі $\Delta t' = [t'_{j-1}, t'_j]$ настання події $y \leq \Delta t'$, а на інтервалі «ненастання» (передування) – $y > \Delta t'$.

У роботі [2] також описаний оригінальний спосіб формування вихідного інформаційного базису для вирішення поставленого завдання. Ця процедура отримала там назву «плаваючої шкали» індексації аргументів із запізненнями. «Плаваюча» індексація полягає в тому, що індекс «0» присвоюється моменту контролю, який безпосередньо передує моменту настання події ξ_j . У цьому випадку маємо ситуацію: $y \leq (t'_{j-1} - t'_j)$. «Плаваюча» індексація повинна використовуватися при складанні таблиці даних. Значення $x_{i(-\tau_i)}$ повинні відповідати запізненням в i -му інтервалі, $i = 1, 2, \dots, n$.

Таким чином, прогнозування рідкісної події представимо в вигляді такої багатоетапної процедури.

Етап I. Конструювання первинного інформаційного базису (таблиці даних). Інформативні аргументи із деяким запізненнями τ можна визначати за екстремумами автокореляційної функції. Це дозволяє враховувати тільки ті запізнення, які найбільше впливають на характер досліджуваного процесу в енергетичній системі (екстремуми автокореляційної функції) й усунути великий перебір комбінацій аргументів із запізненнями, що істотно спрощує вираз (3).

Етап II. Синтез рівняння (3) – навчання моделі. Цей етап не менш відповідальний, ніж етап підготовки вихідних даних. Тут доцільно застосовувати згаданий комбінаторний алгоритм групового урахування аргументів [6], який ефективно використовується у численних прикладних задачах.

Нарощування складності моделі відбувається до досягнення мінімуму критерію селекції чи до моменту стабілізації такого критерію [7]. В останньому випадку вибору підлягає модель, що відповідає мінімальній складності. Під складністю в індуктивному моделюванні мається на увазі

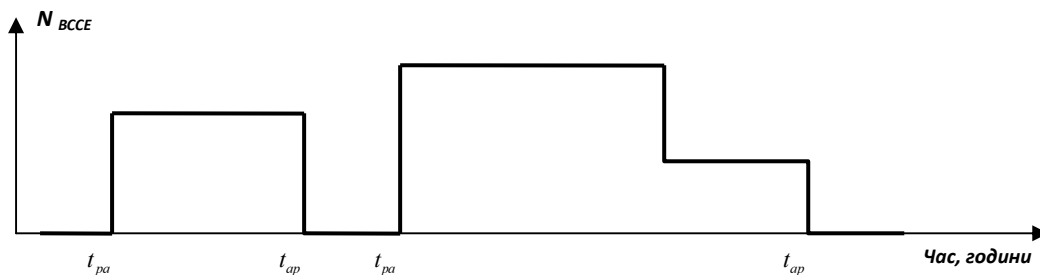
кількість членів у правій частині рівняння (3). Нехай у результаті застосування алгоритму МГУА буде одержана модель типу (3):

$$y^* = f(a_0, x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_s^*) , \quad (4)$$

де серед аргументів x_i^* є і аргументи із запізненнями.

Етап III. Прогноз $\xi_{(n+i)}$. Нехай на $(n+1)$ -му інтервалі $[t_{s_n}, t_{s_{n+1}}]$ проводяться регулярні спостереження за вказаних вище умов. За досягнення тривалості інтервалу, рівного максимальному запізненню, що ввійшло в остаточне рівняння (4), обчислюється значення y . Якщо $t > \Delta t'$, проводиться наступний контрольний замір. Така процедура проводиться доти, поки вихідна величина стане меншою, ніж тривалість інтервалу $\Delta t'$. Значення y в цьому випадку і буде періодом часу, після закінчення якого настане подія $\xi_{(n+i)}$, починаючи від останнього моменту спостереження.

Застосовуючи описану процедуру, можна не тільки коректно вибирати експлуатаційні характеристики майбутньої вітро-сонячної системи електроживлення (потужність електрогенеруючих установок, ємність акумуляторних батарей тощо), а і ефективно впливати на вартість всього проекту, включаючи й експлуатаційні витрати на ВССЕ. Це стає можливим за рахунок наявності коректних прогнозів часових параметрів t_{ap} , t_{pa} і інтервалів $[t_{ap}, t_{pa}]$.



Часова діаграма прогнозування пасивних і активних періодів роботи ВССЕ та вихідної потужності

На рисунку показані моменти t_{ap} , t_{pa} настання пасивних і активних періодів роботи ВССЕ. N (кВт) – потужність на виході енергетичної системи, амплітуда якої суттєво залежить від значень головних природних чинників (швидкості вітру, рівня сонячної радіації, тощо).

Висновки

Отже, включивши в контур управління ВССЕ апробований інструментарій для прогнозування вказаних часових параметрів, можна практично в режимі реального часу керувати режимом електроспоживання шляхом планування енергетичних балансів традиційних і поновлюваних джерел локальної електроенергетичної системи як підсистеми зовнішньої мережі з отриманням очевидного економічного ефекту.

Список літератури

1. Іванін О.Л. Алгоритми оптимального використання електроенергії у системах з відновлюваними джерелами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук /О.Л. Іванін. – К., 2003. – 17 с.
2. Ивахненко А.Г. Прогнозирование редких событий по алгоритму МГУА / А.Г. Ивахненко, В.В. Осипенко // Автоматика. – 1984. – № 5.
3. Ивахненко А.Г. Помехоустойчивость моделирования / А.Г. Ивахненко, В.С. Степашко. – К.: Наук. думка, 1984. – 295 с.
4. Каплун В.В. Автономні системи електроживлення сільськогосподарських споживачів з різнорідними джерелами електроенергії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук/В.В. Каплун. – К., 2008. – 32 с.
5. Мхітарян Н.М. Деякі аспекти подальшого розвитку об'єктів альтернативної енергетики / Н.М. Мхітарян, С.О.Кудря, А.Р.Щокін //Відновлювана енергетика. – 2007. – №2(9). – С. 6-13.
6. Осипенко В.В. Системне проектування інформаційно-аналітичних досліджень за принципами індуктивних методів моделювання.// Індуктивне моделювання складних систем /В.В. Осипенко. – К.: МННЦІТіС АН України, 2009. – С. 140–148.
7. Степашко В.С. Теоретичні аспекти МГУА як методу індуктивного моделювання / В.С. Степашко // Управляющие системы и машины. – 2003. – № 2. – С. 31-44.

Предложено задачу прогноза моментов перевода рассматриваемых энергетических систем из активного состояния в пассивное и наоборот предлагается решать с помощью индуктивного алгоритма прогнозирования так называемых «редких» событий. Сформулирована постановка задачи и приведены основные этапы ее решения.

Ветро-солнечная система электропитания, информационный мониторинг, прогнозирование, индуктивный метод, внешние критерии оптимальности.

In this paper the problem of forecasting the system switchover moments from active state in passive one and vice versa is proposed by means of inductive algorithm forecasting the so-called "rare" events. The problem is formulated and the basic stages of its solution are brought.

Wind-solar power system, information monitoring, prediction, inductive method, external criteria of optimality.