

Г. Л. АРТГМЯН, Г. Г. ШЕКЯН, Л. А. ТУМАНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

К электрическим машинам предъявляются требования по обеспечению прочности при воздействии ударных нагрузок с различными длительностями импульсов и амплитудами ускорений. Ударные импульсы, приложенные на местах крепления электрических машин, могут передаваться на остальные элементы конструкции, усиливаясь или ослабевая. Величина ускорения на отдельных элементах может превышать приложенного на несколько порядков, в зависимости от формы ударного импульса, его длительности и жесткостных характеристик системы [1—3].

Наиболее опасными для элементов машин и аппаратов являются ударные перегрузки с кратковременными ударными импульсами [1]. При таких ударах реакцию элементов конструкции можно определить интегрированием уравнений движения при нулевых начальных условиях.

Представим электрическую машину в виде двухмассовой системы, представленной на рис. 1, и рассмотрим воздействие ударных импульсов трапецидальной, прямоугольной и синусоидальной форм (рис. 2). Исследование проведем с помощью операторного метода [4]. Используя теорему смещения

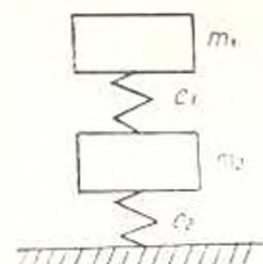


Рис. 1. Осцилляторная схема электрической машины.

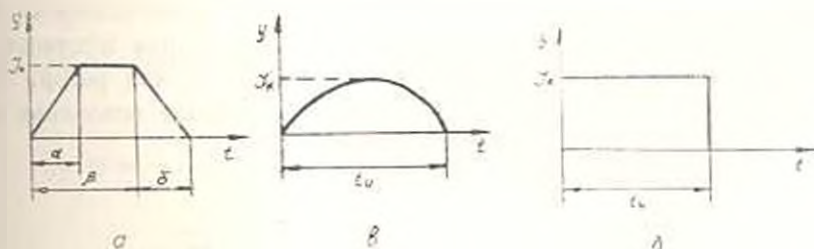


Рис. 2. Ударные импульсы различных форм: а) трапецидальная; б) прямоугольная; в) синусоидальная.

$$f(t-a) \doteq F(p)e^{-ap},$$

уравнения импульса трапецидальной формы можно представить в виде:

$$y(t) \doteq \frac{k_1}{p^2} - \frac{k_1}{p^2} e^{-\rho t} - \frac{k_2}{p^2} e^{-\gamma t} + \frac{k_2}{p^2} e^{-(\gamma+\delta)t}, \quad (1)$$

где $k_2 = \frac{I_k}{\delta}$, $k_1 = \frac{I_k}{\alpha}$ — крутизна или резкость спада фронта импульса (рис. 2а); α , δ — длительности фронта и спада импульса; I_k — амплитуда ускорения.

Если на основание электрической машины действует прямоугольный импульс ускорения (рис. 2б) с параметрами

$$\ddot{y}(t) = \begin{cases} I_k, & \text{если } 0 \leq t < t_u, \\ 0, & \text{если } t \geq t_u, \end{cases}$$

то уравнение этого импульса в операторной форме будет иметь вид

$$\ddot{y}(t) = \frac{I_k}{p} (1 - e^{-t_u p}). \quad (2)$$

Соответственно импульс ускорения синусоидальной формы (рис. 2в) —

$$\ddot{y}(t) = \begin{cases} I_k \sin p t, & \text{если } 0 \leq t < \frac{\pi}{p}, \\ 0, & \text{если } t \geq \frac{\pi}{p}, \end{cases}$$

$$\ddot{y}(t) = \frac{p}{p^2 + p^2} (1 + e^{-\frac{\pi}{p} p}), \quad (3)$$

где p — приведенная частота импульса.

Пренебрегая поворотами массы двигателя при ударе, уравнение движения системы (рис. 1) получаем в виде

$$\begin{cases} m_1 \ddot{y}_1 - c_1 (y_2 - y_1) = 0, \\ m_2 \ddot{y}_2 + c_2 (y_2 - y) + c_1 (y_2 - y_1) = 0, \end{cases}$$

где m_1 — масса ротора; m_2 — суммарная масса подшипниковых щитов со статором; C_1 — жесткость ротора; c_2 — приведенная жесткость подшипниковых щитов со статором; y_1 , y_2 — перемещения ротора и подшипниковых щитов соответственно; y — перемещение основания машины от ударного возмущения.

