

УДК. 681. 586

Н.Н. Сапига, Т.Н. Захарова, М.В. Мерка

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

ДАТЧИКИ ВИБРАЦИИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье предложена математическая модель датчика вибрации для ответственного асинхронного электродвигателя собственных нужд электростанций, позволяющая определить собственную частоту и выходной сигнал акселерометра при разных входных сигналах.

Ключевые слова: акселерометр, датчик, собственная частота.

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы.

Вибрации – это динамическое механическое явление, заключающееся в периодических колебательных движениях вокруг заданного положения. Вибрации в асинхронных электродвигателях (АД) вызываются причинами механического и электромагнитного характера. К механическим причинам относятся – износ и повреждение деталей, старение смазки подшипника; ослабление прессовки сердечника статора, повреждения вентилятора и его кожуха, нарушение балансировки ротора, повреждения лап. Причины вибрации электромагнитного характера – междуфазные, междувитковые замыкания и обрывы в обмотке статора, обрыв стержней ротора, неравномерность зазора между ротором и статором [1]

В качестве примера ответственного АД напряжением 6 кВ собственных нужд атомных электростанций (АЭС) рассмотрим АД главного циркуляционного насоса (ГЦН) мощностью 8000 кВт (для реактора ВВЭР-1000). Устанавливаемые на АЭС ГЦН обладают моментом инерции, достаточным для сохранения уровня мощности АЭС при глубоких посадках напряжения или потере напряжения на всех ГЦН в течение порядка 1,4с и переходе реактора на естественную циркуляцию после срабатывания аварийной защиты в режиме обесточивания, если напряжение после 1,4 с не восстановится. Хотя ГЦН относятся к потребителям третьей группы, учитывая их высокую ответственность принимается ряд мер по обеспечению надёжности электроснабжения и поддержанию надёжности в эксплуатации ГЦН. Важнейшей мерой по поддержанию надёжности при эксплуатации ГЦН является контроль вибрации АД.

Классификация акселерометров приведена на рис. 1 [2]. Проведенный анализ показывает, что пьезоэлектрический акселерометр является одним из лучших датчиков для измерений вибраций и практически полностью вытеснил преобразователи, ос-

нованные на других физических принципах. Это вытекает из следующих свойств пьезоэлектрических акселерометров:

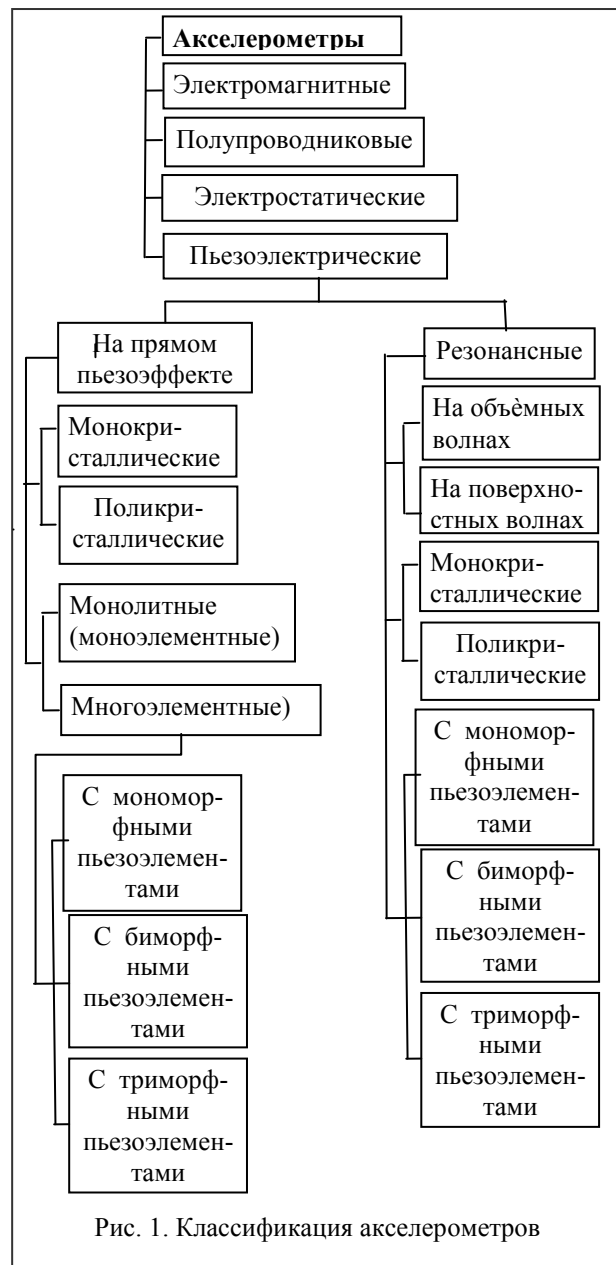


Рис. 1. Классификация акселерометров

- широкий частотный диапазон;
- линейная характеристика в широком динамическом диапазоне;
- выходной электрический сигнал, пропорциональный ускорению механических колебаний, может быть преобразован в электрический сигнал, пропорциональный виброскорости или виброперемещению;
- высокая стойкость в отношении воздействий окружающей среды и сохранение высокой точности даже в неблагоприятных эксплуатационных условиях;
- не нуждается в применении источника питания;
- отсутствие движущихся частей, что гарантирует высокий срок службы;
- возможность построения малогабаритных преобразователей.

