

УДК 621.791.052:621.01

Н.А. ЗАДОРЖНИЙ, А.И. ДРЫГА, А.Н. БЕШ

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЕБАЛАНСНОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ ДЛЯ ВИБРОСТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

© Задорожний Н.А., Дрыга А.И., Беш А.Н., 2006

*Подано результати дослідження амплітудних частотних характеристик електропривода дебалансної системи вібробуджувача за узагальненими параметрами, що характеризує електромеханічну систему. Отримано аналітичні залежності параметрів електропривода, що забезпечують демпфування змушених коливань і його висока швидкодія.*

*The presented results of the study amplitude frequency features of the electrodrive of the debalanced type vibration complex on generalised parameter, which characterizes the electromechanic system. They are received analytical dependencies parameter electrodrive, which provide damping compelled fluctuations and its high speed.*

Электропривод (ЭП) комплекса для вибростабилизирующей обработки работает при периодическом изменении нагрузки на валу. Колебательный характер нагрузки при наличии упругой механической связи между электродвигателем и механизмом может привести к резонансным явлениям в электромеханической системе (ЭМС) ЭП вибровозбудителя и существенно повлиять на колебания скорости и тока двигателя [3]. Поэтому на стадии проектирования и изготовления ЭП вибровозбудителей необходимо осуществлять выбор параметров ЭМС с учетом требуемой точности поддержания угловой скорости двигателя и возможности демпфирования колебаний, обусловленных наличием упругих механических звеньев. Ограничение амплитуд вынужденных колебаний тока якоря и скорости позволит уменьшить нагревание двигателя и увеличить срок службы механических узлов ЭП.

Динамические свойства ЭМС этого класса с большой степенью точности могут быть описаны двухмассовой расчетной схемой. На рис.1 представлена структурная схема ЭМС привода вибровозбудителя, если принято, что внутреннее трение в упругом звене мало, а влияние противо-ЭДС двигателя незначительно.

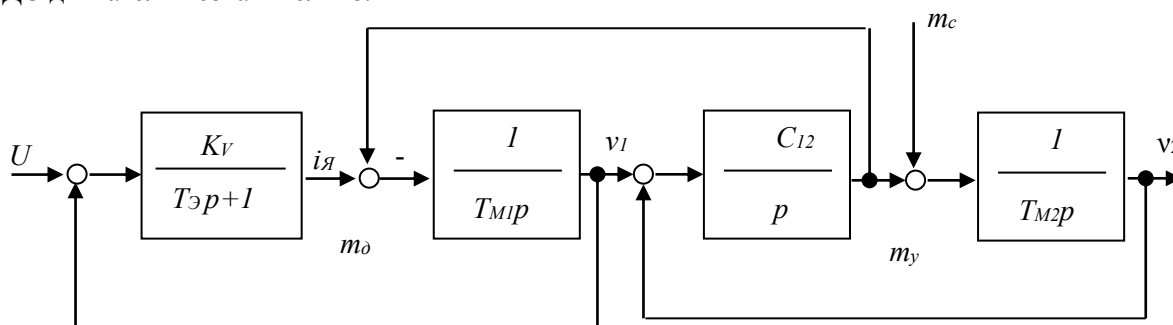


Рис. 1. Структурная схема электропривода виброкомплекса

Для анализа используется относительная форма записи параметров и общепринятые обозначения применительно к ЭП постоянного тока в предположении неизменного потока возбуждения:

$$m_{\delta} = i_a = I_a / I_{aH}; \quad m_{\gamma} = i_y = M_y / M_H; \\ m_c = M_c / M_H; \quad v = \omega / \omega_H; \quad T_{M1} = J_1 \omega_H / M_H;$$

$$\begin{aligned} T_{M2} &= J_2 \omega_H / M_H ; T_C = C^{-1} ; C = C_{12} \omega_H / M_H ; \\ U &= U_3 / U_H ; e = K \Phi_H \omega_1 / K \Phi_H \omega_H = v_1 ; \\ U_B &= u - e . \end{aligned} \quad (1)$$

ЭП при определенных условиях оказывает демпфирующее действие на колебания координат ЭМС, что требует учета электромеханической постоянной времени якорной цепи электродвигателя  $T_{\mathcal{E}} = L_{\mathcal{Я}} / R_{\mathcal{Я}}$ .