Вводя обозначения

$$\frac{c_1}{m_1} = \omega_1^2, \quad \frac{c_2}{m_2} = \omega_2^2, \quad \frac{c_1}{m_2} = \omega_3^2,$$

получаем:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1 - \omega_1^2 (y_2 - y_1) = 0; \\ \ddot{y}_2 + \omega_2^2 (y_2 - y) + \omega_3^2 (y_2 - y_1) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Дважды дифференцируя и снова обозначая $\ddot{y}_1 = \ddot{y}_1$, $\ddot{y}_2 = \ddot{y}_2$, $\ddot{y} = \ddot{y}$, получаем такое же уравнение (4), но уже в ускорениях. Производя преобразование Лапласа и имея в виду, что

$$y_1 \in I_1, \quad y_2 \in I_2, \quad y \in I,$$

где I, I_1, I_2 — соответствующие образы оригиналов, получаем:

$$I_1(p) = \frac{-\omega_1^2 \omega_2^2}{p^4 - p^2(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_0^2) - \omega_1^2 \omega_2^2} I(p); \quad (5)$$

$$I_2(p) = \frac{\omega_1^2 - p^2}{\omega_1^2} I_1(p).$$

Совместно решая уравнения (1) — (3) и (5) и производя обратное преобразование Лапласа, можем записать:

а) для прямоугольного импульса ускорения —

$$\left\{ \begin{aligned} y_1(t) &= \frac{2I_0 \omega_1^2 \omega_2^2 \sin \frac{Bt_0}{2}}{B^2(A^2 + B^2)} \sin \frac{2Bt - Bt_0}{2}; \\ y_2(t) &= \frac{2I_0 \omega_2^2(\omega_1^2 - B^2) \sin \frac{Bt_0}{2}}{B^2(A^2 + B^2)} \sin \frac{2Bt - Bt_0}{2}; \end{aligned} \right. \quad (6)$$

б) для синусоидального импульса ускорения —

$$\left\{ \begin{aligned} y_1(t) &= \frac{2I_0 \omega_1^2 \omega_2^2 p \cos \frac{\pi B}{2p}}{B^2(A^2 + B^2)} \sin \frac{2Bt - \frac{\pi}{p} B}{2}; \\ y_2(t) &= \frac{2I_0 \omega_2^2(\omega_1^2 - B^2) p \cos \frac{\pi B}{2p}}{(A^2 + B^2)(p^2 - B^2)B} \sin \frac{2Bt - \frac{\pi}{p} B}{2}; \end{aligned} \right. \quad (7)$$

в) для трапециoidalного импульса ускорения —

$$y_1(t) = -\omega_1^2 \omega_2^2 (E \sin Bt + F \cos Bt);$$

$$y_2(t) = -\omega_2^2 E (\omega_1^2 + B^2) \sin Bt - \omega_2^2 F (\omega_1^2 + B^2) \cos Bt,$$

где

$$A = \sqrt{\frac{\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_0^2 + \sqrt{(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_0^2)^2 - 4\omega_1^2 \omega_2^2}}{2}};$$

$$B = \sqrt{\frac{\sqrt{(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_0^2)^2 + 4\omega_1^2 \omega_2^2} - (\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_0^2)}{2}};$$

$$E = \frac{k_1 - k_1 \cos B\alpha - k_2 \cos B\beta + k_3 \cos B(\alpha + \beta)}{B^3(A^2 + B^2)};$$

$$F = \frac{k_1 \sin B\alpha + k_2 \sin B\beta - k_3 \sin B(\alpha + \beta)}{B^3(A^2 + B^2)}.$$

Из формул (6) — (8) видно, что на элементы двигателя ускорение передается с опозданием $t = \frac{t_k}{2}$. Кроме того, при точном выборе массо-жесткостных характеристик из уравнений (6) и (7) видно, что возможно получение на элементе двигателя нулевого уровня ускорения. Расчет прочности следует произвести, исходя из максимального значения ускорения, передаваемого на элементы машин.

На основании проведенного исследования с использованием формул (6) — (8) составлена программа расчета ускорений ударного импульса ротора на ЭВМ ЕС-1032 для двигателей типа ААМ50В4. Сравнительные, расчетные и непосредственно измеренные значения ускорений ротора и статора двигателя приведены в таблице.

