

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Г. Г. ШЕКЯН

К РАСЧЕТУ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ
 С УЧЕТОМ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ ГАСИТЕЛЕЙ

Эксплуатационная надежность электрической машины во многом зависит не только от состояния собственной виброактивности конструкции, но и от воздействующих механических факторов эксплуатационной среды. Из-за широкого применения электрических машин в промышленности условия их сочленения и установки отдельных рабочих механизмах самые различные. В связи с этим представляет интерес комплексное исследование динамического состояния различных конструктивных систем—спор электрических машин и приводятся результаты исследования динамики системы из двух связанных стержневых ветвей с сосредоточенными массами, закрепленными по длине стержня, и гасителями колебаний, установленными между ветвями (рис.). Колебание системы полностью определяется ее инерционными деформативными и диссипативными свойствами.

Инерционные свойства системы характеризуются величинами сосредоточенных по ветвям стержней масс m_k и M_k ($k = 1, 2, \dots, n$) и их распределением по высоте, а деформативные свойства системы — единичными реакциями r_{Rv} , R_{Rv} ветвей, соответствующих точкам приложения сосредоточенных масс. Диссипативные свойства гасителей колебания и элементов системы могут быть охарактеризованы при помощи их жесткостных (С) и демпфирующих (γ) коэффициентов.

Сначала рассмотрим уравнения колебания системы в предположении, что она консервативна, т. е. при колебаниях нет рассеяния энергии. Дифференциальные уравнения движения системы с $2n$ степенями свободы под воздействием возмущения, приложенного на систему, будут [1]:

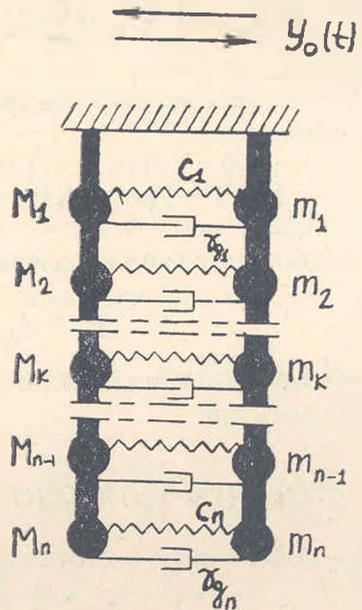


Рис.

$$m_k \ddot{y}_k + \sum_{v=1}^n r_{kv} y_v + C_k (y_k - z_k) = -m_k \ddot{y}_0(t); \quad (1)$$

$$M_k \ddot{z}_k + \sum_{v=1}^n R_{kv} z_v + C_k (z_k - y_k) = M_k \ddot{y}_0(t),$$

где $y_0(t)$ — ускорение возмущения заделки, являющееся случайной периодической функцией времени. Колебания реальных систем с гасителями сопровождаются рассеянием механической энергии, которое вызвано трением в сочленениях, несовершенной упругостью (внутренним трением) материалов, обратной утечкой части энергии в заделку и трением упругого сопротивления, которая приводит к удовлетворительным результатам применительно к системам со многими степенями свободы [2]. С этой целью необходимо перейти к комплексным функциям $y_k^*(t)$, $z_k^*(t)$, $y_0^*(t)$ и умножить упругие усилия в уравнениях колебания k -й массы консервативной системы на $(1 + \gamma_{ki})$ и $(1 + \gamma_{gki})$, где γ_k и γ_{gk} — коэффициенты рассеяния энергии в конструктивных элементах и гасителях. Применив указанное правило к системе уравнений (1), получим:

$$m_k \ddot{y}_k^* + (1 + \gamma_k i) \sum_{v=1}^n r_{kv} y_v^* + (1 + \gamma_{gk} i) C_k (y_k^* - z_k^*) = -m_k \ddot{y}_0^*; \quad (2)$$

$$M_k \ddot{z}_k^* + (1 + \gamma_k i) \sum_{v=1}^n R_{kv} z_v^* - (1 + \gamma_{gk} i) C_k (y_k^* - z_k^*) = -M_k \ddot{y}_0^*.$$

Сначала рассмотрим свободные колебания системы при начальных условиях

$$y_k(0) = y_k^0; \quad \dot{y}_k(0) = v_k^0; \quad z_k(0) = z_k^0; \quad \dot{z}_k(0) = u_k^0. \quad (3)$$

Представим искомое решение в виде:

$$y_k^* = A_k \zeta^*(t); \quad z_k^* = B_k \zeta^*(t), \quad (4)$$

где A_k , B_k — комплексные коэффициенты; $\zeta^*(t)$ — комплексная функция времени:

$$\zeta^*(t) = (1 + \gamma_k i) k_j^{02} \zeta^*(t) = 0; \quad \zeta^* = e^{-[a_j \sin k_j t + b_j \cos k_j t] \frac{\gamma_k}{2} k_j t}; \quad (5)$$

k_j — собственная частота системы:

$$k_j = \frac{k_j^{02}}{\sqrt{1 + \gamma_k^2/4}}, \quad (6)$$

где k_j^{02} — некоторая постоянная; a_j , b_j — постоянные интегрирования.

