

Анализ и моделирование электромагнитных процессов в силовых преобразовательных устройствах методом модулирующих функций // Технічна електродинаміка. – 1999. – С. 44–47. 4. Макаренко Н. П. Анализ процессов преобразования энергии в силовом тракте инверторов напряжения с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения. // Технічна електродинаміка. – 2000. – Ч. 2. – С. 109–112.

УДК 621.3

Я.М. Матвійчук*, О.В. Олива**

*Національний університет “Львівська політехніка”

**Львівський національний університет ім. Івана Франка

ЧИСЛОВА МОДЕЛЬ ПЕРЕРВНОГО ГЕНЕРАТОРА

© Матвійчук Я.М., Олива О.В., 2001

У статті описаний регуляризований числовий метод синтезу стійких моделей перервного генератора. Збудовано модель перервного генератора із використанням описаного методу. Запропонований метод синтезу стійких макромоделей перервного генератора дозволяє застосовувати його до реальних об'єктів довільної природи, описаних лише вихідним сигналом.

In this article numerical regularized method of synthesis interrupted generator model is described. A model of interrupted generator was constructed using the described method. Proposed method of synthesis interrupted generator models can be used for real objects of different nature, described only by output signal.

У статті розглядається метод числового синтезу моделі перервного генератора по заданому вихідному сигналу та наводиться приклад побудови моделі такого генератора.

Задача числового синтезу генератора перервного сигналу є суттєво некоректною [6].

За структуру моделі перервного генератора обрано (1), яка обґрунтована в [3]

$$\begin{aligned} \dot{y} &= y_1; \\ \dot{y}_1 &= y_2; \\ \dot{y}_2 &= \sum_{i,j,k=0}^r c_{ijk} y^i y_1^j y_2^k. \end{aligned} \quad (1)$$

Ідентифікація математичної моделі (1) в просторі змінних стану y , $y_1 = \frac{dy}{dt}$, $y_2 = \frac{dy_1}{dt}$,

де $y = x$, полягає у визначенні вектора коефіцієнтів \bar{c} за заданими множинами значень $\{y(t_n)\}$, $\{y_1(t_n)\}$, $\{y_2(t_n)\}$, $n=1, \dots, N$ згідно із задачею оптимізації в квадратичній метриці

$$\min_{\bar{c}} \sum_{n=1}^N (\dot{y}_2(t_n) - \sum_{i,j,k=0}^r c_{ijk} y^i(t_n) y_1^j(t_n) y_2^k(t_n))^2, \quad i+j+k \leq s. \quad (2)$$

Для формування задачі (2) необхідно лише обчислити похідні $y_1(t_n)$, $y_2(t_n)$, $\dot{y}_2(t_n)$, $n = \overline{1, N}$, а сама задача (2) є лінійною відносно \bar{c} , її розв'язок завжди існує та є єдиним. Однак пряме розв'язування задачі (2) дає систему (1), інтеграл якої $\tilde{y}(t)$ може бути як завгодно далеким від заданих значень $\{y(t_n)\}$, $n = \overline{1, \dots, N}$ внаслідок суттєвої некоректності задачі [6]. Регуляризація задачі (2) за методом регуляризуючого функціоналу

$$\min_{\bar{c}} \left(\sum_{n=1}^N (\dot{y}_2(t_n) - \sum_{i,j,k=0}^r c_{ijk} y^i(t_n) y_1^j(t_n) y_2^k(t_n))^2 + \alpha \sum_{i,j,k=0}^r c_{ijk}^2 \right) \quad (3)$$

не дає бажаних результатів.

Для регуляризації був застосований метод редукції [2] апроксимуючого полінома

$\sum_{i,j,k=0}^r c_{ijk} y^i y_1^j y_2^k$, що полягає у визначенні та видаленні “зайвих” членів полінома, які

можуть бути причиною некоректності задачі ідентифікації. Для цього у задані множини $\{y(t_n)\}$, $\{y_1(t_n)\}$, $\{y_2(t_n)\}$, $n = \overline{1, N}$ вносяться малі збурення і двічі розв'язується задача (2) для незбурених та збурених множин. Видаляється той член апроксимуючого полінома, коефіцієнт якого отримав при збуренні найбільше відносне відхилення. Процес редукції формує набір моделей (1). Остаточо обирається та модель, для інтеграла якої $\tilde{y}(t)$

квадратична похибка $\Delta = \sum_{n=1}^N (x(t_n) - \tilde{y}(t_n))^2$ є мінімальною.

