Косовець М.А., науковий співробітник,
Київський національний університет ім.Тараса Шевченко
Товстенко Л.М., провідний інженер-програміст,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

ОЦІНЮВАННЯ ПЕРВИННИХ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НА ВИХОДІ 3D ТГЦ РАДАРУ ЗОБРАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРАЛЬНОЇ МОДЕЛІ

Для моделі гармонійного коливання, а саме: $y_k(t) = U_k \cos(\omega_k t + \varphi_k)$, можна навести узагальнену формулу для S - кратного застосування операції інтегрування:

$$y_k^{(s+)}(t) = \begin{cases} (-1^{s/2}) \dfrac{1}{\omega_k^s} y_k^{(0+)}(t) - \sum\limits_{i=1}^{s} \dfrac{t^{s-i} U_k}{\omega_k^i} \cos(\varphi_k - \dfrac{i\pi}{2}), \ s = 2m \\ (-1^{(s-1)/2}) \dfrac{1}{\omega_k^{s-1}} y_k^{(1+)}(t) - \sum\limits_{i=1}^{s-1} \dfrac{t^{s-i} U_k}{\omega_k^i} \cos(\varphi_k - \dfrac{i\pi}{2}), \ s = 2m+1 \\ \qquad m = 1, 2, \ldots, \end{cases} \quad (1)$$

де $y_k^{(0+)}(t) = y_k(t)$ — гармонічна модель для k-ї характеристичної функції, $y_k^{(s+)}(t) = \underbrace{\int_0^t \ldots \int_0^t \int_0^t}_{s} y_k(t) dt dt \ldots dt$ аа — результат S - кратного інтегрування гармонічної моделі.

В дискретному варіанті вираз (1) буде виглядати так:

$$y_k^{(s+)}[n] = \begin{cases} (-1^{s/2}) \dfrac{T_s^s}{\Omega_k^s} y_k[n] - T_s^s \sum\limits_{i=1}^{s} \dfrac{n^{s-i} U_k}{\Omega_k^i} \cos(\varphi_k - \dfrac{i\pi}{2}), \ s = 2m \\ (-1^{(s-1)/2}) \dfrac{T_s^s}{\Omega_k^{s-1}} \sum\limits_{i=0}^{n} y_k[i] - T_s^s \sum\limits_{i=1}^{s-1} \dfrac{n^{s-i} U_k}{\Omega_k^i} \cos(\varphi_k - \dfrac{i\pi}{2}), \ s = 2m+1 \end{cases} \quad (2)$$

Рівняння спостереження отримаємо з виразу (2) $\mathbf{Y}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{X}_k + \mathbf{E}_k$ для інтегральної моделі, яке буде виглядати так:

