

УДК 621.311.161

П. Лежнюк, С. Вишневський, Н. Семенюк
Вінницький державний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ КУБІЧНИМИ СПЛАЙНАМИ В АДАПТИВНИХ САК З ВИПЕРЕДЖЕННЯМ

© Лежнюк П., Вишневський С., Семенюк Н., 2001

У статті розглянуто метод апроксимації навантаження в електричних мережах кубічними сплайнами. Такий метод моделювання навантаження розроблений для використання в системі оптимального керування. Відмінність від інших методів полягає в тому, що він дозволяє визначати керувальні дії, які передують розвитку ситуації в електричній мережі.

The article presents the method of load approximation in electrical network by cubic splines. Such method of load modelling is developed for application in the system of optimum control. It differs from other methods that it permits to determine the controlling actions, which precede the development of the situation in the electrical network.

Зміна навантаження споживачів електроенергії в електроенергетичній системі (ЕЕС) є основною причиною, яка призводить до переходу з одного її нормального стану до іншого. Кожний такий перехід супроводжується підготовкою і реалізацією керуючих впливів, які оптимізують усталений режим ЕЕС. Значною мірою ефективність цього оптимального керування нормальними режимами ЕЕС визначається тим, наскільки адекватно відображається зміна навантаження ЕЕС в її оптимізаційній моделі.

Під час оптимального керування нормальними режимами необхідність визначати навантаження ЕЕС виникає неодноразово і за різних умов. При автоматичному керуванні значення навантажень використовуються при формуванні і коригуванні законів оптимального керування регулювальними пристроями (РП), а також для оцінки ефективності функціонування систем автоматичного керування (САК).

Розроблені на сьогодні методи прогнозування мало пристосовані до розв'язування задач оперативного і автоматичного керування в реальному часі. У цьому випадку, коли як дані використовуються результати телевимірів та, через неповноту останніх, типові графіки навантажень, необхідні нові рішення щодо моделювання навантаження ЕЕС.

У цій роботі розглядається метод представлення навантаження ЕЕС стосовно системи оптимального керування нормальними режимами ЕЕС з імітаційною моделлю і функціонуванням САК з випередженням [1, 2].

Визначальним при виборі методу стали характерні особливості технологічного процесу, який оптимізується. Зокрема, для розглядуваної задачі характерним є те, що збір телеметричної інформації про параметри режиму ЕЕС в оперативно-інформаційному комплексі здійснюється циклічно з деяким інтервалом Δt . Існують також певні обмеження щодо інтенсивності керувальних впливів. Вони зумовлені обмеженим ресурсом РП. Це змушує ретельно зважувати доцільність дій керування. Оптимальною тут є практика, коли при визначенні моменту і міри дій керування враховується подальший розвиток ситуації в ЕЕС

порівняно з поточною. Іншими словами, керувальні впливи повинні визначатися з випередженням розвитку ситуації в ЕЕС. Враховуючи наведене, в даній роботі для розв'язання цієї

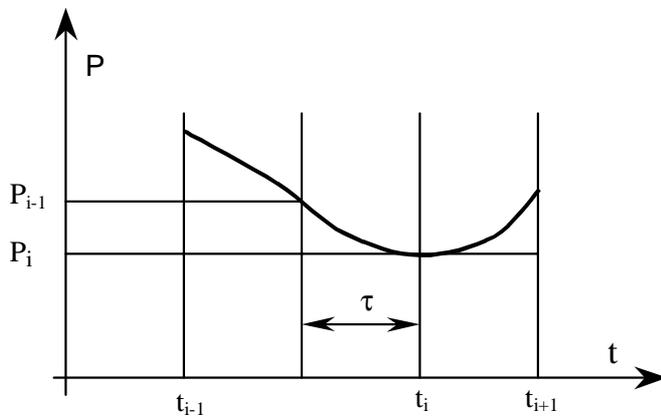


Рис. 1. Графік інтерполяційного полінома для функції навантаження

задачі застосовується апроксимація функції навантаження ЕЕС в часі за допомогою кубічних сплайнів.

Як приклад, зміну навантаження електричних мереж ЕЕС проілюстровано графіком на рис. 1.

За формулювання задачі оптимального керування нормальними режимами ЕЕС як в [2] апроксимована кубічним сплайном функція $P = f(t)$ повинна бути диференційована на всіх відрізках $\Delta_i = [t_{i-1}, t_i]$ і задовольняти умови інтерполяції $P(t_i) = P_i, i = \overline{1, n}$.

Кубічний сплайн на відрізку $\Delta_i = [x_{i-1}, x_i]$ будується так. Прийmemo, що $P''(t_i) = k_i, i = \overline{1, n}$. Оскільки кубічний сплайн на кожному відрізку Δ_i збігається з поліномом третього степеня, то для цих відрізків $P''(t)$ повинна бути лінійною функцією. Тобто, цю функцію можна представити у вигляді

$$\frac{P''(t) - k_{i-1}}{t - t_{i-1}} = \frac{k_i - k_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}, i = \overline{2, n}, t \in [t_{i-1}, t_i]. \quad (1)$$

З (1) слідує, що

$$P''(t) = k_{i-1} \frac{t_i - t}{\tau_i} + k_i \frac{t - t_{i-1}}{\tau_i},$$

де $\tau = t_i - t_{i-1}, i = \overline{2, n}$.

