Решить задачу компенсации возмущения для нелинейного объекта вида

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -\sin(x_2^2) - 2x_2 + u + f, \end{cases}$$

где $f = \cos\theta t$. Частота θ неизвестна. Параметры фильтров при параметризации переменной f и параметры гурвицевой матрицы $A_ж$ выбрать произвольно.

Решение.

Возмущающее воздействие в общем виде выглядит следующим образом:

$$f = \theta_f^T \xi_f, \text{где}$$

$\theta_f^T = \left[k_{f0} - l_o, k_{f_1} - l_1, \dots, k_{f_{r-1}} - l_{r-1}\right]$ – вектор постоянных параметров,

$\xi_f = \left[\frac{1}{K_f(s)}[f], \frac{s}{K_f(s)}[f], \dots, \frac{s^{n-1}}{K_f(s)}[f]\right]$ – вектор состояния фильтра, которое описывается выражением

$$\dot{\xi}_f = A_{0f}\xi_f + b_{0f}f,$$

$$A_{0f} = \begin{bmatrix} 0 \\ -k_f \end{bmatrix}$$

Поскольку вектор состояния не доступен измерению, необходимо построить его оценку. Для этого воспользуемся следующим наблюдателем:

$$\begin{cases} \hat{\xi}_f = \eta + Nx \\ \dot{\eta} = A_{0f}\eta + \left(A_{0f}N - NA\right)x - Nbu \end{cases}$$

Матрица N находится из условия

$$Nd = b_{0f}$$

$$N\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} => N = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Динамическая модель ошибок описывается следующим уравнением:

$$\dot{x} = A_ж x + b\tilde{\theta}_f^T \hat{\xi}_f$$

Управляющий сигнал состоит из двух частей: компенсирующей u_c и стабилизирующей u_s

$$u_s = -Kx + \sin(x_2^2)$$

$$u_c = -\hat{\theta}_f^T \hat{\xi}_f$$

$$\dot{\hat{\theta}} = \gamma \hat{\xi}_f bTPx, \text{где}$$

где P – симметричная положительно определенная матрица, являющаяся решением уравнения Ляпунова

$$A_ж^T P + PA_ж = -Q$$

при $Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$