

УДК621.791.052:621.01

А. Н. БЕШ, Н. А. ЗАДОРЖНИЙ (канд.техн.наук, доц.)
 Донбасская государственная машиностроительная академия
 abesh@krm.net.ua

ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ СИСТЕМ ДЛЯ ВИБРОСТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ЛИТЫХ И СВАРНЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В статье рассмотрены основные классификационные признаки вибростабилизирующей обработки деталей в машиностроении. Рассмотрены особенности систем управления виброкомплексами и сформулированы основные требования к проектированию этих систем.

Электропривод, классификация, вибростабилизирующая обработка, система управления.

При изготовлении корпусных литых и сварных деталей в машиностроении из-за перераспределения и релаксации внутренних остаточных напряжений возникает проблема нарушения геометрических размеров, стабильность форм и надежности изделия. Для обеспечения размерной стабильности деталей современное машиностроение ещё очень часто использует традиционные технологические процессы – низкотемпературный отжиг и естественное старение. Актуальным вопросом в настоящий момент является развитие технологии компенсации внутренних напряжений путем вибростабилизирующей обработки (ВСО), позволяющей на порядок снизить себестоимость изготовления деталей без потери качества обработки [1,2].

Системы, предназначенные для виброобработки, различаются типом применяемого вибровозбудителя, основным параметром которого является частотный диапазон, и классифицируются как: с дебалансными вибровозбудителями (частотой от 5 до 200 Гц), электромагнитными (частотой от 20 до 1000 Гц) и электродинамическими вибровозбудителями (частотой от 5 до 5000 Гц) [2]. Системы для ВСО с дебалансными возбудителями, как правило, строятся по известному технологическому принципу, упрощенная схема которого представлена на рис. 1.

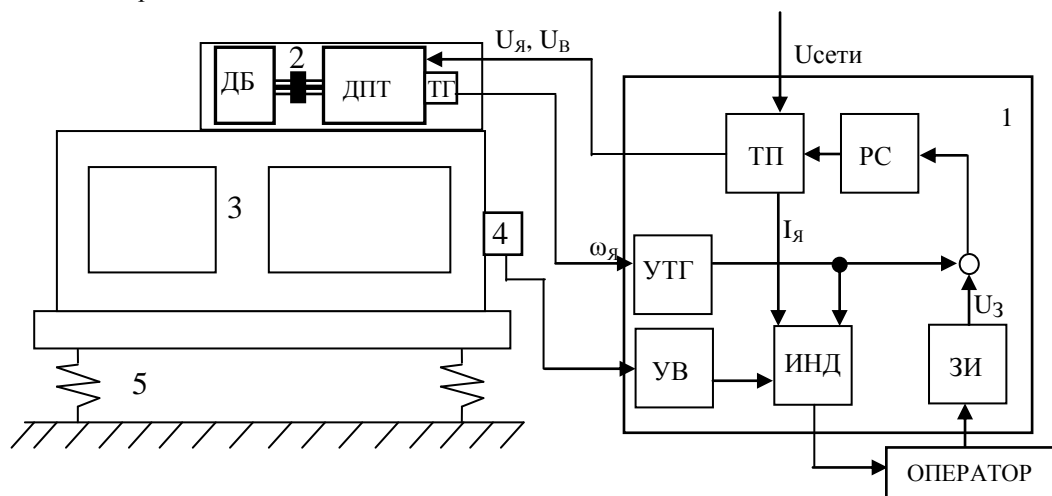


Рисунок 1 – Схема технологического процесса

На обрабатываемой детали 3 закрепляется вибровозбудитель 2 и датчик вибраций 4. Деталь изолирована от пола виброгасителями 5. Система управления 1 (СУ) позволяет управлять процессом ВСО и контролировать несколько координат (ток двигателя, частоту вращения, уровень вибраций, виброскорость и т.д.). Основным звеном трансформирующим энергию сети и передающим её обрабатываемой детали является система электропривода, состоящая из электрического тиристорного преобразователя (ТП), электродвигателя (ДПТ) и регулируемого дебаланса (ДБ).

Для указанных систем управление режимом ВСО может быть: энергетическим (по значению энергии передаваемую в конструкцию), амплитудным (по сдвигу резонансного пика) и фазовым (по изменению фазового сдвига между вынуждающей силой и вынужденными колебаниями) [2]. Большинство СУ, за счет отсутствия автоматизированности процесса, производят обработку энергетическим способом но с учетом резонансного пика, что влечет за собой дополнительные потери мощности, и, как следствие, недостаток энергии передаваемую в деталь. Решение данной проблемы лежит в области электромеханической

совместимости механической (МП) и электрической (ЭП) подсистем ЭП. За счет наличия в МП упругих механических звеньев возникают упругие колебания, которые приводят к повышенному износу, диссипации энергии внутри СУ, а это и приводит к снижению качества обработки. Поэтому основной задачей конструктора СУ виброкомплексов становится анализ и синтез параметров ЭПС способной совместно с МП передать максимум энергии в деталь используя энергию упругих колебаний.

