

ПОБУДОВА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГЕНЕРАТОРОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНВАРІАНТНОСТІ НАПРУГИ $U_{я}$ ДО СТРУМУ $I_{я}$ ЯКОРЯ

Спінул Л.Ю., доц., Скринник О.М., ас.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Данилов Д.А., студент

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

Вступ. У багатьох випадках до машин постійного струму пред'являються такі вимоги, яким машини традиційної конструкції не задовольняють. Це призвело до створення ряду спеціальних типів машин постійного струму. До них можна віднести і генератори поперечного поля, які вперше були запропоновані німецьким інженером Э. Розенбергом (1904 р.). У теперішній час вони застосовуються, головним чином, для живлення електроустаткування пасажирських вагонів залізниць і працюють паралельно з акумуляторною батареєю. Ці генератори приводяться в рух від осі вагона і у широкому діапазоні зміни частоти обертання n дають постійну напругу $U = \text{const}$. Відомо, що окрім частоти обертання напруга генератора нелінійно залежить від струму збудження. Зменшити вплив струму збудження на ЕРС генератора і, відповідно, напругу для генераторів звичайної конструкції можна застосувавши підхід, що базується на лінеаризації характеристик генератора.

Метою роботи є побудова системи керування генератором постійного струму на основі прямої регульовальної характеристики $E_{я}(I_{з})$ та інверсної до неї залежності $I_{з}(E_{я})$ для лінеаризації його характеристик, яка забезпечить їх інваріантність до можливих збурень і підвищить ефективність системи керування генератором.

Результати досліджень. У роботі застосована методика дослідження, побудована на основі методів теорії ідентифікації нелінійних об'єктів (НО). Їх значна кількість використовує представлення НО як комбінацію статичної нелінійної частини та динамічної лінійної [3]. Недоліком відомих способів побудови статичної нелінійної характеристики об'єкта ідентифікації єдиною аналітичною моделлю [2] є її за заданої точності апроксимації складність, в той час як на окремих ділянках локальні моделі можуть бути досить простими. Тому був запропонований підхід, коли шукана залежність на всьому діапазоні зміни певного параметру подається у вигляді суми базисних функцій, вагові коефіцієнти яких підбираються за умови найкращої (за відповідним показником) апроксимації експериментально знятої залежності відповідною моделлю. Така модель за заданої точності апроксимації може бути надто складною, що крім того може привести до пульсації в проміжках між експериментально знятими точками.

Щоб забезпечити бажану точність апроксимації і зменшити пульсації, нелінійність $f(x)$ описують кусково-аналітичними непараметричними

моделями. Ці моделі пов'язані між собою селективними сігнум-функціями з логікою переходу від однієї області до іншої. Але такий підхід ускладнює їх подальше диференціювання в точках переключення. Сутність методу опису непараметричних моделей параметричними, аналітичними в усьому діапазоні зміни x , полягає в застосуванні для кусково-аналітичних моделей замість сігнум-функцій гладких (диференційованих) селективних функцій, подібних до частотних фільтрів. Тоді статичну нелінійність $f(x)$ можна представити аналітично так:

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

де $f_i(x)$ – прості і досить точні локальні моделі $f(x)$ на інтервалі $x \in [x_{i-1}, x_i]$, $\eta_i(x)$ – вагові аналітичні для всього діапазону селективні для інтервалу $[x_{i-1}, x_i]$ функції виду:

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

За досить великих чисел m селективні аналітичні функції -"фільтри" (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.

Забезпечення інваріантності напруги $U_{\text{я}}$ до струму $I_{\text{я}}$ якоря генератора постійного струму.

Робота генератора постійного струму (ГПС) описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} U_{\text{я}} = E_{\text{я}}(I_3) - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}, \\ L_3 \frac{dI_3}{dt} + I_3(t) \cdot R_3 = U_3(t), \end{cases}$$

де $E_{\text{я}}(I_3)$ - регулювальна характеристика генератора; L_3, R_3, I_3 – індуктивність, опір і струм кола збудження магнітного потоку, від якого нелінійно залежить електрорушійна сила якоря $E_{\text{я}}$, $R_{\text{я}}$ – електричний опір обмотки якоря ГПС.