Тогда, согласно (4), будем иметь:

$$y_{jk}(t) = A_{jk} \exp \left[-\frac{\gamma_k}{2} k_j t \right] [a_j \sin k_j t + b_j \cos k_j t];$$

$$z_{jk}(t) = B_{jk} \exp \left[\frac{\gamma_k}{2} k_j t \right] [a_j \sin k_j t + b_j \cos k_j t],$$
(7)

где

$$A_{jk} = \frac{\sum_{\nu=1}^n r_{k\nu} A_{j\nu} - \frac{1 + \gamma_{gk} i}{1 + \gamma_k i} C_k B_{jk}}{m_k \bar{K}^{02} - \frac{1 + \gamma_{gk} i}{1 + \gamma_k i} C_k};$$

$$B_{jk} = \frac{\sum_{\nu=1}^n R_{k\nu} B_{j\nu} - \frac{1 + \gamma_{gk} i}{1 + \gamma_k i} C_k A_{jk}}{M_k \bar{K}^{02} - \frac{1 + \gamma_{gk} i}{1 + \gamma_k i} C_k}.$$
(8)

Формы собственных колебаний обладают свойством ортогональности— для любых двух нормальных колебаний с номерами форм j и r справедливы соотношения

$$\sum_{k=1}^n [m_k A_{jk} A_{rk} + M_k B_{jk} B_{rk}] = 0, \quad \{j \neq r\}.$$

При рассмотрении вынужденных колебаний начальные условия следует принимать в виде условий начального состояния покоя:

$$y_k^*(0) = 0; \quad \dot{y}_k(0) = 0; \quad z_k^*(0) = 0; \quad \dot{z}_k(0) = 0.$$

Представим частное решение неоднородной системы (2) в виде:

$$y_k(t) = \sum_{j=1}^n A_{jk} \zeta_j^*(t); \quad z_k^*(t) = \sum_{j=1}^n B_{jk} \zeta_j^*(t).$$

Тогда решения системы (2), удовлетворяющие начальным условиям, в действительной форме запишутся:

$$y_k = \sum_{j=1}^n y_{jk}(t) = \sum_{j=1}^n A_{jk} \zeta_{jk}(t) = - \sum_{j=1}^n A_{jk} \frac{D_{jk}}{K_j} \times$$

$$\times \int_0^t y_0(\tau) \exp \left[-\frac{\gamma_{kj}}{2} K_j (t - \tau) \right] \sin K_j (t - \tau) d\tau;$$

$$z_k = \sum_{j=1}^n z_{jk}(t) = \sum_{j=1}^n B_{jk} \zeta_j(t) = \sum_{j=1}^n B_{jk} \frac{D_{jk}}{K_j} \times$$

$$\times \int_0^t y_0(\tau) \exp \left[-K_j \frac{\gamma_{kj}}{2} (t - \tau) \right] \sin K_j (t - \tau) d\tau.$$
(5)

Таким образом, компоненты колебания точек крепления сосредоточенных масс на любом уровне стержневой системы с двумя связанными ветвями при случайном возмущении заделки могут быть определены выражениями (10). Это свидетельствует о том, что динамическое состояние электродвигателей, закрепленных на произвольных уровнях стержневой системы, вполне определено и зависит не только от формы возмущения заделки, но и деформативных и диссипативных свойств системы.

В качестве примера рассмотрена задача определения динамических возмущений на четырех однотипных электродвигателях 4ААМ56В2 (трехфазный асинхронный электродвигатель мощностью 0,25 кВт, с частотой вращения $n = 3000$ об/мин), установленных в механической системе в виде четырех связанных стержневых ветвей, между которыми имеются упруго-демпферные связи при синусоидальном возмущении заделки с амплитудой α и круговой частотой ω_1 . Исходные параметры расчета:

$$\begin{aligned} n &= 2; \quad a = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}; \quad \omega = 600 \text{ Гц}; \\ C_1 = 2C_2 &= 15,5 \cdot 10^9 \text{ Н/м}; \quad \gamma_1 = \gamma_{g1} = 0,018; \\ r_{1v} = 2r_{r1} &= 1,3 \cdot 10^8 \text{ Н/м}; \quad R_{1v} = 2R_{2v} = 0,2 \cdot 10^8 \text{ Н/м}. \end{aligned}$$

Для максимальных амплитуд смещения точек расположения сосредоточенных масс (электродвигателей) на уровнях 1 и 2 стержневой системы получаются значения:

$$y_1 = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}; \quad z_1 = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}; \quad y_2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}; \quad z_2 = 0,7 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

которые приводят к возбуждению результирующих ускорений с максимальными амплитудами

$$\omega_1 = 7,5 \text{ м/с}^2, \quad \omega_2 = 5,04 \text{ м/с}^2 \text{ на частоте } \omega = 600 \text{ Гц}.$$

Если возмущение заземления носит случайный характер, то оно может вызвать чувствительные силовые импульсы с различными амплитудами на широком диапазоне частот, учет которых необходим при оценке показателей долговечности и надежности машин.

НИИЭлектромаш

5. V. 1983

Հ. Գ. ՇԵԿՅԱՆ

ՁՆԴԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՏԱՏԱՆՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ, ՄԱՐԻՉՆԵՐԻ ԴԻՍԻՊԱՏԻՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ

Ա մ փ ո փ ու մ

Բերված են ըստ երկարության կենտրոնացված զանգվածներով երկու կապված ձողային համակարգի դինամիկական ուսումնասիրության արդյունքները, երբ ձողերի միջև տեղավորված են նաև տատանման մարիչներ:

Համակարգի տատանման խնդիրը լուծված է՝ հաշվի առնելով էլեմենտների իներտությունը, դեֆորմացիոն և դիսիպատիվ հատկությունները: Ստացված են ձողային համակարգի ցանկացած մակարդակի համար զանգվածների ամրացման կետերի տեղափոխությունների, արագությունների և արագացումների հաշվարկային բանաձևերը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил.— Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1959.— 285 с.
2. Сорокин Е. С. Исследования по динамике сооружений.— М.: Стройиздат, 1951.— 81 с.