Проінтегрувавши $P''(t)$ двічі на відрізку Δ_i , отримаємо ткий вираз кубічного сплайну:

$$P(t) = k_{i-1} \frac{(t_i - t)^3}{6\tau_i} + k_i \frac{(t - t_{i-1})^3}{6\tau_i} + \frac{t_i - t}{\tau_i} \left(P_{i-1} - \frac{k_{i-1} \tau_i^2}{6} \right) + \frac{t - t_{i-1}}{\tau_i} \left(P_i - \frac{k_i \tau_i^2}{6} \right), \quad (2)$$

$$t \in [t_{i-1}, t_i], i = \overline{2, n}.$$

Коефіцієнти сплайну можна знайти з умов неперервності функції $P'(t)$ в точках $t_i, i = \overline{2, n}$. Серед відомих алгоритмів обчислення коефіцієнтів сплайнів, які відрізняються в основному різними умовами на кінцях апроксимованого відрізка функції, у роботі використовується алгоритм, запропонований в [3]. Згідно з цим алгоритмом задача зводиться до розв'язування системи лінійних рівнянь, результатом якого є коефіцієнти сплайну k_i .

На практиці замість (2) зручніше користуватися звичайним поліномом третього степеня

$$P(t) = P_{i-1} + a_1(t - t_{i-1}) + a_2(t - t_{i-1})^2 + a_3(t - t_{i-1})^3, \quad (3)$$

де коефіцієнти полінома (3) обчислюються через коефіцієнти сплайну (2)

$$a_1 = \frac{P_i - P_{i-1}}{\tau_i} - \tau_i \left(\frac{k_i}{6} + \frac{k_{i-1}}{3} \right), \quad a_2 = \frac{k_{i-1}}{2}, \quad a_3 = \frac{k_i - k_{i-1}}{6\tau}, \quad i = \overline{2, n}.$$

Викладений спосіб представлення навантаження електричних мереж в системі оптимального керування їх режимами реалізований в програмі для ЕОМ. Програма адаптована до використання інформації, яка формується оперативно-інформаційним керувальним комплексом АСДУ енергосистеми [4]. Вузли інтерполяції вибираються серед точок, які визначаються телевимірюваннями. У програмі передбачено, що крок сітки інтерполяції відповідно до потреб і заданої точності апроксимації може мінятися від 5 с (цикл телевимірювання [4]) до 15 хв. Межа в 15 хв визначена, зважаючи на раціональну інтенсивність роботи РП.

На рис. 2 показано приклад використання кубічних сплайнів для апроксимації графіка навантаження в одному з вузлів ЕЕС. Розглядається відносна до максимуму зміна навантаження. На цьому рисунку зображений точний графік $P_*(t)$

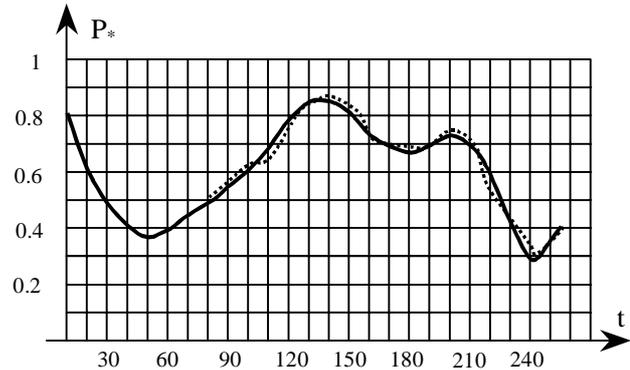


Рис. 2. Приклад графіка навантаження, апроксимованого кубічними сплайнами

(суцільна лінія) і апроксимований (пунктирна лінія). У всіх контрольних точках спостерігається збіг градієнтів навантаження. Згідно з умовами визначення випереджувальних оптимізуючих дій керування контрольними є 2–3 точки після фіксації поточного стану ЕЕС. При $\tau = 10$ хв, як прийнято в прикладі, це означає, що в цьому випадку обчислені за (3) значення навантажень і визначені за їх допомогою оптимальні параметри РП [2] дозволяють визначити стратегію оптимального керування нормальними режимами ЕЕС на найближчі 20–30 хв.

Встановлено, що вимоги точності за хорошої збіжності виконуються, якщо використовуються сплайни з перекриттям. Тобто, коли будується поточний сплайн, то частково використовуються дані попереднього сплайну. Апроксимований відрізок кожного разу пересувається вздовж $P_*(t)$ на Δt чи кратне йому значення.

Отже, апроксимація навантаження кубічними сплайнами задовольняє вимоги оптимального керування нормальними режимами ЕЕС. Отримані формули кубічних сплайнів вигляду (3) можна використати для аналізу режимів ЕЕС, визначення й оцінки випереджувальних дій керування з врахуванням розвитку ситуації в ЕЕС, що робить оптимальне керування нормальними режимами ЕЕС більш ефективним.

1. Мокін Б.І., Лежнюк П.Д., Лук'яненко Ю.В. Імітаційне моделювання в оптимальному керуванні нормальними режимами електричної системи // Вісн. ВПІ. – 1995. – № 3. – С. 5–9.
2. Лежнюк П.Д., Абдаллах Джалал, Гайдамака В.М. Автоматизація процесу компенсації впливу неоднорідності електричної системи на економічність її режимів // Вісн. ВПІ. – 1997. – № 1. – С. 63–66.
3. Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров. – М., 1994. – 382 с.
4. Митюшкин К.Г. Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах. – М., 1990. – 288 с.