

УДК 621.527.2

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРАТОРОВ**

**М.Н. ПОГУЛЯЕВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

Проектирование электромеханических преобразователей (ЭМП) для работы в составе высокочастотных автономных электрогидравлических вибраторов (ЭГВ) имеет свои особенности. Это связано с необходимостью выполнения ряда требований, предъявляемых к таким преобразователям как со стороны гидравлической части вибратора (получение требуемых значений амплитуды линейных колебаний якоря  $x_{m.мр}$  и собственной частоты  $f_0$  ЭМП, в 2,5-3,0 раза превышающей максимальную рабочую частоту ЭГВ), так и со стороны электронного источника, питающего ЭМП (полная мощность такого источника  $S_{m.ист}$  ограничена). Кроме того, при работе ЭМП на повышенных частотах существенное влияние на его характеристики оказывают такие факторы, как электромагнитная жесткость и ЭДС движения, заметно возрастают потери на гистерезис и вихревые токи. Для преобразователей современных высокочастотных автономных ЭГВ параметры  $x_{m.мр}$  и  $f_0$  могут достигать значений:  $x_{m.мр} \geq 0,1$  мм,  $f_0 = 900 \dots 1000$  Гц при  $S_{m.ист} \leq 100$  ВА. Достижение этих, почти предельных величин, невозможно без оптимизационного подхода к проектированию подобных ЭМП.

Целью данной работы является разработка методики оптимального проектирования быстродействующих ЭМП для автономных ЭГВ, отвечающих указанным выше требованиям.

Для создания такой методики использована уточненная автором математическая модель (ММ) обобщенного преобразователя ограниченной мощности [1], с помощью которой, в частности, была построена ММ (1) электромагнитного мостового преобразователя с поляризацией (рис. 1), применяемого в автономных ЭГВ сейсмокомплексов типа СВ и СВП:

$$\left\{ \begin{array}{l} e = i \cdot R + W \frac{d\Phi}{dt}, \\ \Phi = \Phi_1 - \Phi_2, \\ \Phi_1 R_1 - \Phi_3 R_3 = iW, \\ \Phi_4 R_4 - \Phi_2 R_2 = iW, \\ \Phi_1 + \Phi_3 = \Phi_2 + \Phi_4 = 2\Phi_{II}, \\ \frac{dW_{эм}}{d\alpha} = J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + b \frac{d\alpha}{dt} + C\alpha, \\ e \leq E_{m.ист}, i \leq I_{m.ист}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $e$  – ЭДС источника электропитания;

$i$  – ток в обмотке управления преобразователя;

$R_1, \dots, R_4$  – магнитные сопротивления воздушных зазоров плеч моста магнитопровода;

$R = R_{ист} + R_M + R_{ст}$  – суммарное активное сопротивление источника, обмотки управления и эквивалентного потерям в стали;

$\Phi, \Phi_1, \dots, \Phi_4$  – магнитные потоки в якоре и полюсах (воздушных зазорах);

$\Phi_{п}$  – магнитный поток одного постоянного магнита;

$W$  – суммарное число витков обмотки управления;

$\alpha, J, b, C$  – угол поворота якоря, момент инерции, коэффициенты демпфирования и упругости нагрузки и якоря;

$E_{m.уст}, I_{m.уст}$  – максимально допустимые значения ЭДС и тока на выходе источника питания.

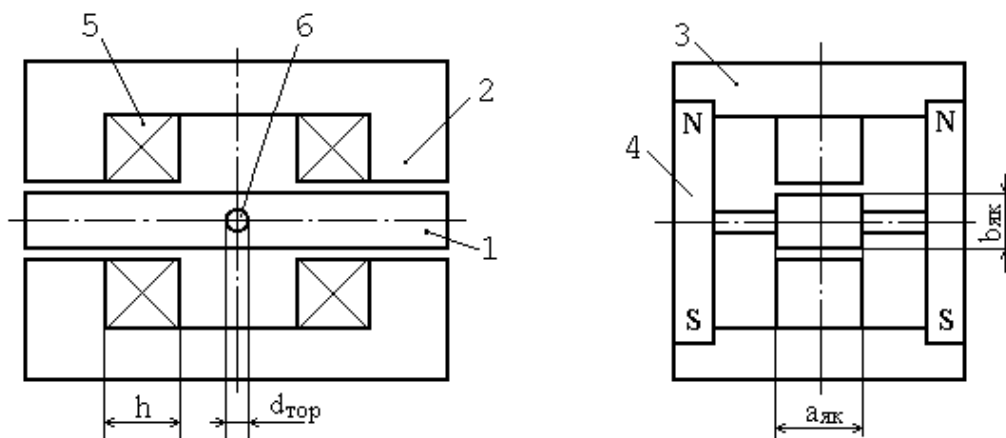


Рис. 1. Конструкция электромагнитного мостового преобразователя с поляризацией: 1 – якорь; 2 – полюса; 3 – основание магнитопровода; 4 – постоянные магниты; 5 – обмотки управления; 6 – торсион

Полученная математическая модель мостового ЭМП, в отличие от известных, позволяет учесть ограниченность источника по полной мощности на уровне  $E_{m.уст} \cdot I_{m.уст}$  потери на гистерезис и вихревые токи через  $R_{ст}$  и влияние ЭДС движения через  $\Phi$ .