Згідно до вище наведеного методу отримано (рис. 1,а) аналітичну в усьому діапазоні модель нелінійності $E_{\text{я}}(I_3)$:

$$E(I_3) \cong (\beta_0 + \beta_1 I_3 + \beta_2 I_3^3) \cdot \eta_1(I_3) + (\beta_3 + \beta_4 I_3) \cdot \eta_2(I_3), \quad (4)$$

де вагові функції мають вигляд:

$$\eta_1(I_3) = \left(1 + (1.43 \cdot I_3)^{40}\right)^{-1}, \quad \eta_2(I_3) = \left(1 + (0.7 \cdot I_3^{-1})^{40}\right)^{-1}. \quad (5)$$

Параметри $(\beta_0, \dots, \beta_4)$ параметричної моделі (4) отримано методом найменших квадратів з непараметричної моделі (рис. 1а).

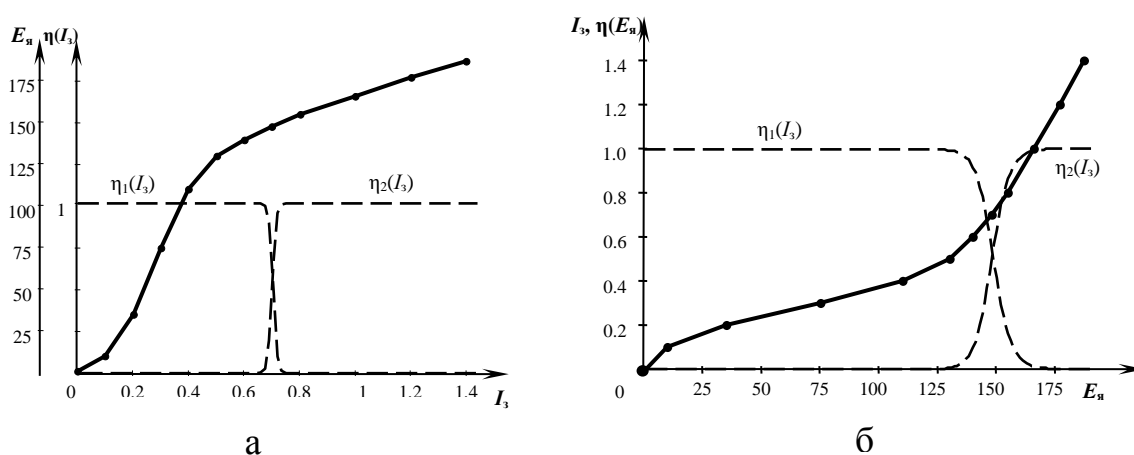


Рисунок 1 - Графіки залежності: а) регулювальна характеристика $E_я(I_3)$ (точки) та її апроксимація (лінія); б) інверсна $I_3(E_я)$ (точки) та її апроксимація (лінія).

Для компенсації інерційності і лінеаризації каналу управління ГПС послідовно ввімкнено інверсну до моделі (4, 5) коректуючу ланку (КЛ) (рис. 2). Символом p на рис. 2 позначено операцію диференціювання. Інверсна до залежності (4) модель $\hat{I}_3(E_я)$ (рис. 1,б) є рішенням рівняння (4) відносно I_3 :

$$\hat{I}_3(E_я) = \hat{I}_{31}(E_я) \cdot \eta_1(E_я) + \hat{I}_{32}(E_я) \cdot \eta_2(E_я), \quad (6)$$

$$\text{де } \hat{I}_{31}(E_я) = \sqrt[3]{\frac{E_я - \beta_0}{\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{\beta_1}{3\beta_2}\right)^3 + \left(\frac{E_я - \beta_0}{2\beta_2}\right)^2}} + \sqrt[3]{\frac{E_я - \beta_0}{\beta_2} - \sqrt{\left(\frac{\beta_1}{3\beta_2}\right)^3 + \left(\frac{E_я - \beta_0}{2\beta_2}\right)^2}},$$

$$\hat{I}_{32}(E_я) = \frac{E_я - \beta_3}{\beta_4} - \frac{\beta_3}{\beta_4},$$

$$\eta_1(E_я) = \left(1 + (0.0067 \cdot E_я)^{40}\right)^{-1}, \quad \eta_2(E_я) = \left(1 + (150 \cdot E_я^{-1})^{40}\right)^{-1}. \quad (7)$$

