

Лінеаризація магнітних характеристик тягових двигунів постійного струму

Кедря М.М. к.т.н., доцент кафедри «Електротехніка та електромеханіка»
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, Карабут Ю.О. студентка групи 254М Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, Малюк
А.О., м.Кривий Ріг, Україна

Розглядається тяговий двигун послідовного збудження ЕД1414У1. На основі характеристики намагнічування двигуна проведено апроксимацію, а потім лінеаризацію отриманого аналітичного виразу по методу малого параметра.

Ключові слова: *аналіз перехідних процесів, тяговий двигун, характеристика намагнічування, залежність індуктивності від струму, апроксимація, метод малого параметра, поліном, графік відхилень значень апроксимуючої функції від дійсних значень в точках вихідних даних, максимальне відхилення, середня відносна похибка апроксимації, точка лінеаризації, лінеаризація.*

Рассматривается тяговый двигатель последовательного возбуждения ЕД1414У1. На основе характеристики намагничивания двигателя проведено аппроксимацию, а затем линеаризацию полученного аналитического выражения по методу малого параметра.

Ключевые слова: *анализ переходных процессов, тяговый двигатель, характеристика намагничивания, зависимость индуктивности от тока, аппроксимация, метод малого параметра, полином, график отклонений значений аппроксимирующей функции от действительных значений в точках выходных данных, максимальное отклонение, средняя относительная погрешность аппроксимации, точка линеаризации, линеаризация.*

The traction motor of sequential excitation ЕД1414У1 is considered. Based on the characteristics of the magnetization of the engine, an approximation was carried out, and then linearization of the obtained analytical expression using the small parameter method.

Keywords: *transient analysis, traction motor, magnetization characteristic, current dependence on inductance, approximation, small parameter method, log, graph of deviations of approximation function values from actual values at output data points, maximum deviation, average relative error of approximation, linearization point, linearization.*

Відомо [1,2], що при аналізі перехідних процесів в електричних машинах постійного струму, особливо в тягових, основним параметром, що впливає на хід процесів є індуктивність, яка змінюється внаслідок не лінійності характеристики намагнічування. Найбільше значення при цьому має насичення зубцової зони якоря.

Розглянемо тяговий двигун послідовного збудження ЕД1414У1 [3], що встановлені на електровозах ДЕ1. На рисунку 1 приведена характеристика намагнічування двигуна, а на рисунку 2 – залежність індуктивності двигуна від струму якоря [4].

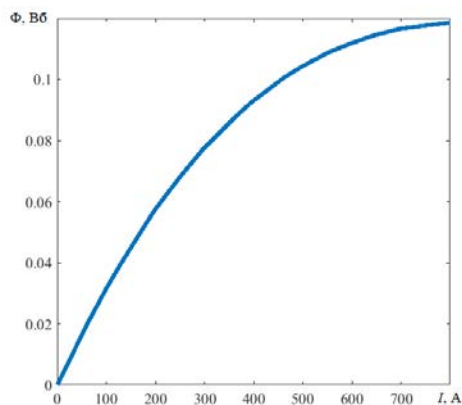


Рис.1. Магнітна характеристика двигуна

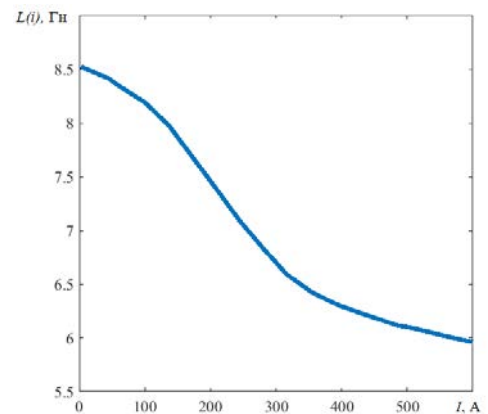


Рис.2. Залежність індуктивності двигуна від струму

Для отримання достатньо певних результатів досліджень проведемо апроксимацію характеристики намагнічування, а потім лінеарізуємо отриманий аналітичний вираз по методу малого параметра [5].

Для апроксимації представимо магнітну характеристику у вигляді наступних виразів: поліному 2-го ступеня $\Phi = a_2 i^2 + a_1 i + a_0$ (1) та поліному 3-го ступеня $\Phi = a_3 i^3 + a_2 i^2 + a_1 i + a_0$ (2).

Апроксимована поліномом 2-го ступеню характеристика показана на рисунку 3.