Преобразование модели и вывод необходимых расчетных соотношений выполнены операторным методом и методом гармонического баланса, с последующей проверкой и анализом полученных уравнений на ЭВМ.

Для проведения синтеза ЭМП, оптимального по быстродействию при заданной полной мощности автономного источника, разработано математическое обеспечение, основу которого составляют уравнение целевой функции (2), связывающее основной критерий быстродействия – собственную частоту с массогабаритными параметрами преобразователя, и уравнения ограничений (3):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \left\{ 3\pi g(1+k_{зоб})d_{тор}^4 3\pi g(1+k_{зоб})d_{тор}^4 \left\langle 16 \cdot h \left[ 12 \cdot m_{зол} n_{тор} h d_{тор} + \right. \right. \right. \\ \left. \left. + 2\gamma_{як} a_{тор} (3n_{тор}^2 + k_1^2) \times h d_{тор}^4 + 12\gamma_{як} a_{тор} n_{тор} h^2 d_{тор}^3 + 3m_{зол} n_{тор}^2 d_{тор}^2 + 8\gamma_{як} a_{тор} h^3 d_{тор}^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + 12m_{зол} h^2 + \gamma_{як} a_{тор} n_{тор} (n_{тор}^2 + k_1^2) d^2 \right] \right\rangle^{-1} \right\}^{0,5}, \quad (2)$$

где  $\gamma_{\text{як}}$  – удельная масса материала якоря;  
 $g$  – модуль упругости материала торсиона;  
 $h, d_{\text{тор}}$  – размер окна катушки управления и диаметр торсиона;  
 $k_1, k_{\text{зоб}}$  – коэффициенты запаса по креплению торсиона в якорь и гидродинамической жёсткости;  
 $m_{\text{зол}}$  – суммарная масса тяги и золотника;  
 $a_{\text{тор}}, n_{\text{тор}}$  – расчётные коэффициенты, зависящие от отношения поперечных сечений полюса и якоря, коэффициента запаса  $k_1$  и относительной ширины якоря  $a_0 = a_{\text{як}} / b_{\text{як}}$ .

Уравнения ограничений получены на основе требований, предъявляемых к ЭМП со стороны автономного ЭГВ, и условия насыщения якоря рабочим магнитным потоком

$$\begin{cases} I_m \leq I_{m.\text{уст}} \\ x_m \geq x_{m.\text{тр}} \\ B_m \leq k_s \cdot B_s \end{cases}, \quad (3)$$

где  $x_{m.\text{тр}}$  – требуемое по техническому заданию величина амплитуды линейных колебаний якоря;

$I_m, x_m, B_m$  – расчетные значения амплитуды потребляемого тока, линейных колебаний якоря и магнитной индукции в якорь;

$B_s, k_s$  – индукция насыщения материала якоря и коэффициент запаса по насыщению.

Решение задачи синтеза оптимального по быстродействию ЭМП заключается в определении значений конструктивных параметров  $d_{\text{тор}}, h$  и  $a_0$ , при которых значение собственной частоты по (2) максимально и одновременно выполнены условия ограничений (3).

После анализа существующих методов решения подобных задач [2] для поиска оптимума целевой функции (2) был выбран метод упорядоченного перебора, не требующий сложных математических преобразований целевой функции и ограничений.

Суть данного метода состоит в последовательном обходе узловых точек  $n$ -мерного пространства независимых переменных (в нашем случае это  $d_{\text{тор}}, h$  и  $a_0$ ). При этом в каждой узловой точке вычисляется значение целевой функции и одновременно проверяется выполнение ограничений. Точки, в которых они не выполняются, из дальнейших расчетов исключаются. После нахождения всех локальных оптимумов в области допустимых значений переменных производится их сравнение и определение глобального оптимума. В соответствии с принятой стратегией оптимизации разработана методика, алгоритм и программа расчета на ПЭВМ параметров ЭМП с максимальным быстродействием для заданных значений напряжения  $U_{m.\text{уст}}$  и тока  $I_{m.\text{уст}}$  источника электропитания и амплитуды линейных колебаний якоря  $x_{m.\text{тр}}$ . Оптимизация конструктивных параметров используемого в сейсмокомплексах СВ и СВП преобразователя с использованием данной методики позволила повысить его собственную частоту с 375 Гц до 611 Гц, т. е. почти на 60 %.

## Литература

1. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 1987. – 250 с.
2. Аветисян Д.А., Соколов В.С., Хан В.Х. Оптимальное проектирование электрических машин на ЭВМ. – М.: Энергия, 1976. – 215 с.

Получено 11.10.2002 г.