Однак використання лише методу редукції апроксимуючого полінома для розв'язання поставленої задачі не дає задовільного результату. Тому було розроблено комбінований метод регуляризації (3), що полягає у поєднанні методу редукції та методу регуляризуючого функціоналу.

Для використання комбінованого методу регуляризації була запропонована така послідовність дій:

- 1) вибір початкової структури моделі, трикратне диференціювання сигналу x системи (4) із використанням сплайн інтерполяції та послідовного диференціювання сплайну;
- 2) обчислення коефіцієнтів системи диференційних рівнянь (1) за (3) для певних значень параметра α ;
- 3) інтегрування моделей, отриманих на другому кроці;
- 4) обрахунок середньоквадратичного відхилення Δ сигналів моделей, отриманих на попередньому етапі, та побудова графіку залежності Δ від параметра α ;
- 5) вибір оптимального значення параметра α за мінімумом Δ ;
- 6) проведення однієї ітерації процесу редукції (використовуючи (3) та отриманий на попередньому кроці оптимальний параметр α);
- 7) за наявності в апроксимуючому поліномі більше двох членів перейти до пункту 2;
- 8) відбір оптимальної моделі із отриманої сукупності за мінімумом Δ .

Із застосуванням викладеного вище методу було збудовано макромодель перервного генератора по вихідному сигналу x системи (4) [7] (рис. 1). Частота дискретизації 5 Гц,

інтервал апроксимації $[0, 150]$ с.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= x_1; \\ \dot{x}_1 &= 2(z - q)\eta x_1 - w_0^2 x; \\ \dot{z} &= \frac{z(1 - \frac{z^2}{3z_0^2})}{\tau} + \frac{\eta}{2}(r_0 - x^2); \end{aligned} \quad (4)$$

$\eta=1; \tau=300; r_0=0.5; w_0=10; z_0=0.5; q=0.1;$
 $x(0) = 0.01; x_1(0) = 0; z(0) = 0.$

