выбора вариантов систем. -М.: Наука, 1986.
3. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Проектно-оптимальные решения многокритериальных задач. -М.: Наука, 1982.
4. Сергиенко И.В., Лебедев Т.Т., Рощин А.Л. Приближенные методы решения задач дискретной оптимизации. -К.: Наукова думка, 1980.
5. Алексеев О.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. -М.: Наука, 1987.
6. Дегтерев Ю.И. Методы оптимизации. -М.: Сов. радио, 1980.

Поступила в редколлегию 28 декабря 1999 г.

УДК 539.4:620.178.32

К ВОПРОСУ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ КОРРЕКЦИИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕЙ

И.Д.Пузько, доц.

В работе [1] по взаимному расположению главных осей жесткости и осей инерции рассмотрена возможность разделения переменных в уравнениях движения подвижной системы электродинамических вибровозбудителей (ЭДВ) при отсутствии связанности координат.

Рассмотрим возможность введения коррекции при условии связанности координат для различных случаев разделения координат, что дополняет результаты исследования, изложенные в [2].

Случай I При расположении центра O_1 жесткости в плоскости yOz при однонаправленных колебаниях вдоль оси Oy в режиме ГТ операционные изображения $Y(p)$, $Z(p)$, $\Lambda(p)$ при движении вдоль осей Oy, Oz и поворота относительно оси Ox имеют вид соответственно [1] :

$$Y(p)=I(p)\left(\sum_{k=0}^{2}\tilde{A}_{2k}p^{2k}\right)\bigg/\left(\sum_{n=0}^{3}\tilde{B}_{2n}p^{2n}\right), \tag{1}$$

$$Z(p)=I(p)\left(\sum_{k=0}^{1}\tilde{A}^{*}_{2k}p^{2k}\right)\bigg/\left(\sum_{n=0}^{3}\tilde{B}_{2n}p^{2n}\right), \tag{2}$$

$$\Lambda(p)=I(p)\left(\sum_{k=0}^{2}\tilde{A}^{**}_{2k}p^{2k}\right)\bigg/\left(\sum_{n=0}^{3}\tilde{B}_{2n}p^{2n}\right), \tag{3}$$

где коэффициенты $\tilde{A}_{2k}, \tilde{A}^{*}_{2k}, \tilde{A}^{**}_{2k}$ определяются параметрами ЭДВ.

При $p=j\omega$ из (1), (2), (3) получим выражения для АЧХ $W_I^Y(\omega)$, $W_I^Z(\omega)$, $W_I^\Lambda(\omega)$:

$$W_I^Y(\omega)=\left[\sum_{k=0}^{2}(-1)^k A_{2k}\omega^{2k}\right]\bigg/\left[\sum_{n=0}^{3}(-1)^n B_{2n}\omega^{2n}\right], \tag{4}$$

$$W_I^Z(\omega)=\left[\sum_{k=0}^{1}(-1)^k A_{2k}^{*}\omega^{2k}\right]\Bigg/\left[\sum_{n=0}^{3}(-1)^n B_{2n}\omega^{2n}\right], \qquad (5)$$

$$W_I^\Lambda(\omega)=\left[\sum_{k=0}^{2}(-1)^k A_{2k}^{**}\omega^{2k}\right]\Bigg/\left[\sum_{n=0}^{3}(-1)^n B_{2n}\omega^{2n}\right]. \qquad (6)$$

