

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДУ АНАЛІТИЧНОГО ОПИСУ КУСКОВО-АНАЛІТИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Спінул Л.Ю., доц., Скринник О.М., ас.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Осанадзе О.Г., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Для побудови математичної моделі нелінійного об'єкту (до яких належить і значна кількість електротехнічних), широко використовується кусково-лінійна або кусково-аналітична апроксимація його статичної характеристики. Недоліком цих способів апроксимації є складність диференціювання в граничних точках, що не дозволяє в повній мірі проаналізувати перехідні процеси в електричних колах.

Для вирішення цієї проблеми раніше було запропоновано метод аналітичного опису кусково-аналітичних залежностей з використанням спеціальних вагових селективних функцій [1], оптимізації якого і присвячено дану роботу.

Метою роботи є визначення умов оптимізації вагових селективних функцій у методі аналітичного опису складних кусково-аналітичних залежностей.

Методику дослідження побудовано на основі методів теорії ідентифікації і оптимізації нелінійних об'єктів [1, 2].

Вирішення задачі. Відомо, що значна кількість методів ідентифікації нелінійних об'єктів базується на їх представленні як комбінації статичної нелінійної частини та динамічної лінійної [1]. Особливість методів визначення параметрів нелінійної статичної частини моделі полягає в складності самої моделі в цілому і, крім того, може давати пульсації в проміжках між експериментально знятими точками. У той же час моделі окремих ділянок нелінійної статичної характеристики об'єкта можуть бути досить простими. Запропоновано [3] метод представлення статичної нелінійної характеристики об'єкта єдиною аналітичною моделлю у відповідності з яким шукана залежність на всьому діапазоні подається у вигляді суми добутоків

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \eta_i(x) \cdot f_i(x),$$

де $f_i(x)$ – апроксимація заданої статичної залежності на i -му інтервалі апроксимації, $\eta_i(x)$ – вагові коефіцієнти, які визначаються за умови найкращої (за відповідним показником) апроксимації експериментально знятої нелінійної залежності досліджуваного об'єкта відповідною моделлю. Наприклад, у задачі визначення максимальної потужності сонячної батареї [4] ваговими селективними функціями обрано функції виду

$$\eta(x) = \left(\frac{1}{\sqrt{1 + a^{-2}x^2}} \right)^m, \quad (1)$$

а у задачі забезпечення інваріантності напруги $U_{Я}$ до струму $I_{Я}$ генератора постійного струму [5] обрано такі функції

$$\eta_i(x) = \frac{1}{1 + (x_{i-1}/x)^m} - \frac{1}{1 + (x/x_i)^m}, \quad (2)$$

де i – номер інтервалу апроксимації, m – параметр методу.

За досить великих чисел m селективні аналітичні функції -"фільтри" (1,2) наближаються до сігнум-функцій

$$\varphi_i(x) = \begin{cases} 1, & x \in [x_{i-1}, x_i] \\ 0, & x \notin [x_{i-1}, x_i] \end{cases}, \quad (3)$$

залишаючись, на відміну від (3), диференційованими.

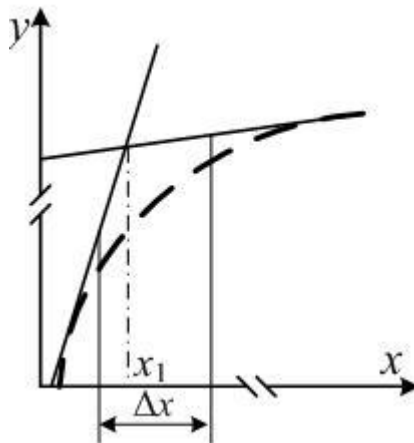


Рисунок 1 – Діапазон найбільшої похибки кусково-лінійної апроксимації

У разі кусково-лінійної апроксимації найбільша похибка буде знаходитись у певному діапазоні навколо граничних точок інтервалів апроксимації (рис. 1). Мінімізація цієї похибки і буде критерієм вибору оптимального значення параметру m вагових функцій (1, 2).

Оптимізація значення m проводилась для вихідної вольт-амперної характеристики транзистора КП102Е, графік якої і відповідна кусково-лінійна апроксимація наведені на рис. 2.

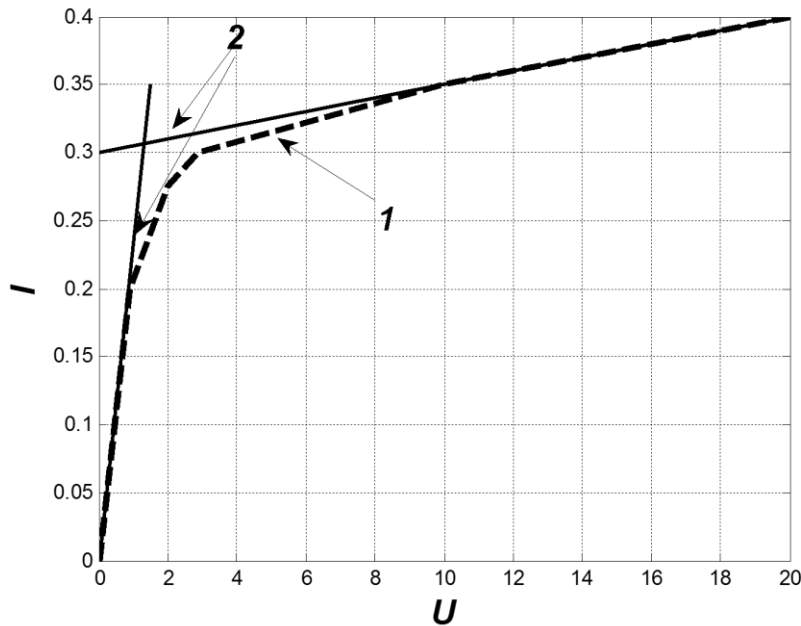


Рисунок 2 – гладка вихідна вольт-амперна характеристика транзистора КП102Е (1) і кусково-лінійна апроксимація (2)