Цель статьи: разработка математической модели датчика вибрации для ответственного асинхронного электродвигателя собственных нужд электростанций, позволяющая определить собственную частоту и выходной сигнал акселерометра при разных входных сигналах.

Основной материал

Рассмотрим одноосевой акселерометр, состоящий из инерционного элемента, чье движение преобразуется в электрический сигнал. Для этого можно применить пьезоэлектрический преобразователь. На рис. 2, а показана механическая модель такого акселерометра. Масса M удерживается пружиной, обладающей коэффициентом жесткости k . Движение массы демпфируется успокоительным устройством, обеспечивающим коэффициент затухания b . Инерционный элемент может перемещаться в корпусе акселерометра только в горизонтальном направлении. Во время движения на устройство действует ускорение $\frac{d^2x}{dt^2}$, а выходной сигнал пропорционален отклонению массы на расстояние x_0 .

Поскольку инерционный элемент может перемещаться только в одном направлении, акселерометр имеет только одну степень свободы. На рис. 2, б показана диаграмма сил, действующих на свободное тело массы M . Применяя второй закон Ньютона и учитывая, что x_0 равно сумме смещения тела от равновесного состояния x и некоторого фиксированного расстояния, получим:

$$Ma = -kx - b \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

где a – ускорение инерционной массы с учётом ускорения свободного падения:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} - \frac{d^2y}{dt^2}. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) получим:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = M \frac{d^2y}{dt^2}. \quad (3)$$

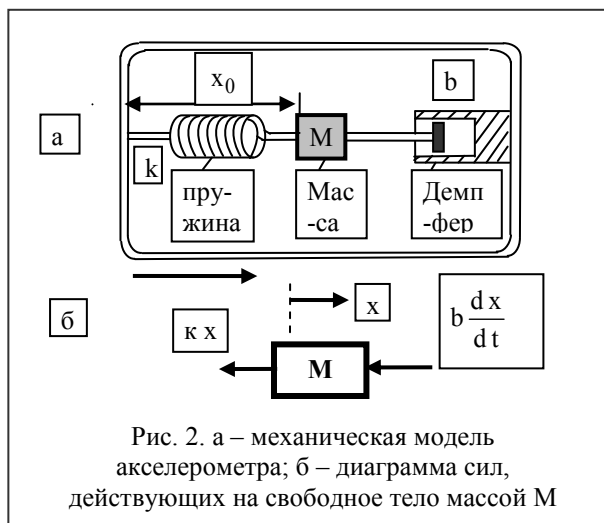


Рис. 2. а – механическая модель акселерометра; б – диаграмма сил, действующих на свободное тело массой M

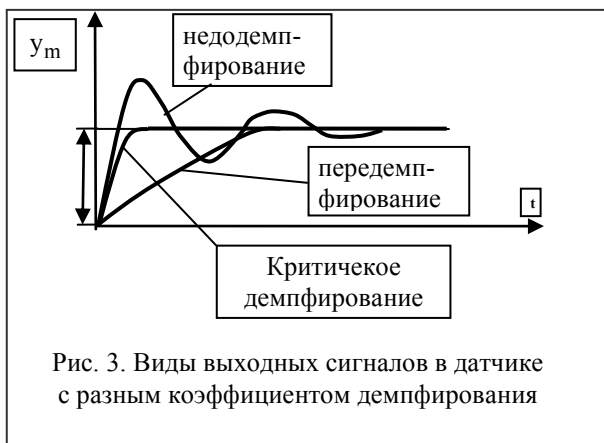


Рис. 3. Виды выходных сигналов в датчике с разным коэффициентом демпфирования

Каждый член уравнения (3) имеет размерность ньютон (Н). То, что (3) является дифференциальным уравнением второго порядка, означает возможность появления на выходе акселерометра нежелательных колебаний. На практике, регулируя коэффициент затухания b , добиваются состояния критического демпфирования (рис. 3). Когда выходной сигнал устанавливается достаточно быстро и не выходит за пределы стационарного значения y_{my} (рис. 3), считается, что система обладает критическим затуханием, а её коэффициент демпфирования равен 1,0. Когда коэффициент демпфирования $< 1,0$, и выходной сигнал $y_m > y_{my}$, считается, что система недодемпфирована. А когда коэффициент демпфирования $> 1,0$, и сигнал y_m устанавливается гораздо медленнее, чем в системе с критическим затуханием, считается, что система передемпфирована.