Из (4), (5), (6) следует, что при $\omega \neq const$ имеет место $Y_a(\omega)\neq const,\ Z_a(\omega)\neq const,\ \Lambda_a(\omega)\neq const$. Для обеспечения условий независимости Y_a, Z_a, Λ_a от ω необходимо выполнить преобразования I_a соответственно:

$$I_{ay}^{*}=I_a K_I^Y(\omega), \qquad (7)$$

$$I_{az}^{*}=I_a K_I^Z(\omega), \qquad (8)$$

$$I_{a\alpha}^{*}=I_a K_I^\Lambda(\omega), \qquad (9)$$

где

$$K_I^Y(\omega)=\left(\sum_{n=0}^{3}(-1)^n B_{2n}\omega^{2n}\right)\Bigg/\left(\sum_{k=0}^{2}(-1)^k A_{2k}\omega^{2k}\right), \qquad (10)$$

$$K_I^Z(\omega)=\left(\sum_{n=0}^{3}(-1)^n B_{2n}\omega^{2n}\right)\Bigg/\left(\sum_{k=0}^{1}(-1)^k A_{2k}^{*}\omega^{2k}\right), \qquad (11)$$

$$K_I^\Lambda(\omega)=\left(\sum_{n=0}^{3}(-1)^n B_{2n}\omega^{2n}\right)\Bigg/\left(\sum_{k=0}^{2}(-1)^k A_{2k}^{**}\omega^{2k}\right). \qquad (12)$$

Случай II При расположении центра O_1 жесткости в плоскости xOy операционные изображения $X(p)$, $Y(p)$, $\Lambda(p)$ перемещений вдоль осей Ox, Oy и угла поворота вокруг оси Ox соответственно имеют вид [1]

$$X(p)=I(p)\left(\sum_{m=0}^{1}F_{2m}p^{2m}\right)\Bigg/\left(\sum_{n=0}^{3}R_{2n}p^{2n}\right), \qquad (13)$$

$$Y(p)=I(p)\left(\sum_{k=0}^{2}G_{2k}p^{2k}\right)\Bigg/\left(\sum_{n=0}^{3}R_{2n}p^{2n}\right), \qquad (14)$$

$$\Lambda(p)=I(p)\left(\sum_{k=0}^{2}H_{2k}p^{2k}\right)\Bigg/\left(\sum_{n=0}^{3}R_{2n}p^{2n}\right), \qquad (15)$$

где коэффициенты F_{2m}, G_{2k}, H_{2k} $(m=\overline{0,1};\ k=\overline{0,2})$, R_{2n} $(n=\overline{0,3})$ определяются параметрами ЭДВ.

$$\Gamma(p)=I(p)\left(\sum_{k=0}^{2}H_{2k}p^{2k}\right)\Bigg/\left(\sum_{n=0}^{3}R_{2n}p^{2n}\right), \tag{27}$$

где коэффициенты F_{2k}, G_{2k}, H_{2k} ($k=\overline{0,2}$), R_{2n} ($n=\overline{0,3}$) определяются параметрами ЭДВ.

При $p=j\omega$ из (25), (26), (27) получим выражения для АЧХ $W_I^Y(\omega)$, $W_I^\Lambda(\omega)$, $W_I^\Gamma(\omega)$:

$$W_I^Y(\omega)=\left[\sum_{k=0}^{2}(-1)^k F_{2k}\omega^{2k}\right]\Bigg/\left[\sum_{n=0}^{3}(-1)^n R_{2n}\omega^{2n}\right], \tag{28}$$

$$W_I^\Lambda(\omega)=\left[\sum_{k=0}^{2}(-1)^k G_{2k}\omega^{2k}\right]\Bigg/\left[\sum_{n=0}^{3}(-1)^n R_{2n}\omega^{2n}\right], \tag{29}$$

$$W_I^\Gamma(\omega)=\left[\sum_{k=0}^{2}(-1)^k H_{2k}\omega^{2k}\right]\Bigg/\left[\sum_{n=0}^{3}(-1)^n R_{2n}\omega^{2n}\right]. \tag{30}$$