Механическая расчетная схема ЭМС представлена на рис. 2.

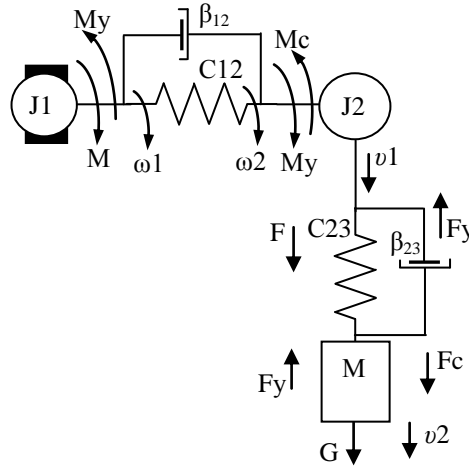


Рисунок 2 – Расчетная механическая схема

Уравнение движения для первой и второй масс ЭМС

$$\left. \begin{aligned} M - M_y &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \\ M_y - M_c &= J_2 \frac{d\omega_2}{dt} \\ M_y &= C_{12} \int (\omega_1 - \omega_2) dt \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Исходя из условия равенства кинетической энергии вращающегося дебаланса и колебаниями вибратора, можно определить приведенный к валу дебаланса момент инерции с учетом массы детали

$$J_{ДЕТ} = m_{ДЕТ} \left(\frac{v_1}{\omega_2} \right)^2, \quad (2)$$

согласно закона Гука $F_y = C_{23} \cdot \Delta S$, где ΔS – перемещения обусловленные вследствие вибрационного воздействия, именно они влияют на качество и количество микропластических деформаций в детали.

Постоянно действующая на валу дебаланса знакопеременная нагрузка, и соответствующий ей момент

$$F = F_{max} \cdot \sin \Omega t, \quad (3)$$

$$M = M_{cmax} \cdot \sin \Omega t, \quad (4)$$

где Ω – циклическая частота вибровозбуждения [2,6,13].

Специфической особенностью ЭП является наличие в электромеханической системе (ЭМС) упругих механических звеньев, при периодической нагрузке на валу $m_c(t) = M_{cmax} \sin \Omega t$. Для рабочего диапазона частот это является причиной возникновения упругих механических колебаний, и, как следствие, происходит диссипация преобразованной энергии в ЭМС в преобразователе. Для механической передачи, обладающей свойством упругости, в полной ЭМС частоты ЭП и МП и распределены как $\Omega_1 < \Omega_{12} < \Omega_2$.

На основании известной структурной схемы [3] и преобразований [4] получено характеристическое уравнение в нормированном виде

$$Q(p) = \gamma K_B T_y^4 p^4 + 2\gamma \xi_d \sqrt{K_B} T_y^3 p^3 + \gamma(1 + K_B) T_y^2 p^2 + 2\gamma \xi_d \sqrt{K_B} T_y p + 1, \quad (5)$$

где $\gamma = (J_1 + J_2) / J_1$ – коэффициент распределения инерционных масс; $K_B = \frac{T_{ЭМ1} T_{Э}}{T_y^2}$ – коэффициент

электромеханического взаимодействия; $\xi_d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_{ЭМ1}}{T_y}}$ – коэффициент относительного демпфирования; $T_y = 1 / \Omega_{12}$ –

постоянная времени упругих колебаний; Ω_{12} – частота свободных (не демпфируемых) колебаний двухмассовой

системы; T_{M1} – электромеханическая постоянная времени; T_{Ω} – электромагнитная постоянная времени. Анализ характеристического уравнения (5) двухмассовой ЭМС на основании принципа электромеханической совместимости [4] дает возможность синтезировать СУ по критерию минимума колебательности, что создает возможность разработки аппаратных средств для ВСО с большим эксплуатационным ресурсом.