Таким образом, математическая модель акселерометра может быть представлена уравнением (3). Для решения этого уравнения можно воспользо-

ваться преобразованиями Лапласа, применив которые и учитывая, что $x(0) = 0$, получим выражение:

$$(Mp^2 + bp + k)X(p) = MY(p), \quad (4)$$

где $X(p)$ и $Y(p)$ – преобразования Лапласа для перемещения $x(t)$ и ускорения на входе акселерометра $\frac{d^2y}{dt^2}$. Решая это уравнение относительно $X(p)$, получим:

$$X(p) = \frac{MY(p)}{Mp^2 + bp + k}. \quad (5)$$

Обозначим $\sqrt{k/M} = \omega_0$; $b/M = 2\xi\omega_0$. Тогда (5) принимает вид:

$$X(p) = \frac{MY(p)}{p^2 + 2\xi\omega_0 p + \omega_0^2}, \quad (6)$$

где ω_0 – собственная угловая частота акселерометра; ξ – нормализованный коэффициент затухания.

Если принять:

$$G(p) = \frac{1}{p^2 + 2\xi\omega_0 p + \omega_0^2}, \quad (7)$$

то (6) принимает вид:

$$X(p) = G(p)Y(p).$$

Его решение может быть выражено при помощи операторов обратного преобразования Лапласа:

$$x(t) = L^{-1}\{G(p)Y(p)\}. \quad (8)$$

Применяя к нему теорему о свёртке преобразований Лапласа, получим:

$$x(t) = \int_0^t g(t-\tau)y_m(\tau)d\tau, \quad (9)$$

где y_m – зависимость амплитуды акселерометра от времени; $g(t)$ – обратное преобразование Лапласа

$$x(t) = L^{-1}\{G(p)\}.$$

При $\omega = \omega_0\sqrt{1-\xi^2}$ уравнение (9) имеет два решения.

Одно для затухания ниже критического ($\xi < 1$):

$$x(t) = \int_0^t \frac{1}{\omega} \exp[-\xi\omega_0(t-\tau)] \sin \omega(t-\tau) y_m(t) d\tau,$$

а другое – для затухания выше критического ($\xi > 1$):

$$x(t) = \int_0^t \frac{1}{\omega} \exp[-\xi\omega_0(t-\tau)] \sin \omega(t-\tau) y_m(t) d\tau. \quad (11)$$

ДАТЧИКИ ВІБРАЦІЇ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

М.М. Сапіга, Т.М. Захарова, М.В. Мерка

У статті запропонована математична модель датчика вібрації для відповідального асинхронного електродвигуна, яка дозволяє визначити власну частоту і вихідний сигнал датчика при різних входних сигналах.

Ключові слова: акселерометр, датчик, власна частота.

VIBRATION SENSORS OF MAIN ELECTRIC MOTORS OF OWN NEEDS OF ELECTRIC POWER STATIONS

N.N. Sapiga, T.N. Zfharova, N.V. Merka

In the Article is offered a mathematic model of the vibration sensor for main asynchronous electric motor of the own needs of electric power stations, which lets to define the own frequency and the exit signal of the sensor at different entrance signals.

Keywords: accelerometer, sensor, own frequency.

Во втором уравнении $\omega = \omega_0\sqrt{\xi^2 - 1}$.

По этим выражениям можно определить выходной сигнал акселерометра при разных входных сигналах.

Правильно рассчитанный, изготовленный и откалиброванный акселерометр должен иметь одну резонансную (собственную) частоту и плоскую частотную характеристику, обеспечивающую заданную точность измерений (рис. 4). В пределах плоской зоны датчик корректно реагирует на изменение входного сигнала. Для расширения динамического диапазона акселерометра, ограниченного резонансной частотой, применяют вязкое демпфирование. В качестве демпфирующей среды чаще всего используется силиконовая смазка.

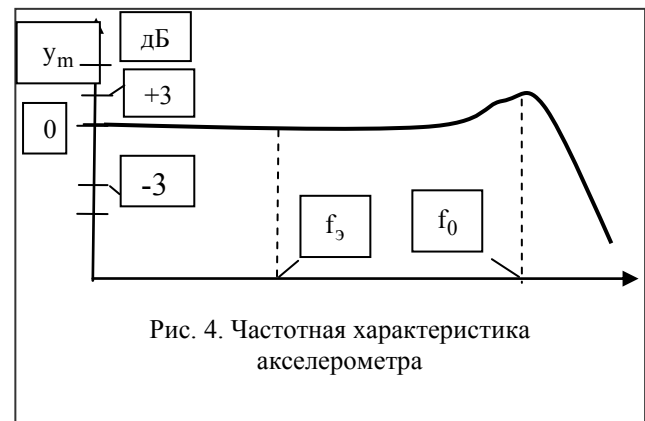


Рис. 4. Частотная характеристика акселерометра

Выводы

1. Пьезоэлектрический акселерометр является одним из лучших датчиков для измерений вибраций.
2. Предложенная математическая модель датчика вибрации позволяет определить собственную частоту и выходной сигнал акселерометра при разных входных сигналах.

Список литературы

1. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин / Р.Г. Гемке. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 247 с.
2. Шаронов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шаронов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шаронова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.

Поступила в редколлегию 15.12.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Ф. Артюх, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.