Из (28), (29), (30) следует, что при $\omega\neq const$ имеет место $Y_a(\omega)\neq const$, $\Lambda_a(\omega)\neq const$, $\Gamma_a(\omega)\neq const$. Для обеспечения условий независимости Y_a, Λ_a, Γ_a от ω необходимо выполнить преобразования I_a соответственно:

$$I^*_{ay}=I_{ay}K_I^Y(\omega), \tag{31}$$

$$I^*_{a\alpha}=I_{a\alpha}K_I^\Lambda(\omega), \tag{32}$$

$$I^*_{a\gamma}=I_{a\gamma}K_I^\Gamma(\omega), \tag{33}$$

где

$$K_I^Y(\omega)=\left(\sum_{n=0}^{3}R_{2n}\omega^{2n}(-1)^n\right)\Bigg/\left(\sum_{k=0}^{2}(-1)^k F_{2k}\omega^{2k}\right), \tag{34}$$

$$K_I^\Lambda(\omega)=\left(\sum_{n=0}^{3}R_{2n}\omega^{2n}(-1)^n\right)\Bigg/\left(\sum_{k=0}^{2}(-1)^k G_{2k}\omega^{2k}\right), \tag{35}$$

$$K_I^\Gamma(\omega)=\left(\sum_{n=0}^{3}R_{2n}\omega^{2n}(-1)^n\right)\Bigg/\left(\sum_{k=0}^{2}(-1)^k H_{2k}\omega^{2k}\right). \tag{36}$$

Случай IV При совпадении главной оси инерции Ох с главной осью жесткости O_1x_1 и расположении центра O_1 жесткости на главной оси Ох инерции операционные изображения перемещения $Y(p)$ подвижной системы ЭДВ вдоль оси Oy и вращения $\Gamma(p)$ относительно оси Oz имеют вид

$$Y(p) = I(p)\left(\sum_{k=0}^{1} G_{2k}p^{2k}\right)\Bigg/\left(\sum_{n=0}^{2} S_{2n}p^{2n}\right), \tag{37}$$

$$\Gamma(p) = I(p)\left(\sum_{k=0}^{1} H_{2k}p^{2k}\right)\Bigg/\left(\sum_{n=0}^{2} S_{2n}p^{2n}\right), \tag{38}$$

где коэффициенты G_{2k}, H_{2k} ($k = \overline{0,1}$), S_{2n} ($n = \overline{0,2}$) определяются параметрами ЭДВ.

При $p = j\omega$ из (37), (38) получим выражения для АЧХ $W_I^Y(\omega)$, $W_I^\Gamma(\omega)$:

$$W_I^Y(\omega) = \left[\sum_{k=0}^{1} (-1)^k G_{2k}\omega^{2k}\right]\Bigg/\left[\sum_{n=0}^{2} (-1)^n S_{2n}\omega^{2n}\right], \tag{39}$$

$$W_I^\Gamma(\omega) = \left[\sum_{k=0}^{1} (-1)^k H_{2k}\omega^{2k}\right]\Bigg/\left[\sum_{n=0}^{2} (-1)^n S_{2n}\omega^{2n}\right]. \tag{40}$$

Из (39), (40) следует, что при $\omega \neq const$ имеет место $Y_a(\omega) \neq const$, $\Gamma_a(\omega) \neq const$. Для обеспечения условий независимости Y_a, Γ_a от ω необходимо выполнить преобразования I_a соответственно

$$I_{ay}^* = I_{ay}K_I^Y(\omega), \tag{41}$$

$$I_{a\gamma}^* = I_{a\gamma}K_I^\Gamma(\omega), \tag{42}$$

где

$$K_I^Y(\omega) = \left(\sum_{n=0}^{2} (-1)^n S_{2n}\omega^{2n}\right)\Bigg/\left(\sum_{k=0}^{1} (-1)^k G_{2k}\omega^{2k}\right), \tag{43}$$

$$K_I^\Gamma(\omega) = \left(\sum_{n=0}^{2} (-1)^n S_{2n}\omega^{2n}\right)\Bigg/\left(\sum_{k=0}^{1} (-1)^k H_{2k}\omega^{2k}\right). \tag{44}$$