По структурной схеме для анализа амплитуд колебания тока якоря – основной движущейся координаты ЭП – находим передаточную функцию ЭМС по возмущающему воздействию:

$$W(p) = \frac{i_{\mathcal{Я}}}{m_c(p)} = \frac{K_p}{T_M T_{\mathcal{E}} T_V p^4 + T_M T_V^2 p^3 + (K_p \gamma T_V^2 + T_M T_{\mathcal{E}}) p^2 + T_M p + K_p} , \quad (2)$$

где  $\gamma = (T_{M1} + T_{M2}) / T_{M1}$  – коэффициент соотношения инерционных масс двигателя и вибровозбудителя;  $T_M = \gamma T_{M1} = T_{M1} + T_{M2}$  – суммарная механическая постоянная привода;  $T_V = 1 / \Omega_{12}$  – постоянная времени упругих механических колебаний;  $\Omega_{12} = \sqrt{\frac{C(T_{M1} + T_{M2})}{T_{M1} T_{M2}}}$  – собственная частота упругих механических колебаний двухмассовой ЭМС;  $K_p$  – коэффициент разомкнутой САУ, причем  $i_{\mathcal{Я}} = K_p U_B$ ;  $K$  – конструктивный коэффициент ДПТ.

Анализ АЧХ по передаточной функции (2) является довольно сложной задачей, так как требует подстановки множества конкретных параметров ЭМС и их сочетаний. Воспользуемся обобщенными параметрами электромеханического взаимодействия процессов в ЭМС [4], позволяющих абстрагироваться от конкретных параметров и анализировать динамические свойства в относительной (безразмерной) форме. Электромеханическое воздействие процессов механической (МП) и электрической (ЭП) подсистем ЭМС определяется коэффициентом электромеханического взаимодействия

$$K_O = \frac{\Omega_{12}^2}{\Omega_{\mathcal{E}}^2} = \frac{T_{M1} T_{\mathcal{E}}}{K_p T_V^2} , \quad (3)$$

представляющим собой отношение квадратов частот недемпфированного механического  $\Omega_{12}$  и электромеханического  $\Omega_{\mathcal{E}}$  резонансов в ЭМС, коэффициентом демпфирования парциальной системы ЭП

$$\xi_D = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_{M1}}{T_{\mathcal{E}} K_p}} \quad (4)$$

И коэффициентом соотношения инерционных масс двигателя и вибровозбудителя  $\gamma$ .

Из совместного решения (3) и (4) следует, что

$$T_{\mathcal{E}} = \frac{\sqrt{K_O} T_V}{2 \xi_D} ; \quad \frac{T_{M1}}{K_p} = 2 \xi_D \sqrt{K_O} T_V . \quad (5)$$

Тогда передаточная функция (2) с учетом принятой формы нормирования по обобщенным параметрам (3), (4), (5) принимает вид

$$W(p) = \frac{1}{\gamma_C K_O T_V^4 p^4 + 2 \xi_D \gamma \sqrt{K_O} T_V^3 p^3 + \gamma (1 + K_O) T_V^2 p^2 + 2 \xi_D \gamma \sqrt{K_O} T_V p + 1} . \quad (6)$$

Выполнив ряд несложных преобразований после подстановки  $p = j\Omega$ , получим выражение для АЧХ ЭМС, отражающей частотные свойства ЭП при периодическом характере возмущающего воздействия  $m_C$ :

$$\left| A\left(\frac{\Omega}{\Omega_{12}}\right) \right| = \frac{1}{\sqrt{\left[ \gamma K_o \left(\frac{\Omega}{\Omega_{12}}\right)^4 - \gamma(1 + K_o) \left(\frac{\Omega}{\Omega_{12}}\right)^2 + 1 \right]^2 + 4\xi_D^2 K_o \gamma^2 \left[ \left(\frac{\Omega}{\Omega_{12}}\right)^3 - \frac{\Omega}{\Omega_{12}} \right]^2}} \quad (7)$$

