

задачах строительной механики летательных аппаратов. – М., Высшая школа, 1985. – 392 с. 3. *Andreev A.G., Scepkin A.W., Laugwitz F.* Untersuchung von Spannungen und Deformationen in Eisenbahnradern infolge induktiver Erwärmung bei der Montage. – Technische Mechanik, Bn. 15, H. 4 1995, S. 271-280. 4. *Никольская Э.Н., Гречищев Е.С., Герасимова А.К.* Исследование температурного и напряженного состояний цельнокатаного тепловозного колеса, Труды ВНИИ железнодорожного транспорта, 1970, **34**, 184-197.

Поступила в редколлегию 08.04.02

УДК 621.318.3.001.2

А.Е.БОЖКО, член-корреспондент НАН Украины; **К.Б.МЯГКОХЛЕБ**;
ИПМаш НАН Украины

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ

У роботі пропонується резонансний метод ідентифікації параметрів коливальної системи. Як джерело вібрації використовується електромагнітний збудник вібрації. Розглядаються послідовно коливальну систему з одним ступенем волі і коливальну систему з двома ступенями волі.

В работе [1] предлагается резонансный метод идентификации параметров колебательной системы с двумя степенями свободы. Там же рассматривается колебательная система с одной степенью свободы. В качестве вибровозбудителя используется электродинамический вибростенд (ЭДВ). Однако такой ЭДВ не всегда находится в распоряжении исследователя. В то же время источником вибрации может быть электромагнитный вибровозбудитель (ЭМВ). Однако при использовании ЭМВ из-за нелинейных преобразований входных сигналов в вибрацию якоря (подвижной системы) [2], в указанный метод идентификации должно быть внесено ряд принципиальных коррективов. Остановимся более детально на последних. Рассмотрим последовательно колебательную систему с одной степенью свободы и колебательную систему с двумя степенями свободы.

Согласно выражению (2) из [1] тяговое усилие подвижной системы (якоря) ЭМВ должно иметь вид

$$F_{\Sigma} = F + \Delta m \frac{d^2 x}{dt^2} + \Delta b \frac{dx}{dt} + \Delta c x, \quad (1)$$

где F – тяговое усилие, создаваемое от действия ЭДС задающего генератора; остальные слагаемые в (1) получаются от действия отрицательных обратных связей; x – перемещение; t – время.

Уравнение движения якоря ЭМВ в этом случае имеет вид

$$(m + \Delta m) \frac{d^2 x}{dt^2} + (b + \Delta b) \frac{dx}{dt} + (c + \Delta c)x = F, \quad (2)$$

причем $\Delta m, \Delta b, \Delta c$ – заданные величины.

Резонансная частота системы (2) равна

$$\omega_p = \sqrt{\frac{c + \Delta c}{m + \Delta m} - \frac{1}{2} \left(\frac{b + \Delta b}{m + \Delta m} \right)^2}. \quad (3)$$

Если менять значения $\Delta m, \Delta b, \Delta c$, то ω_p также будет меняться.

Для определения параметров m, b, c необходимо получить три значения резонансной частоты $\omega_{pk}, k = \overline{1,3}$ путем добавления $\Delta c, \Delta m$ или Δb с использованием обратных связей x, \dot{x}, \ddot{x} [3].

Формирование тягового усилия F [см. (2)] и перемещения x более просто можно осуществить электромагнитным возбудителем вибрации (ЭМВ). Однако в этом случае важно учесть тонкости преобразования сигнала задающего генератора $U_{\Gamma} = U_m \sin \omega t$, где U_m – амплитуда; ω – круговая частота, в тяговое усилие F .

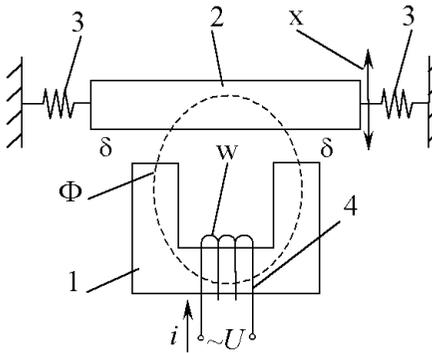


Рис. 1.

Рассмотрим эти преобразования и учтем их при создании тягового усилия F . Для наглядности приведем схему ЭМВ рис. 1. На этой схеме такие обозначения:

- 1 – магнитопровод;
- 2 – якорь;
- 3 – пружины;
- 4 – электрическая обмотка с током i ;
- U – входное напряжение;
- w – число витков обмотки 4;
- Φ – магнитный поток;
- δ – воздушные зазоры.

Известно [4], что в ЭМВ

$$F = \frac{\Phi^2}{\mu_0 S}, \quad (4)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость воздушного зазора δ ; S – площадь поперечного сечения полюсов магнитопровода у зазора δ .