На інтервалі $0 \leq U \leq U_1$ ВАХ транзистора була апроксимована лінійною залежністю $\hat{I} = 0,225U$, а на інтервалі $U_1 \leq U \leq \infty$ – лінійною залежністю $\hat{I} = 0,3 + 0,005U$, де $U_1 = 1,36$ В. Якщо на зазначених інтервалах лінійні функції достатньо точно апроксимують ВАХ, то поблизу границі інтервалів U_1 похибка буде найбільшою.

У відповідності з методом аналітичного опису кусково-аналітичних залежностей [3] результуюча апроксимація матиме такий вигляд:

$$\hat{I} = \left(\frac{1}{1 + (U/1,36)^m} \right) 0,225U + \left(\frac{1}{1 + (1,36/U)^m} \right) \cdot (0,3 + 0,005U). \quad (4)$$

Оптимальне значення параметру m визначалося з умови

$$m^* = \arg \min \frac{1}{N} \left[\sum_{k=1}^N \xi^2(U_k) \right],$$

де m^* – оптимальне значення параметру методу, $\xi(U_k) = I(U_k) - \hat{I}(U_k)$ – похибка апроксимації, що визначалась на інтервалі $1 \leq U \leq 3$.

На рис. 3 наведено графік залежності $\xi(m)$, який вказує на існування оптимального значення m , яке для моделі (4) дорівнює 6.

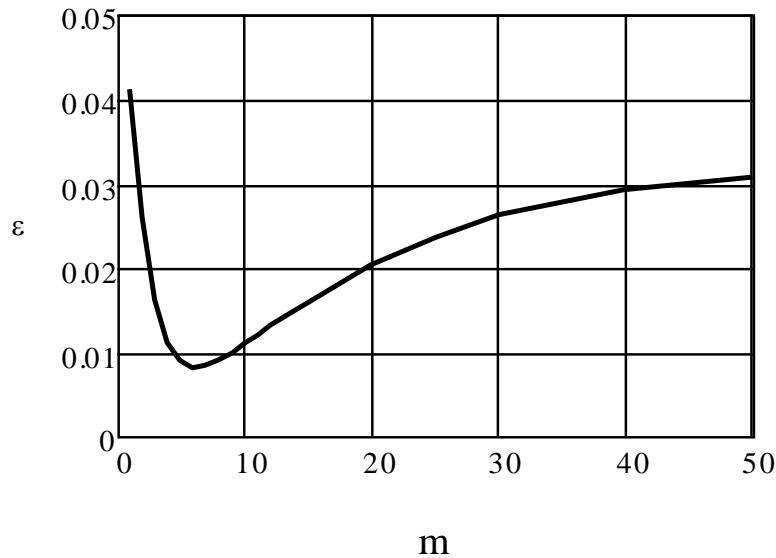


Рисунок 3 – Залежність середньо-квадратичної похибки від параметру m

Середньо-квадратична похибка кусково-лінійної апроксимації склала 0,026 мА; у методі аналітичного опису кусково-аналітичних залежностей без оптимізації параметра m – 0,03 мА, з оптимальним значенням параметру – 0,008 мА.

Висновки. Перехід від традиційних сігнум-функцій до гладких селективних та оптимізація ступеня m їх гладкості дозволяє отримати більш точні, аналітичні у всьому діапазоні прості залежності, які, крім того, можуть бути аналітично диференційованими, що дозволить виявити вплив параметрів об'єкта під час аналізу перехідних процесів.

Перелік посилань

1. Островерхов М. Я. Системи і методи ідентифікації електротехнічних об'єктів / М. Я. Островерхов, А. М. Сільвестров, О. М. Скринник. — К. : НАУ, 2016. — 324 с.
2. Самсонов В.В., Сільвестров А.М. Нариси з теорії ідентифікації. К.: НУХТ, 2012. – 222с.
3. Сільвестров А.М., Скринник О.М., Кривобока Г.І. Застосування теорії фільтрів для аналітичного опису логіко-аналітичних залежностей // Наукові вісті НТУУ “КПІ”, – 2013, №2. – С. 64–69
4. Спінул Л.Ю., Скринник О.М., Захарченко Ю.О. Знаходження максимальної потужності сонячної батареї методом аналітичного опису кусково-аналітичних залежностей // Сучасні проблеми електроенерготики та автоматики: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, Київ, 2015.
5. Спінул Л.Ю., Скринник О.М., Данилов Д.А. Побудова системи керування генератором постійного струму для забезпечення інваріантності напруги $U_{\text{я}}$ до струму $I_{\text{я}}$ якоря // Сучасні проблеми електроенерготики та автоматики: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, Київ, 2016.