Из анализа этой формулы следует, что значения АЧХ полностью определяются только тремя безразмерными обобщенными параметрами  $(\gamma, K_o, \xi_D)$ , имеющими физическую трактовку. Практическая ценность полученной обобщенной формулы (7) для АЧХ заключается в таком: требуемый вид АЧХ сформировать на этапе проектирования конструктивными, механическими и электрическими способами. Применительно к поставленной задаче ограничение амплитуды тока якоря в заданном диапазоне возмущающих частот  $0 < \Omega < \Omega_{max}$  достигается оптимальным либо рациональным выбором параметров  $\gamma, K_o, \xi_D$ . В единственном случае, когда  $\Omega / \Omega_{12} = 1$ , значения  $|A(\Omega / \Omega_{12})|$  не зависят от способа изменения обобщенных параметров  $K_o$  и  $\xi_D$  и определяется только коэффициентом соотношения инерционных масс  $\gamma$ , т.е.

$$\left| A\left(\frac{\Omega}{\Omega_{12}}\right) \right| = \frac{1}{\gamma - 1} \quad (8)$$

Этот вывод согласуется с результатами, полученными при анализе АЧХ, с нормированием коэффициентов по способу, используемому в [5], применительно к случаю механического резонанса.

Анализ АЧХ выполнен по (7) при различных значениях обобщенных параметров  $K_o$  и  $\xi_D$  для различных  $\gamma$  ( $\gamma = 1, 2 \dots 10$ , что соответствует различным габаритам мощности вибровозбудителей). Для анализа воспользуемся такими физическими соображениями: ЭМС должна обладать достаточно высоким демпфированием при вынужденных колебаниях и одновременно САУ должна быть быстродействующей. ЭП имеет свойство демпфировать возникающие колебания в упругой МП, но для этого электрическая подсистема должна быть колебательной, что в целом удовлетворяет требованию быстродействия. Значит, электрическая и механическая подсистемы должны взаимодействовать и это достигается [4] при  $K_o = 1 / \gamma$ . Следствием приведенных соображений будет представление передаточной функции (6) в виде произведения двух колебательных звеньев с демпфированием, характеризующих механическую и электрическую подсистемы:

$$W(p) = \frac{1}{(T_V^2 p^2 + 2\xi_V T_V p + 1)(T_M^2 p^2 + 2\xi_M T_M p + 1)}, \quad (9)$$

где  $\xi_V$  и  $\xi_M$  – коэффициенты демпфирования в электрической и механической подсистемах соответственно.

Передаточная функция (9) адекватна выражению (6) при условии

$$K_o = 1 / \gamma; \quad \xi_D = (\xi_V + \xi_M) / \sqrt{\gamma}; \quad 4\xi \xi_M = \gamma - 1 \quad (10)$$

Анализ АЧХ в нормированном виде по зависимости (7) показал, что произвольный выбор параметров ЭМС, не соответствующих условиям (10), не дает результатов, поставленных в задаче. В широком диапазоне частот при несоблюдении условий (10) высокое быстродействие ( $\xi = 1.0$ ), не способствует затуханию вынужденных колебаний. Зависимость резонансных максимумов  $A_{max}$  от  $\gamma$  в сильной степени проявляется при  $\gamma = 5$ , а при  $\gamma > 5$  максимумы практически не различимы. Из анализа полученной АЧХ и приведенных выше соображений было установлено, что есть компромиссное решение – высокое демпфирование в сочетании с необходимым быстродействием САУ. В этом случае процессы в электрической и механической подсистемах будут равноценны, что достижимо, когда  $\xi_V = \xi_M$ . Из условия (10) получается, что это выполнимо при

$$K_o^* = 1/\gamma; \xi_d^* = \sqrt{(\gamma-1)/\gamma}. \quad (11)$$

Полученные результаты не противоречат физическим соображениям, положенным в основу анализа. Т.е. при всех  $\gamma$ ,  $\xi_d < 1$ , что соответствует колебательному характеру процессов в парциальной (независимой) электрической подсистеме. В полной ЭМС демпфирование будет определяться коэффициентом демпфирования