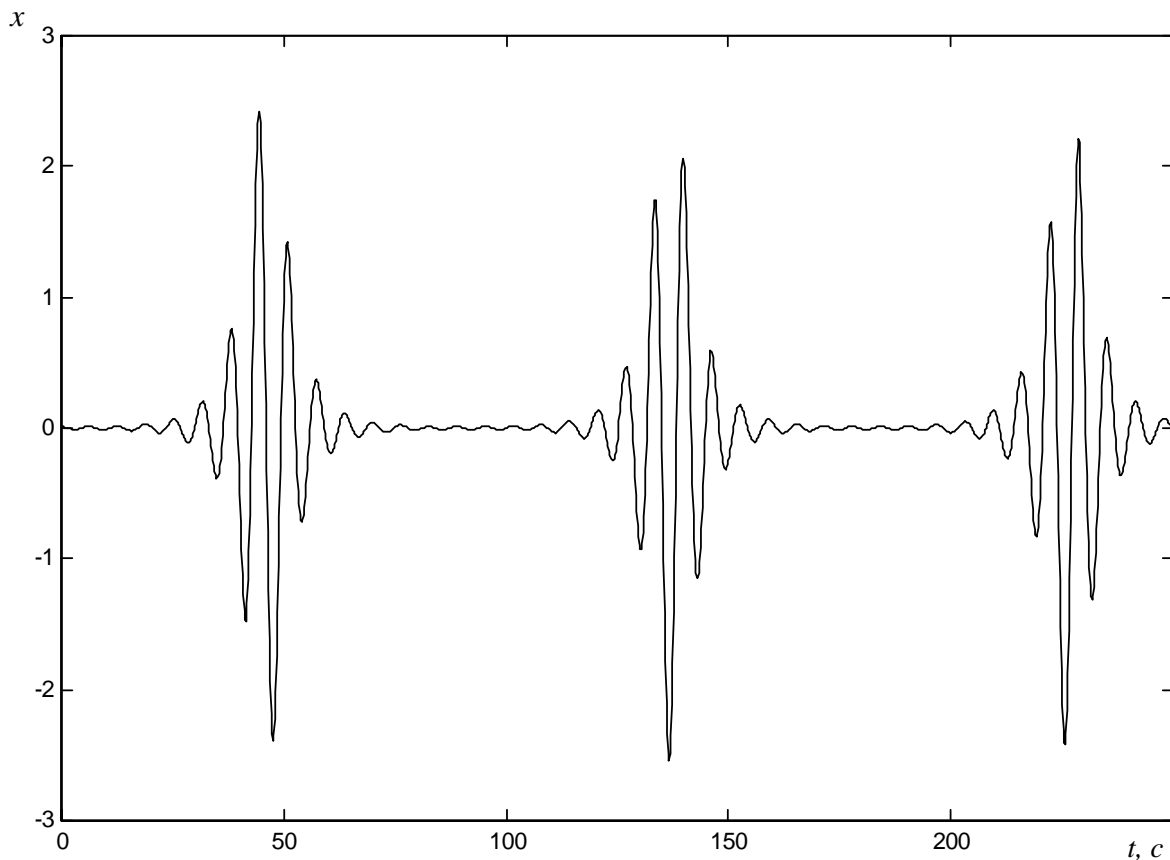


Рис. 1. Сигнал перервного генератора (4)

Для обчислення похідних x до третього порядку включно використано сплайн-інтерполяцію 9-го порядку та послідовне диференціювання сплайну.

Початкова структура моделі була обрана у вигляді (5).

$$\begin{aligned} \dot{y} &= y_1; \\ \dot{y}_1 &= y_2; \\ \dot{y}_2 &= \sum_{\substack{i,k=0 \\ j=-2}}^3 a_{ijk} y^i y_1^j y_2^k. \end{aligned} \quad (5)$$

Межі зміни степеня j розширено до від'ємних значень, що дозволило різко спростити задачу апроксимації і разом з тим не суперечило апроксимаційній теоремі Стоуна-Вейєрштраса [4].

Збурення у вихідні дані для задачі (3) вводилось додаванням до сигналу і його похідних випадкового шуму достатньо малої амплітуди. Для надійного розв'язку задачі апроксимації (3) використано нормування по кожній фазовій змінній зокрема. Під час редукції послідовно зменшується розмірність вектора \bar{c} , що утворює набір моделей. Найкращою за мінімумом Δ є модель (6).

$$\begin{aligned}
 \dot{y} &= y_1; \\
 \dot{y}_1 &= y_2; \\
 \dot{y}_2 &= -0.98632814y_2 - 3.1384254 \cdot 10^{-4} y_1^3 - 4.0011166 \cdot 10^{-2} y^2 y_2 - \\
 &- 7.2499217 \cdot 10^{-3} \frac{y^2}{y_1} + 0.99182300 \frac{y_2^2}{y_1} + 0.98455352 \frac{yy_2}{y_1} - \\
 &- 6.2906221 \cdot 10^{-3} \frac{y^3}{y_1^2} - 5.9600636 \cdot 10^{-3} \frac{y_2^3}{y_1^2} - 1.8510490 \cdot 10^{-2} \frac{y^2 y_2}{y_1^2} - \\
 &- 1.8179885 \cdot 10^{-2} \frac{yy_2^2}{y_1^2}; \\
 y(0) &= 6.9732113 \cdot 10^{-3}; \quad y_1(0) = -7.17847 \cdot 10^{-3}; \quad y_2(0) = -7.0295139 \cdot 10^{-3}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Всі обчислення виконано за допомогою спеціально створеного набору програм мовою MATLAB 6.