Анализ электромеханического взаимодействия производится по обобщенным показателям

$$\left. \begin{aligned} K_B &= \frac{\Omega_{12}^2}{\Omega_{\Omega}^2} = \frac{\tau_c T_{M1}}{K_0 T_y^2}, \\ \xi_{\Omega} &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau_c K_0}{T_{M1}}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

При электромеханическом взаимодействии скорость затухания процессов зависит от интенсивности отвода в ЭП энергии колебаний МП и определяется коэффициентом демпфирования электромеханического преобразователя в разомкнутой системе

$$\xi_{\Omega} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_{M1}}{\beta \cdot T_{\Omega}}}, \quad (9)$$

где β – модуль статической жесткости механической характеристики.

Применительно к замкнутым системам это будут постоянные времени, скорректированные путем введения отрицательных обратных связей по измеряемым координатам.

Характеристическое уравнение при учете механического демпфирования

$$\xi_M = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_d \Omega_{12}}{\sqrt{\gamma}} \quad (10)$$

будет иметь следующий вид

$$Q(p) = \gamma K_b T_y^4 p^4 + 2\gamma(\xi_{\Omega} \sqrt{K_b} + \xi_M K_b \sqrt{\gamma}) T_y^3 p^3 + \gamma[(1 + K_b) + 4\xi_{\Omega} \xi_M \sqrt{\gamma K_b}] T_y^2 p^2 + 2(\xi_{\Omega} \gamma \sqrt{K_b} + \xi_M \sqrt{\gamma}) T_y p + 1, \quad (11)$$

где $T_y = \frac{1}{\Omega_{12}}$ – постоянная времени упругих колебаний, $T_d = \frac{B}{c}$ – постоянная времени демпфирования

дополнительных сил вязкого трения.

Динамические свойства ЭМС будут определяться корнями характеристического уравнения (11), при выполнении условий оптимизации по принципу электромеханической совместимости

$$p_{1,2} = p_{3,4} = \frac{1}{2\Omega_0} \sqrt{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \pm j \frac{1}{2\Omega_0} \sqrt{\frac{5-\gamma}{\gamma}}. \quad (12)$$

Анализ вида корней показывает, что высокие значения показателя демпфирования

$$\lambda = 2\pi \sqrt{\frac{\gamma-1}{5-\gamma}} \quad (13)$$

достигается при более низких частотах

$$\Omega_{\Omega} = \Omega_M = \frac{1}{2\Omega_0} \sqrt{\frac{5-\gamma}{\gamma}}. \quad (14)$$

Таким образом, из характеристического уравнения (11) следует, что динамические свойства ЭМС привода машин будут определяться обобщенными параметрами K_b , ξ_{Ω} , ξ_M , γ . Обобщенные параметры учитывают взаимосвязь электрической и механической подсистем и оптимальное (предельное) значение демпфирующего действия достигается при одинаковой воспроизводимости процессов в ЭП и МП,

При энергетическом способе управления количество преобразованной электрической энергии в механическую превосходит количество энергии, потраченную на релаксацию остаточных напряжений. Поэтому ещё одно достоинство данного критерия – возможность использования минимума диссипации энергии внутри вибровозбудителя и, максимум диссипации внутри обрабатываемой детали, что гарантирует большие микропластические деформации и, как следствие, компенсацию остаточных напряжений.

Выбор режима управления определяется потерями мощности в системе ТрП ШИМ [12,13]. Для несимметричного поочередного переключения целесообразно использовать мостовую схему преобразователя. Применение ПИД регулятора [8,14] даст возможность увеличить быстродействие системы. При критическом демпфировании ЭП колебаний МП можно производить рекуперацию энергии при движении с верхних частот к нижним, а применение специальных алгоритмов, соответственно – возможность реализовать любой режим ВСО.

Потребляемая мощность преобразователя от сети при обработке резонансного пика существенно растет. Основываясь на эффекте Зоммерфельда имеет смысл ограничение подводимой мощности к двигателю при захвате резонансного пика [7,9], что снизит динамические нагрузки на силовую электрическую часть и двигатель.

На основании вышеизложенного сформулируем основные требования к электроприводу для ВСО:

1. СУ ТрП ШИМ должна быть построена на основании принципа электромеханической совместимости ЭП и МП с учетом критерия минимума колебательности переходных процессов для увеличения ресурса механических частей. Основной акцент необходимо делать на динамическую близость частот ЭП и МП, что даст возможность обеспечить предельное демпфирование упругих колебаний.