$$\xi_{\Sigma} = \xi_M = \xi_o^* = \frac{1}{2}\sqrt{\gamma-1} \quad (12)$$

На рис. 2 приведены графики АЧХ ЭП вибровозбудителя с реальными параметрами. Из графика АЧХ видно, что при высоком быстродействии практически с начала диапазона частот достигается затухание вынужденных колебаний (соблюдается условие (11)). Из выражения (12) следует также, что при  $\gamma=5$  в полной ЭМС получаются процессы на границе колебательности и монотонности ( $\xi_o^* = 1$ , т.е. критическому значению). Полученные в результате анализа АЧХ данные свидетельствуют о том, что ЭМС при выполнении условий (11), (12),  $\gamma=5$ , можно представить двумя последовательно включенными апериодическими звеньями второго порядка. Поэтому на соответствующих графиках АЧХ резонансные пики отсутствуют.

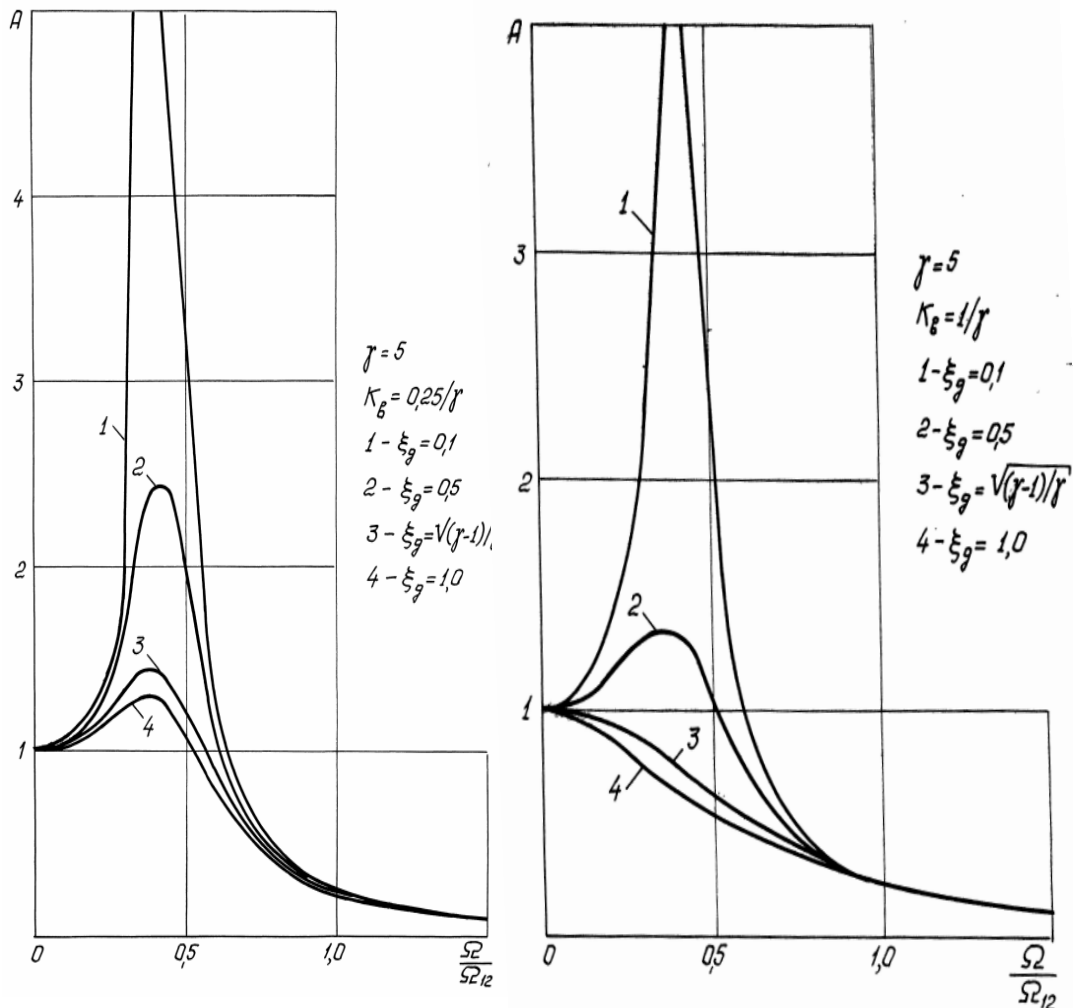


Рис. 2. АЧХ ЭМС при различных значениях обобщенного параметра  $\gamma$

На этапе проектирования вибровозбудителей реализовать оптимальные значения обобщенных параметров можно путем соответствующего выбора или коррекции динамических параметров ЭМС.

### Выводы

1. Получена АЧХ нормированного вида (7) в функции обобщенных параметров  $\gamma, K_o, \xi_d$ , характеризующих электрическую и механическую подсистемы ЭМС для анализа вынужденных колебаний в электроприводе вибровозбудителей.

2. В результате анализа нормированной АЧХ получены формулы (10), (11), (12) рационального и оптимального соотношения обобщенных параметров, обеспечивающих выбор параметров ЭМС с высоким демпфированием вынужденных колебаний и требуемым быстродействием.

3. Метод анализа параметров АЧХ электроприводов вибровозбудителей прост, доступен и рекомендуется для практического применения на этапах проектирования ЭМС, описываемых двухмассовой расчетной схемой.