Случай V При совпадении главной оси O_1z_1 жесткости с главной осью Oz инерции, на которой расположен центр O_1 жесткости, операционные изображения перемещения $Y(p)$ вдоль оси Oy и вращения $\Lambda(p)$ вокруг оси Ox имеет вид соответственно

$$Y(p) = I(p)\left(\sum_{k=0}^{1} F_{2k}p^{2k}\right)\Bigg/\left(\sum_{n=0}^{2} \Phi_{2n}p^{2n}\right), \tag{45}$$

инерции операторные изображения перемещения $Y(p)$ подвижной системы ЭДВ вдоль оси Оy и вращения $Г(p)$ относительно оси Оz имеют вид

$$\Lambda(p) = I(p)\left(\sum_{k=0}^{1} S_{2k}p^{2k}\right) \Bigg/ \left(\sum_{n=0}^{2} \Phi_{2n}p^{2n}\right), \tag{46}$$

где коэффициенты F_{2k}, S_{2k} ($k = \overline{0,1}$), Φ_{2n} ($n = \overline{0,2}$) определяются параметрами ЭДВ.

При $p = j\omega$ из (45), (46) получим выражения для АЧХ $W_I^Y(\omega)$, $W_I^\Lambda(\omega)$:

$$W_I^Y(\omega) = \left[\sum_{k=0}^{1} (-1)^k F_{2k}\omega^{2k}\right] \Bigg/ \left[\sum_{n=0}^{2} (-1)^n \Phi_{2n}\omega^{2n}\right], \tag{47}$$

$$W_I^\Lambda(\omega) = \left[\sum_{k=0}^{1} (-1)^k S_{2k}\omega^{2k}\right] \Bigg/ \left[\sum_{n=0}^{2} (-1)^n \Phi_{2n}\omega^{2n}\right]. \tag{48}$$

Из (47), (48) следует, что при $\omega \neq const$ имеет место $Y_a(\omega) \neq const$ $\Lambda_a(\omega) \neq const$. Для обеспечения условий независимости Y_a, Λ_a от ω необходимо выполнить преобразования I_a соответственно

$$I_{ay}^* = I_{ay}K_I^Y(\omega), \tag{49}$$

$$I_{a\alpha}^* = I_{a\alpha}K_I^\Lambda(\omega), \tag{50}$$

где

$$K_I^Y(\omega) = \left(\sum_{n=0}^{2} \Phi_{2n}\omega^{2n}(-1)^n\right) \Bigg/ \left(\sum_{k=0}^{1} (-1)^k F_{2k}\omega^{2k}\right), \tag{51}$$

$$K_I^\Lambda(\omega) = \left(\sum_{n=0}^{2} \Phi_{2n}\omega^{2n}(-1)^n\right) \Bigg/ \left(\sum_{k=0}^{1} (-1)^k S_{2k}\omega^{2k}\right). \tag{52}$$

Таким образом, рассмотренные в статье случаи амплитудно-частотной коррекции АЧХ ЭДВ, определяемые относительным расположением центров жесткости и инерции, при реализации режимов непостоянства частоты ω, в частности, при реализации режимов сканирования частоты ω возбуждающего воздействия за счет формирования таких функциональных преобразований сигнала возбуждающего воздействия (СВВ), которое приводит к независимости СВВ от изменяющейся частоты ω, а следовательно, при неизменной АЧХ ЭДВ в рабочем диапазоне частот обеспечивает повышение эффективности системы ЭДВ - испытуемый объект при проведении испытаний на вибропрочность, виброустойчивость и вибронадежность.

SUMMARY

In operation the analysis is given and the new effects(results) are obtained at introduction of amplitude-frequency correction. For various cases variable in equations of motion of a relative frame of reference of an electrodynamic shaker under condition of a connectedness of coordinates.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Методы проектирования электромеханических вибровозбудителей- Киев: Наук. думка, 1989. - 208 с.
2. Пузько И.Д. Амплитудно–частотная коррекция режимов электродинамических вибровозбудителей // Вісник СумДУ, 1997. – № 2 (8) – С. 71-78.

Поступила в редколлегию 2 марта 2000 г.