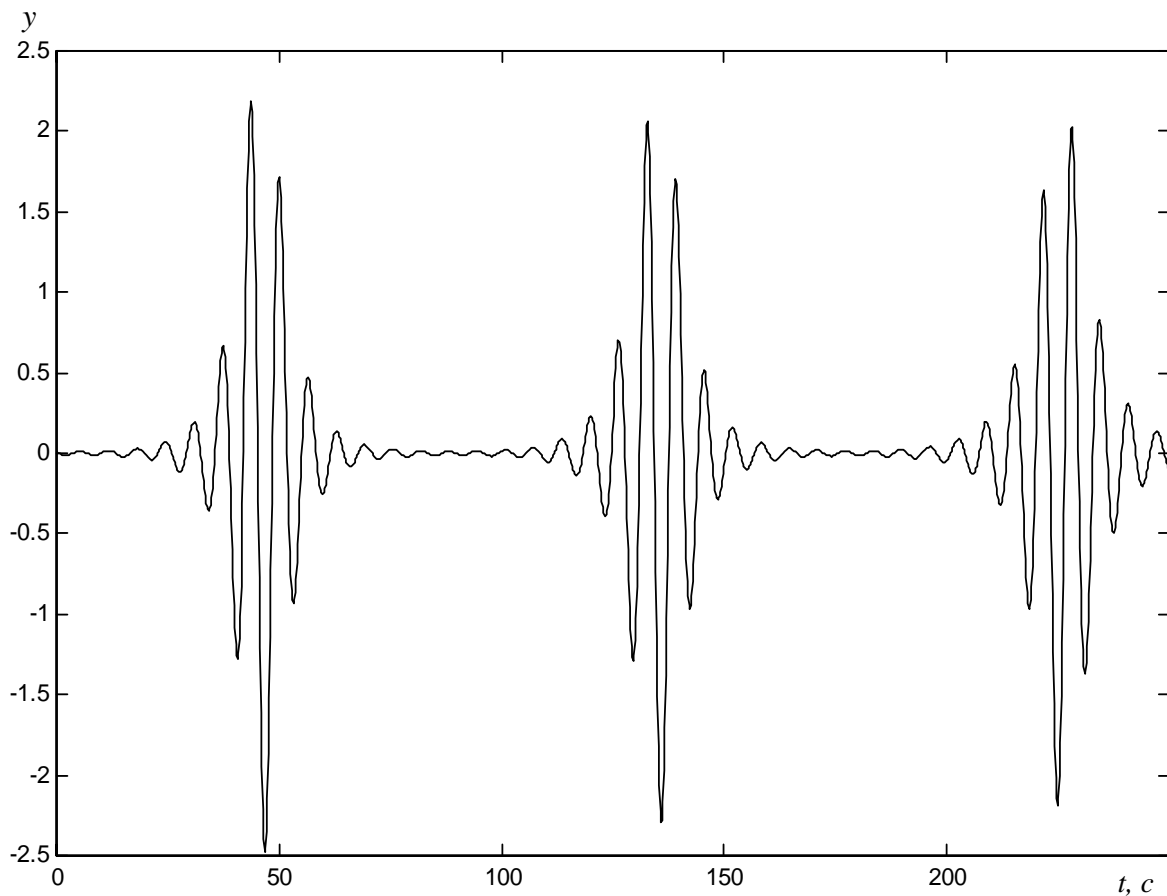


Рис. 2. Результат інтегрування макромоделі перервного генератора (6)

Результат інтегрування моделі (6) показаний на рис. 2. Інтегрування проводилось із використанням MATLAB-процедури `ode23s`, значення відносної похибки інтегратора $\text{RelTol} = 0.001$.

У результаті проведеної роботи по створенню макромоделі перервного генератора із використанням регуляризованого числового методу отримано макромодель перервного генератора (6). Квадратична похибка розв'язку $\Delta = 6,7$ на інтервалі апроксимації

Запропонований метод синтезу стійких моделей перервного генератора дозволяє застосовувати його до реальних об'єктів довільної природи, описаних лише вихідним сигналом.

1. Букашкин С.А. Математическое моделирование нелинейных динамических схем // *Изв. вузов. Радиоэлектроника*. – 1988. – № 6. – С. 13–21. 2. Матвійчук Я., Курганевич А. Регуляризація задачі ідентифікації макромоделей нелінійних динамічних систем методом редукації апроксимаційного базису // *Теоретична електротехніка*. – 2000. – Вип. 55. – С. 31–36. 3. Матвійчук Я.Н. Общие структуры макромоделей нелинейных динамических систем // *Электронное моделирование*. – 1994. – № 4. – С. 42–47. 4. Рудин У. Основы математического анализа. – М., 1966. 5. Синицкий Л.А., Фальшитын И.О. Математическая модель генератора квазипериодических колебаний // *Радиотехника и электроника*. – 1986. – Т. 31. – № 8. – С. 1598–1604. 6. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В. и др. Численные методы решения некорректных задач. – М., 1990. Цвігун О.О. Синхронізація квазіперіодичних систем третього порядку зовнішнім періодичним сигналом // *Теоретична електротехніка*. – 1998. – Вип. 54. – С. 76–84.