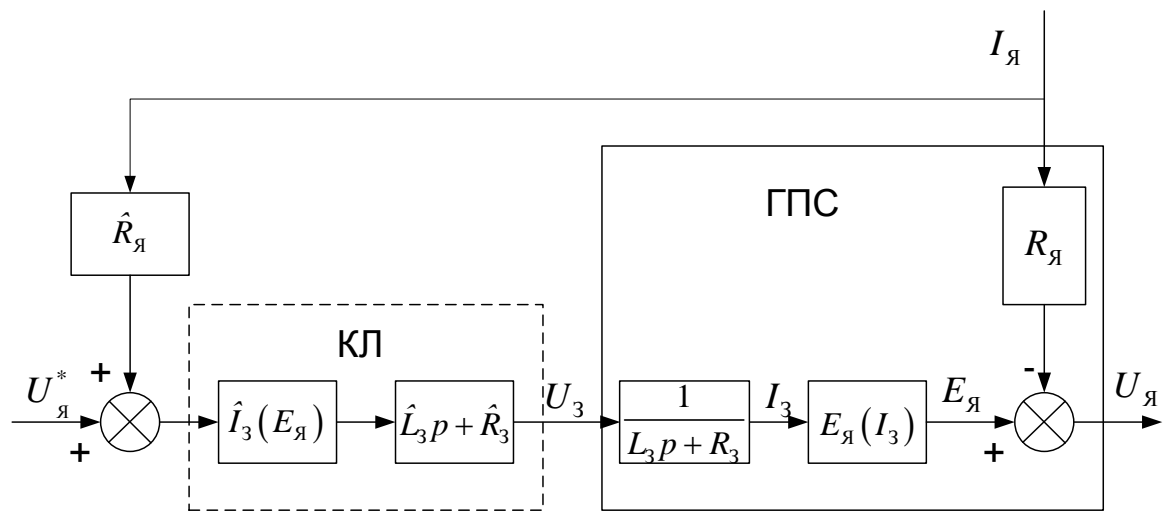


Рисунок 2 - Лінеаризована та інваріантна до збурення $I_{\text{я}}$ система розімкненого керування ГПС

Як випливає з рівнянь (4, 5) ГПС і (6, 7) КЛ, якщо оцінки $\hat{L}_3, \hat{R}_3, \hat{R}_{\text{я}}, \hat{E}_{\text{я}}(I_3)$ близькі до дійсних значень параметрів об'єкта, то в системі (рис. 2) має місце лінеаризація каналу управління, компенсація інерційності залежності дії струму $I_3(U_3)$ і $I_{\text{я}}$, як збурювального впливу $I_{\text{я}}$:

$$U_{\text{я}} = U_{\text{я}}^* - (R_{\text{я}} - \hat{R}_{\text{я}}) \cdot I_{\text{я}}.$$

Таким чином, зміна струму якоря генератора, спричинена зміною навантаження не буде впливати на зміну напруги генератора, вона буде залишатися практично незмінною.

Висновок. Застосування методу непараметричної ідентифікації нелінійного об'єкта дає можливість в реальних нестаціонарних умовах забезпечити оптимальність функціонування відповідних електротехнічних систем і таким чином підвищити їх ефективність.

Перелік посилань

1. Самсонов В.В., Сільвестров А.М. Нариси з теорії ідентифікації. К.: НУХТ, 2012. – 222 с.
2. 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
3. Пухов Г.Е., Хатиашвили Ц.С. Модели технологических процессов, К.: Техніка, 1974. – 200 с.
4. Льюнг Л. Идентификация систем. Пер с англ. Под ред. Цыпкина Я.З. – М.: Наука, 1991. – 432с.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1974. – 831 с.