$$\frac{1}{T_s^s} \begin{bmatrix} y_k^{(s+)}[n_1] \\ y_k^{(s+)}[n_2] \\ \ldots \\ y_k^{(s+)}[n_N] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-1^{s/2}) y_k[n_1] & -1 & \ldots & -\dfrac{n_1^{s-4}}{(s-4)!} & -\dfrac{n_1^{s-3}}{(s-3)!} & -\dfrac{n_1^{s-2}}{(s-2)!} & -\dfrac{n_1^{s-1}}{(s-1)!} \\ (-1^{s/2}) y_k[n_2] & -1 & \ldots & -\dfrac{n_2^{s-4}}{(s-4)!} & -\dfrac{n_2^{s-3}}{(s-3)!} & -\dfrac{n_2^{s-2}}{(s-2)!} & -\dfrac{n_2^{s-1}}{(s-1)!} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ (-1^{s/2}) y_k[n_N] & -1 & \ldots & -\dfrac{n_N^{s-4}}{(s-4)!} & -\dfrac{n_N^{s-3}}{(s-3)!} & -\dfrac{n_N^{s-2}}{(s-2)!} & -\dfrac{n_N^{s-1}}{(s-1)!} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dfrac{1}{\Omega_k^s} \\ \dfrac{U_k}{\Omega_k^s} \cos(\varphi_k - \dfrac{s\pi}{2}) \\ \ldots \\ +\dfrac{U_k}{\Omega_k^4} \cos\varphi_k \\ -\dfrac{U_k}{\Omega_k^3} \sin\varphi_k \\ -\dfrac{U_k}{\Omega_k^2} \cos\varphi_k \\ +\dfrac{U_k}{\Omega_k^1} \sin\varphi_k \end{bmatrix}_{s=2m} + \begin{bmatrix} \varepsilon_k[n_1] \\ \varepsilon_k[n_2] \\ \ldots \\ \varepsilon_k[n_N] \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{T_s^s} \begin{bmatrix} y_k^{(s+)}[n_1] \\ y_k^{(s+)}[n_2] \\ \ldots \\ y_k^{(s+)}[n_N] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-1^{s/2}) y_k[n_1] & -1 & \ldots & -\dfrac{n_1^{s-4}}{(s-4)!} & -\dfrac{n_1^{s-3}}{(s-3)!} & -\dfrac{n_1^{s-2}}{(s-2)!} & -\dfrac{n_1^{s-1}}{(s-1)!} \\ (-1^{s/2}) y_k[n_2] & -1 & \ldots & -\dfrac{n_2^{s-4}}{(s-4)!} & -\dfrac{n_2^{s-3}}{(s-3)!} & -\dfrac{n_2^{s-2}}{(s-2)!} & -\dfrac{n_2^{s-1}}{(s-1)!} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ (-1^{s/2}) y_k[n_N] & -1 & \ldots & -\dfrac{n_N^{s-4}}{(s-4)!} & -\dfrac{n_N^{s-3}}{(s-3)!} & -\dfrac{n_N^{s-2}}{(s-2)!} & -\dfrac{n_N^{s-1}}{(s-1)!} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dfrac{1}{\Omega_k^s} \\ \dfrac{U_k}{\Omega_k^s} \cos(\varphi_k - \dfrac{s\pi}{2}) \\ \ldots \\ +\dfrac{U_k}{\Omega_k^4} \cos\varphi_k \\ -\dfrac{U_k}{\Omega_k^3} \sin\varphi_k \\ -\dfrac{U_k}{\Omega_k^2} \cos\varphi_k \\ +\dfrac{U_k}{\Omega_k^1} \sin\varphi_k \end{bmatrix}_{s=2m} + \begin{bmatrix} \varepsilon_k[n_1] \\ \varepsilon_k[n_2] \\ \ldots \\ \varepsilon_k[n_N] \end{bmatrix} \quad (3)$$

Результатом розв'язання рівняння спостереження (3) є вектор оптимальних параметрів, первинні параметри гармонічного коливання визначені так: $\Omega_k = \sqrt[s]{\dfrac{1}{\mathbf{X}_{opt}(1)}}$, $\varphi_k = \arctan\left(-\dfrac{\mathbf{X}_{opt}(s+1)}{\Omega_k^1 \mathbf{X}_{opt}(s)}\right)$, $U_k = \left(-\dfrac{\Omega_k^2 \mathbf{X}_{opt}(s)}{\cos\varphi_k} + \dfrac{\Omega_k^1 \mathbf{X}_{opt}(s+1)}{\sin\varphi_k}\right) / 2.$

Коректні результати отримали навіть в умовах значних шумів. Для відношення сигнал/шум на рівні 35 дБ і менше спостерігаються незначні похибки оцінювання, які становлять не більше 0,2% від точного значення частоти коливання, не більше 1% від точного значення фази коливання і не більше 1% від точного значення амплітуди коливання. Результати оцінювання фази і амплітуди мають адитивну систематичну похибку, яка добре помітна при відношенні сигнал/шум на рівні 60 дБ і більше, рис. 1.

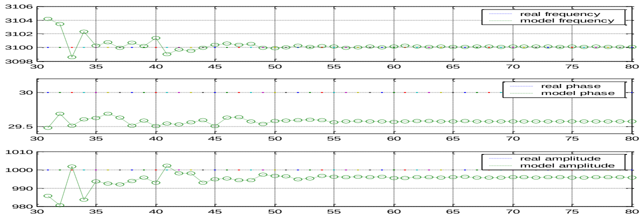

Рис.1. Результат оцінювання параметрів за інтегральною моделлю.

Наведений підхід дозволяє оцінювати всі три первинних параметри гармонічного коливання (частоту, фазу і амплітуду).