Таблица

Формы импульсов	max $ y_1(t) $ t, t_k		max $ y_2(t) $ t, t_d		max $ y_1(t) - y_2(t) $ t, t_d	
	аналитический	экспериментальный	аналитический	экспериментальный	аналитический	экспериментальный
прямоугольная	1,6 t_k	1,5 t_k	1,2 t_k	1,1 t_k	0,5 t_k	0,4 t_k
синусоидальная	1,25 t_k	1,15 t_k	1,1 t_k	0,9 t_k	0,34 t_k	0,3 t_k
трапецидальная	1,35 t_k	1,3 t_k	1,15 t_k	1,05 t_k	0,4 t_k	0,35 t_k

Сравнение результатов таблицы показывает удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных. Полученные аналитические соотношения могут быть использованы в конструкторской и расчетной практике при оценке ударопрочности конструктивных элементов на стадии проектирования электрических машин.

Հ. Լ. ԱՐՏԵՄՅԱՆ, Հ. Գ. ՇԻՇԵԱՆ, Է. Ա. ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄԵԳԵՆԱՆԵՐԻ ՏԱՐՐԵՐԻ ՎՐԱ ՀԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅԱՆ ՈՒՈՐՈՄԵԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա. Մ. Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դիտարկված է էլեկտրական մեքենաների տարրերի արագացումների որոշման խնդիրը, երբ մեքենայի ամրացման տեղում ազդում են տարբեր ձևերի հարվածային իմպուլսներ: Շարժման դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի լուծումը կապյալի ձևափոխությամբ քույլ է տվել էլեկտրական մեքենաների տարրերի արագացումները որոշելու համար ստանալ վերլուծական արտահայտություններ: Բերված է վերլուծական հաշվարկների և փորձական արդյունքների համեմատական աղյուսակ:

- 1 Шекляк Г. Г. Проверка подшипников качения электрических машин на ударопрочность // Сб. науч. тр. ЕРПИ. сер. Машиностроение. — 1971. Т. 33, вып. V. — С. 32—35.
- 2 Батцев Г. С. Инженерные методы исследования ударных процессов. — М.: Машиностроение, 1977. — 186 с.
- 3 Кожеников С. Н. Теория механизмов и машин. — М.: Машиностроение, 1973. — 256 с.
- 4 Микусинский Я. Н. Операторное исчисление. — М.: ИЛ, 1965. — 283 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI, № 6, 1987

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Ю. А. ГАСПАРЯН

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ РЕЗОНАТОРА НА ЕГО АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Определение входного импеданса объемного низкочастотного многорезонансного звукопоглотителя (ОМНРЗП) сложной конфигурации представляет известные трудности в связи с тем, что необходимо решить дифракционную задачу для полного уравнения при сложных граничных условиях, а также рассеивание, отражение и трансформацию звуковых волн, величина звукопоглощения которых не поддается теоретическому расчету [1]. Поэтому для проектирования ОМНРЗП широкое применение получили приближенные методы, основанные на упрощенных моделях передачи звука через резонансный звукопоглотитель.

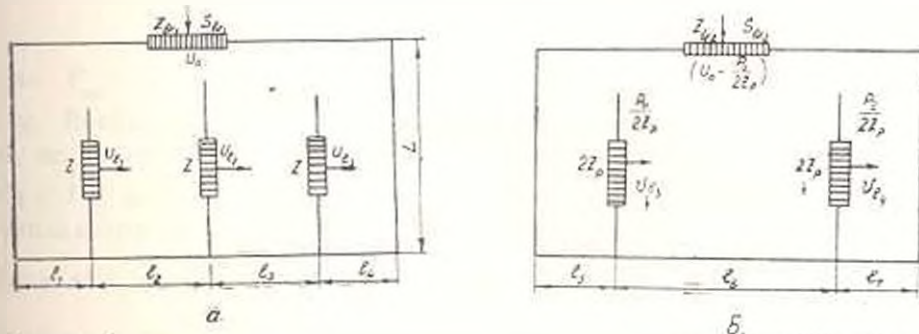


Рис. 1. Схема прохождения скорости и давления звуковой волны в ОМНРЗП: а, б — трех — и двухрядной дифракционной решетки.

Комплексный импеданс системы акустического элемента (рис. 1), исходя из импеданса в точке приложения — входного поршня лицевой поверхности резонатора, импеданса излучения поршня и переходного импеданса с учетом площади входных и лицевых отверстий будем искать согласно рекомендациям [2, 3] и электроакустической аналогии.