2. При проектировании необходимо учесть, что коэффициент распределения инерционных масс вибровозбудителя должен лежать в пределах от 4 до 4,5.
3. Полоса пропускания и, соответственно, частота переключения силовых транзисторов должна быть выше частоты наибольшего резонанса для соответствующего вида вибровозбудителя.
4. Алгоритмы работы СУ должны учитывать режим ВСО для каждого вида деталей.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Дрыга А.И. Вибростабилизирующая обработка сварных и литых деталей в машиностроении. Теория, исследования, технология. Краматорск: ДГМА, 2004. – 168 с.
2. Рагульскис К.М. и др. Вибрационное старение /К.М. Рагульскис, Б.Б. Стульпинас, К.Б. Толутис; Под ред. К.М. Рагульскиса. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. –72 с.
3. Задорожний Н.А. Элементы теории электромеханического взаимодействия в двухмассовых системах электропривода с упругими механическими связями: Учебное пособие по дисциплине «Теория электропривода» для студентов специальности «Электромеханические системы автоматизации и электропривод» дневной формы обучения. – Часть 1. – Краматорск: ДГМА, 2006. –72с.
4. Задорожний Н.А. Элементы теории электромеханического взаимодействия в двухмассовых системах электропривода с упругими механическими связями: Учебное пособие по дисциплине «Теория электропривода» для студентов специальности «Электромеханические системы автоматизации и электропривод» дневной формы обучения. – Часть 2. – Краматорск: ДГМА, 2007. –148с.
5. 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.
6. Беш А.Н., Винник А.В., Дрыга А.И., Задорожний Н.А., Синтез двухмассовой электромеханической системы модального управления вибровозбудителем с демпфированием упругих колебаний // Вестник Национальный технический университет «ХПИ», вып:45, Харьков. – 2007. – С.247-250.
7. Дрыга А.И., Задорожний Н.А., Беш А.Н., Задорожня И.Н., Буслик И.В. Автоматизированная система управления виброобработкой деталей с контролем процесса по изменению несущей частоты// Вибрации в технике и технологиях. Полтава: 2006. – N2(46). – С. 31-33.
8. Герман-Галкин С.Г. и др. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями /С.Г. Герман-Галкин, В.Д. Лебедев, Б.А. Марков, Н.И. Чичерин. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-е, 1996. – 248 с.
9. Томчин Д.А., Фрадков А.Л. Управление прохождением ротора через зону резонанса на основе метода скоростного градиента // Проблемы машиностроения и надежность машин, N 5, 2005, С. 66-71.
10. Задорожний Н.А. Разработка систем управления электромеханических виброкомплексов с активным демпфированием колебаний/ Н.А. Задорожний, А.И. Дрыга // Вибрации в технике и технологиях. Винница: 2003. – N5(31). – С. 6-9.
11. Берник П.С., Чубик Р.В. Методика розрахунку потужності електродвигуна приводу дебалансного валу резонансної вібраційної технологічної машини. // Вибрации в технике и технологиях. Всеукраїнський наук.-тех. журнал. 2006. - № 4 (42) - С.24-34.
12. Берник П.С., Чубик Р.В. Дослідження енергетичних та амплітудно-частотних характеристик вібраційного поля при резонансному режимі роботи дебалансного приводу вібромашини // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Український міжвід. наук.-техн. зб. 2005. - № 39 - С.26-34.
13. Р.В. Чубік, Л.В. Ярошенко Керовані технологічні вібраційні машини // Вінниця, 2011. – 321 с.
14. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. - М.: Машиностроение, 1990. - 304 с.
15. Панковский А.И., Дрыга А.И., Бондаренко И.Н. Автоматический контроль процесса импульсной виброобработки деталей // Вибрации в технике и технологиях. Всеукраїнський науково-технічний журнал. 1998. - № 1 (5) – С.41-42.

Надійшла до редколегії 11.04.2011

Рецензент: О.І. Толочко

А.М. БЕШ, М.О. ЗАДОРЖНИЙ
Донбаська державна машинобудівна академія

A. BESH, M. ZADOROZHNIY
Donbass State Machine-Building Academy

Вимоги до електропривода систем для вібростабілізуючої обробки литих і зварних корпусних деталей у машинобудуванні. У статті розглянуті основні класифікаційні ознаки вібростабілізуючої обробки деталей в машинобудуванні. Розглянуті особливості систем управління віброкомплексами і сформульовані основні вимоги до проектування цих систем.

Електропривод, класифікація, вібростабілізуюча обробка, система управління.

Requirements to Electric Drive of Systems for Vibro-Stabilizing Processing of Cast and Welded Frame Parts in Machine-Building Industry. In the article the basic classification signs of vibroantihunt treatment of details are considered in an engineer. The features of control system are considered by vibrocomplexes and the basic requirements are set forth to planning of these systems.

Electric drive, classification, vibro-stabilizing processing, control system.