

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО СОСТОЯНИЮ

Дмитриенко В.Д., Носков В.И., Липчанский М.В., Нестеренко А.О.

Национальный технический университет

"Харьковский политехнический институт", г. Харьков

В работе рассмотрены вопросы линеаризации математической модели электропоезда на основе методов геометрической теории управления. Разработано программное обеспечение для автоматизации трудоёмких аналитических преобразований при синтезе линейных моделей в рамках геометрической теории управления.

Математическая модель электропоезда имеет вид:

$$\frac{dx_1}{dt} = a_{10} + a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{131e}x_3 e^{t\tau_1} + a_{11u}x_1u; \quad \frac{dx_2}{dt} = a_{21}x_1 + a_{22}x_2;$$

$$\frac{dx_3}{dt} = a_{30} + a_{31}x_1 + a_{31e}x_1 e^{t\tau_1} + a_{33}x_3 + a_{333}x_3^2,$$

где x_1 – ток якоря; t – время; $a_{10}, a_{11}, \dots, a_{333}, \tau$ – постоянные коэффициенты; x_2 – ток возбуждения; x_3 – обороты двигателя; u – управление.

Для рассматриваемой математической модели множество $\{Y, L_X Y\}$, где X, Y – векторные поля, связанные с системой дифференциальных уравнений и $L_X Y$ – производная Ли, не является инволютивным. Для линеаризации этой нелинейной системы обратной связью по состоянию была введена дополнительная переменная x_4 и уравнение $\frac{dx_4}{dt} = u$. Для модели 4-го порядка множество $\{Y, L_X Y, L_X^2 Y\}$, где $L_X^2 Y$ – производная Ли 2-го порядка, не является инволютивным.

Были проведены исследования, связанные с дальнейшим введением дополнительных фазовых координат в канал с управлением u . В общем виде, для расширенной модели до n -го порядка, матрица $[Y, L_X Y, \dots, L_X^{n-2} Y]$ имеет вид:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & (-1)^{n+1} a_{11u} x_1 & (-1)^{n+1} (a_{10} + a_{12} x_2 + a_{13} x_3 + a_{131e} x_3 e^{t\tau_1} - ta_{131e} x_3 e^{t\tau_1}) \\ 0 & 0 & \dots & 0 & (-1)^n a_{21} a_{11u} x_1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & (-1)^n a_{11u} x_1 (a_{31} + a_{311e} e^{t\tau_1} + ta_{311e} x_1 e^{t\tau_1}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Множества векторов $\{Y, L_X Y, \dots, L_X^{n-2} Y\}$ не является инволютивным. Таким образом, данная модель электропоезда не может быть линеаризована обратной связью по состоянию.