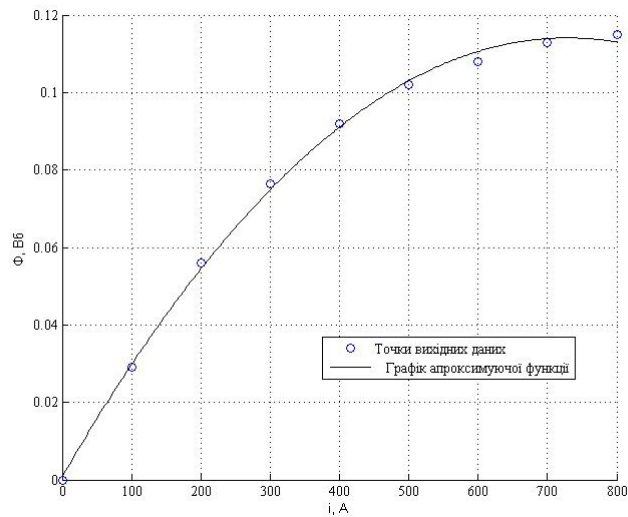


Рис. 3. Апроксимована поліномом 2-го ступеню характеристика намагнічування

Для оцінки якості апроксимації поліномом 2-го ступеню використовуємо графік відхилень значень даної апроксимуючої функції від дійсних значень в точках вихідних даних (Рис.4).

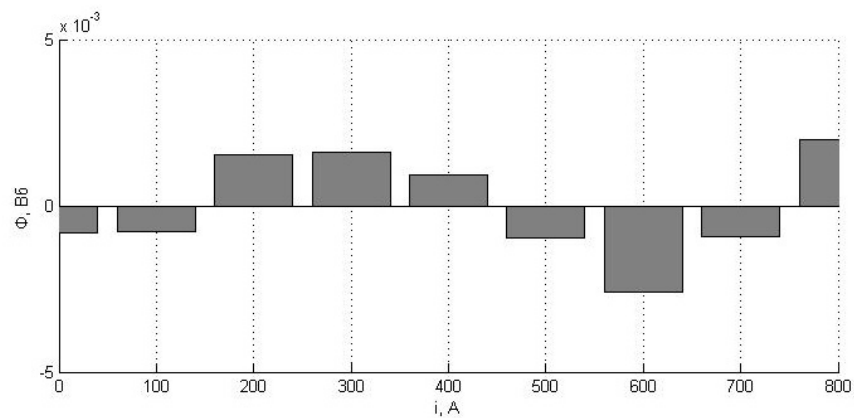


Рис. 4. Відхилення значень апроксимуючої функції поліномом 2-го ступеню від дійсних значень в точках вихідних даних

На рисунку 5 показана апроксимація характеристики намагнічування поліномом 3-го ступеню.

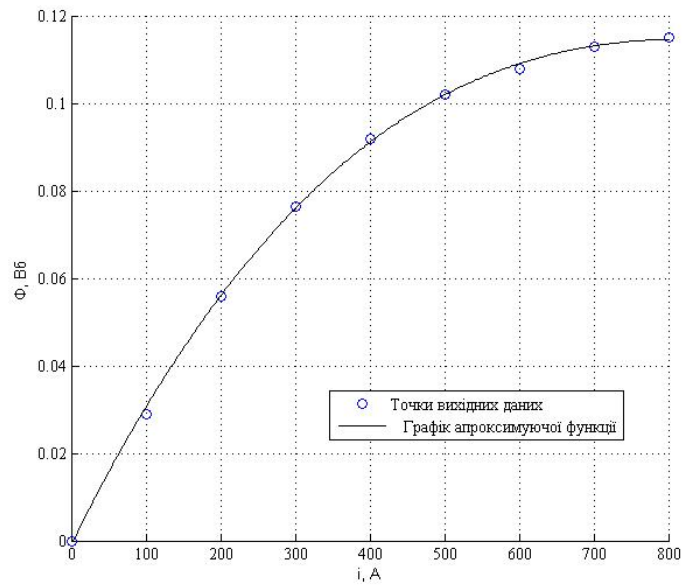


Рис. 5. Апроксимована поліномом 3-го ступеню характеристика намагнічування

Для оцінки якості апроксимації поліномом 3-го ступеню також використовуємо графік відхилень значень даної апроксимуючої функції від дійсних значень в точках вихідних даних (Рис.6).

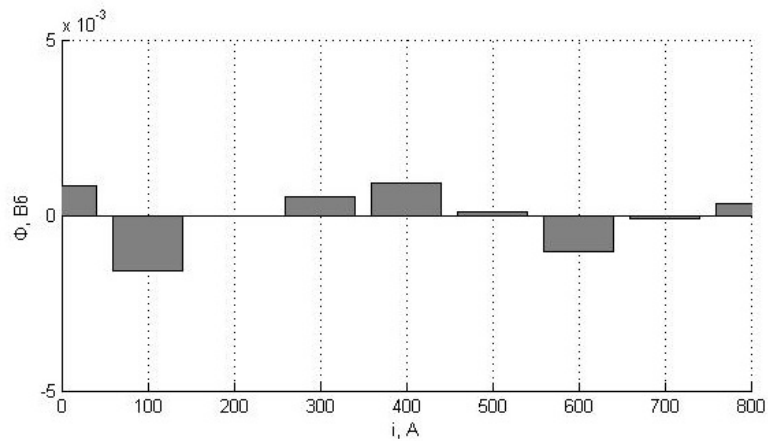


Рис. 6. Відхилення значень апроксимуючої функції поліномом 3-го ступеню від дійсних значень в точках вихідних даних