1. Дрыга А.И. Оборудование для вибростабилизирующей обработки корпусных деталей // Энергомашиностроение. – 1987. – №7. – С.41–44. 2. Дрыга А.И. Виброкомплекс ВК\_86.НЗЛ для стабилизирующей обработки крупных сварных конструкций // Сварочное производство. – 1989. – №3. – С.28–30. 3. Марголин П.М. Вынужденные колебания в вентильных электроприводах с упругими механическими связями // Электротехника. – 1978. – №7. – С.11–14. 4. Земляков В.Д., Задорожний Н.А. О демпфировании электроприводом постоянного тока упругих электромеханических колебаний // Изв. вузов. Электротехника. – 1984. – №5. – С.92–98. 5. Бургин Б.Ш. Анализ амплитудной частотной характеристики электропривода с упругой связью при вариации параметров электромеханической системы // Электричество. – 1968. – №10. С.33–36. 6. Задорожний Н.А., Дрыга А.И., Беш А.Н., Задорожня И.Н. Электромеханические виброкомплексы с системами стабилизации режимов резонансности // Вестник Национальный технический университет «ХПИ», вып.:45, Харьков. – 2005. – С.321–323.

УДК 621.432.4

О.І. ЗАЙЦЕВ, В.М. ШАТОХІН\*, А.М. ЧЕРНОВ

Національний фармацевтичний університет, м. Харків,

\*Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТАХ З ІНЕРЦІЙНИМ САМОЦЕНТРУВАЛЬНИМ ВІБРАТОРОМ ТА АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ

© Зайцев О.І., Шатохін В.М., Чернов А.М., 2006

*Розроблено комплексну математичну модель одного класу вібраційних технологічних пристроїв з інерційним самоцентрувальним вібратором і асинхронним електродвигуном. Модель дає змогу вибрати електродвигун, визначити характер руху робочої камери, зусилля в підшипниках, тиск на підставу, вирішувати різні задачі синтезу. Подано результати досліджень для апарата конкретного типорозміру.*

*Complex mathematical model of one class of technological vibrating devices with inertial self-centering vibrator and anisochronous electric motor is developed. Model allows choosing an electric motor, defining effective box motions, energies in bearings, base pressure, solving synthesis problems. Effort results for concrete dimension-type device are introduced.*

**Вступ.** Перспективним напрямком інтенсифікації багатьох технологічних процесів у хімічній промисловості, фармацевтичному виробництві є використання низькочастотних вібрацій, реалізація