Если учесть закон полного тока $iw = \Phi/G$, закон Ома

$$i = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \text{где } G = \frac{\mu_0 S}{2\delta} - \text{магнитная проводимость ЭМВ; } z, R, L -$$

полное активное сопротивление, индуктивность обмотки 4 соответственно, то тогда (4) запишем в виде

$$F = \frac{U^2 L}{2\delta [R^2 + (\omega L)^2]}. \quad (5)$$

Здесь учитывается выражение $L = w^2 G$ [3]. Обычно $\omega L \gg R$. Поэтому

$$F = \frac{U^2}{2\delta L \omega^2}. \quad (6)$$

Из (6) видно, что F – величина нелинейная (U^2) и обратно пропорциональна ω^2 и $2\delta L$. Подобная нелинейность в ЭМВ проявляется и для сигналов обратных связей $\Delta m \frac{d^2 x}{dt^2}$, $\Delta b \frac{dx}{dt}$, $\Delta c x$, хотя по идее метода идентификации [1] нелинейностей не должно быть (см. [1] и выражение (1)).

Предлагается следующая процедура и структура избавления от проведенной нелинейности и обратно пропорциональной зависимости U от $2\delta L \omega^2$.

Для этого дважды продифференцируем выходной сигнал задающего генератора Γ и выходные сигналы звеньев обратных связей. В результате получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 U_\Gamma}{dt^2} &= -\omega^2 U_m \sin \omega t & (7) \\ \Delta m \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{d^2 x}{dt^2} \right) &= -\Delta m \omega^4 x_m \sin \omega t \\ \Delta b \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{dx}{dt} \right) &= -\Delta b \omega^3 x_m \cos \omega t \\ \Delta c \frac{d^2}{dt^2} &= -\Delta c \omega^2 x_m \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Все сигналы (7) и (8) складываем и затем пропускаем через усилитель с нечетным числом каскадов с коэффициентом усиления $2\delta L$.

Суммарный сигнал пропускаем через звено извлечения квадратного корня и получаем сигнал

$$U = \sqrt{2\delta L \omega^2 \left(U_m \sin \omega t + \Delta m \frac{d^2 x}{dt^2} + \Delta b \frac{dx}{dt} + \Delta c x \right)}. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (6), получим

$$F = U_m \sin \omega t + \Delta m \frac{d^2 x}{dt^2} + \Delta b \frac{dx}{dt} + \Delta c x. \quad (10)$$

Как видим (10) – это (1), то есть произошла линеаризация в ЭМВ и теперь легко можно осуществить идентификацию параметров m , b , c , пользуясь резонансными частотами (3) на основе метода, представленного в работе [1].

Структура такого преобразования в ЭМВ представлена на рис. 2,

где Γ – генератор; Σ – сумматор; $>$ – усилитель; $\frac{d^2}{dt^2}$ – двойной дифференциатор; ЭМВ – вибровозбудитель; $\sqrt{\quad}$ – звено извлечения квадратного корня; \int – интегратор; Δm , Δb , Δc – звенья масштабные.

Такая схема достаточно обеспечивает линейризацию тягового усилия ЭМВ.

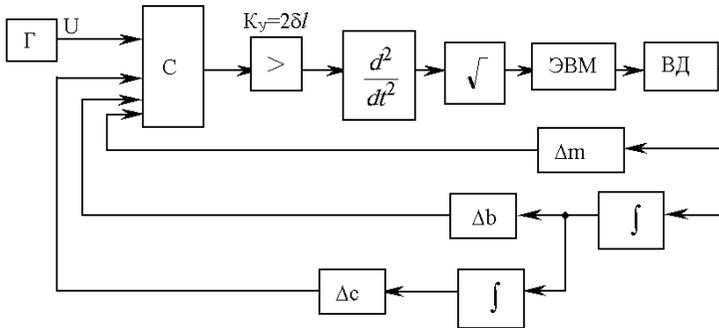


Рис.2

Список литературы: 1. Божко А.Е., Иванова З.А., Личкатый Е.А. Резонансный метод идентификации параметров колебательной системы с двумя степенями свободы. // Проблемы машиностроения, 2000. – Т 3-4. – С. 56-61. 2. Божко А.Е., Белых В.И., Мякохлеб К.Б. Улучшение функциональных возможностей электромагнитных вибростендов. // Доповіді НАН України, 2001. – № 10. – С. 100-103. 3. Божко А.Е. О формировании управления электромагнитными вибровозбудителями. // Доповіді НАН України, 2002. – № 2. – С. 99-102. 4. Клименко Б.В. Форсированные электромагнитные системы. М.: Энергоатомиздат, 1989.

Поступила в редколлегию 20.04.02

УДК 539.3

С.В.БОНДАРЬ, канд.техн.наук, **Д.В.ЛАВИНСКИЙ**, канд.техн.наук

КОНТАКТНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ОПЕРТОЙ НА РАДИАЛЬНОЕ КОЛЬЦО

Проведено моделювання контактної взаємодії циліндричної оболонки із радіальним кільцем. Надано порівняння результатів чисельного рішення методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу SPACE-T з даними аналітичного рішення.

Технологические операции по изготовлению различных деталей, основанные на способности металлов пластически деформироваться, нашли широкое применение в различных отраслях современной промышленности. Помимо традиционных методов обработки металлов давлением (ОМД), в которых деформирование осуществляется путем контакта заготовки и пуансона, все более популярными становятся “бесконтактные” методы. Такие методы должны применяться, когда недопустимым является загрязнение поверхности обрабатываемой заготовки чужеродными примесями. К “бесконтактным” от-