Апроксимуючий аналітичний вираз для використання обираємо за наступними критеріями: максимальне відхилення та середня відносна похибка апроксимації. Значення похибок та коефіцієнтів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз аналітичних виразів для апроксимації магнітної характеристики двигуна ЕД-141У1

Вираз	Коефіцієнти				Максимальне відхилення	Середня відносна похибка апроксимації
	a_0	a_1	a_2	a_3	%	%
$\Phi = a_2 i^2 + a_1 i + a_0$	$8,09 \cdot 10^{-4}$	$3,11 \cdot 10^{-4}$	$2,13 \cdot 10^{-7}$	-	6,17	3,52
$\Phi = a_3 i^3 + a_2 i^2 + a_1 i + a_0$	$8,38 \cdot 10^{-4}$	$3,46 \cdot 10^{-4}$	$3,31 \cdot 10^{-7}$	$9,83 \cdot 10^{-11}$	3,45	2,19

Коефіцієнти $a_0 \dots a_3$ було розраховано методом найменших квадратів з використанням програмного забезпечення MATLAB.

Максимальне відхилення розраховано за наступною формулою:

$$\Delta_{\max} = \max \left| \frac{\Phi_i - \Phi'_i}{\Phi_i} \right| \cdot 100\%, \quad (3)$$

де Φ_i – значення магнітного потоку в i -х точках вихідних даних;

Φ'_i – значення апроксимуючої функції для аргументів в i -х точках вихідних даних.

Середню відносну похибку розраховано за формулою:

$$e_{\text{відн.}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Phi_i - \Phi'_i}{\Phi_i} \right| \cdot 100\%, \quad (4)$$

де n – загальна кількість досліджуваних точок.

Відповідно до табл. 1 для використання обираємо вираз (2) у вигляді $\Phi = a_3 i^3 + a_2 i^2 + a_1 i + a_0$.

Знайдемо вплив малих відхилень струму на величину магнітного потоку продиференціювавши вираз (2):

$$d\Phi = (3a_3 i^2 + 2a_2 i + a_1) di. \quad (5)$$

Лінеаризуємо отриманий вираз (5) в області малих відхилень $i_0 \pm \Delta i$, прийнявши $i_0 = 400 \text{ A}$. Замінивши диференціали кінцевими приростами отримаємо:

$$\Delta\Phi = (3 \cdot 9,83 \cdot 10^{-11} \cdot 400^2 + 2 \cdot 3,31 \cdot 10^{-7} \cdot 400 + 3,46 \cdot 10^{-4}) \cdot \Delta i = 0,000659 \cdot \Delta i.$$

Звідки

$$\Delta\Phi = k\Delta i, \quad (6)$$

де $k = 0,000659$ – кутовий коефіцієнт дотичної до характеристики в точці лінеаризації (Рис.7).

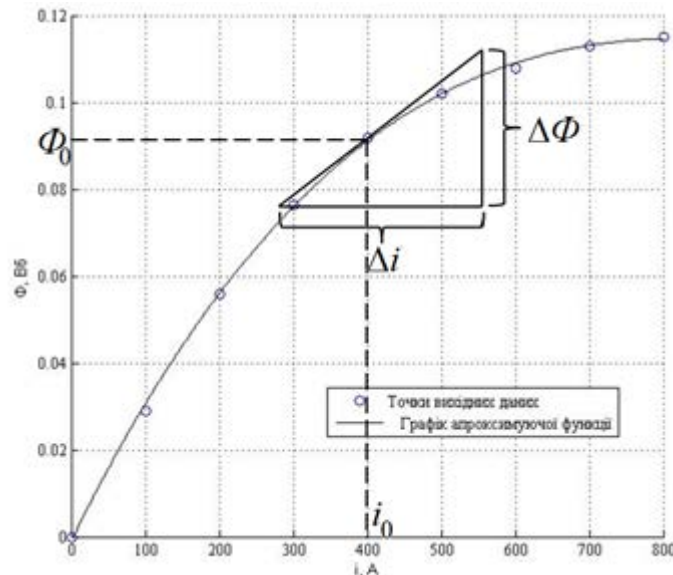


Рис.7. Вихідна магнітна характеристика та її лінеаризація в початковій точці зі струмом i_0

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования Гольдберг О.Д., Буль О.Б. и др. / Под ред. Гольдберга О.Д. – М.: Высшая школа, 2001. – 512с.
2. Безрученко В.М. Тягові електричні машини електрорухомого складу / В.М. Безрученко, В.К. Варченко, В.В. Чумак. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп., 2003. – 252с.
3. Электродвигатель постоянного тока тяговый типа ЭД141У1, ЭД141АУ1: Руководство по эксплуатации БИЛТ.652341.002РЭ, 1995.
4. Кедря М.М., Чумак И.В. Математическая модель тягового привода постоянного тока [Текст] / М.М. Кедря, И.В. Чумак // Вісник. – 2004. - №4. – С. 39-43.
5. Автоматизация электрического подвижного состава / Под ред. Д.Д. Захарченко. – М.: Транспорт, 1978.