

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ СИСТЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

Воронцов А.Г., Донецкий национальный технический университет

Достоверность выносимых диагнозов, обеспечиваемая системой высокочастотной вибродиагностики (ВВД) машинного оборудования, определяется уровнем информативных составляющих вибросигналов, уровнем помех и шумов, воздействующих на измерительные каналы (ИК) системы и способностью каналов обеспечивать необходимое качество результатов измерений диагностических параметров в этих условиях. Оптимизация структуры и характеристик ИК – главное направление повышения достоверности диагностики. Для сравнительной оценки альтернативных ИК при построении на их основе системы ВВД необходимы объективные показатели, количественно характеризующие способность каналов гарантировать измерение параметров информативных сигналов малого уровня, соизмеримых с собственными шумами в условиях действия помех, в том числе и внеполосных. Такими показателями для ИК ВВД являются:

- Минимальный уровень СКЗ виброускорения информативной компоненты вибрации на входе ИК, измеряемый с погрешностью и доверительной вероятностью не хуже заданных. Эта величина определяет нижнюю границу диапазона измеряемых виброускорений.
- Минимальный уровень СКЗ виброускорения компонент вибрации, представляющих собой помехи, по отношению к информативной компоненте и порождающих на выходе ИК сигналы помех в информативной полосе частот с уровнем, соответствующим нижней границе диапазона измерений. Эта величина определяет верхнюю границу уровня помех на входе ИК, при котором еще возможно измерение информативной компоненты вибрации с заданными погрешностью и доверительной вероятностью.

Следует особо отметить, что в информативной полосе частот могут одновременно существовать сразу несколько информативных сигналов, но при выполнении конкретного измерения во внимание

принимается только один, несущий информацию об оцениваемом дефекте. Все остальные по отношению к нему рассматриваются как помехи. По – существу, вышеназванные показатели определяют границы динамического диапазона входных сигналов ИК (информативных и помех) в пределах которого возможно измерение с гарантированным качеством.

Известно [2], что нижняя граница измеряемых вибросигналов определяется коэффициентом преобразования (чувствительностью) датчика – акселерометра, собственными шумами ИК и действующими помехами. Этот показатель является абсолютным и измеряется в единицах виброускорения (виброскорости, виброперемещения). Верхнюю границу помех на входе ИК, определяют интермодуляционные компоненты и гармоники, порождаемые в самом ИК при чрезмерно большом уровне сигналов. Этот показатель может быть выражен как в абсолютных единицах, так и в долях нижней границы измеряемого вибросигнала или децибелах. Представление верхней границы в относительных единицах предпочтительнее, поскольку используемый показатель не зависит от выбора датчика и характеризует степень совершенства звеньев, определяющих верхнюю границу.

Фактическое значение вышеназванных показателей может быть получено в результате экспериментальных исследований, осуществляемых в процессе метрологической аттестации ИК. Существующие методы и методики аттестации акселерометров и используемых совместно с ними усилителей [3], основаны на известных версиях стандарта ISO [1]. Они не предусматривают определения границ динамического диапазона ИК, однако, анализ и дальнейшее их развитие, позволяют создать основы методики проведения метрологической аттестации, обеспечивающей определение указанных показателей

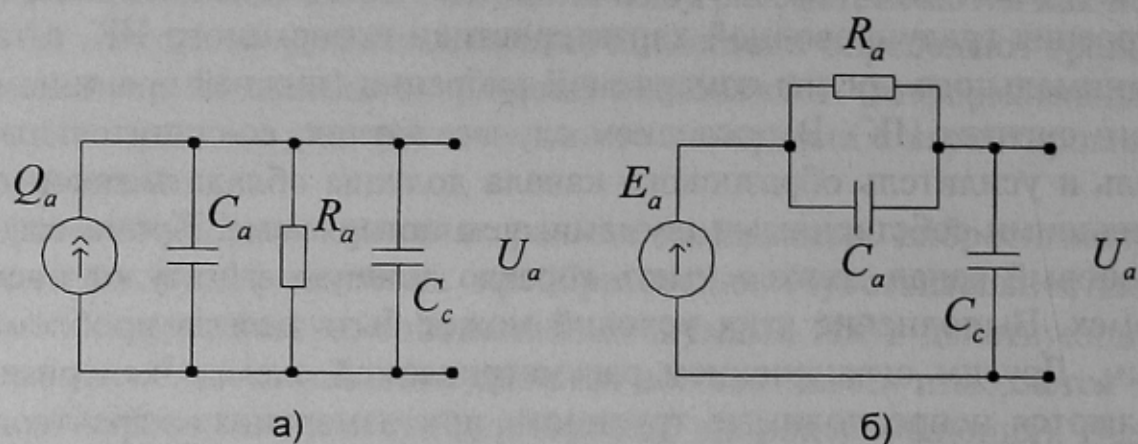
Существующие методы [3] основаны на использовании источника вибрации (вибростенда), на котором закрепляются, установленные один над другим, образцовый и поверяемый акселерометры. Каждый акселерометр соединен с индивидуальным усилителем, на выходе которого включены средства для измерения СКЗ вибросигнала. Фактически организуется два измерительных канала – образцовый и поверяемый, для измерения виброускорения одной и той же вибрации возбуждаемой вибростендом. Данный метод, кроме использования по

прямому назначению – измерению осевой чувствительности датчика и его частотных характеристик, может быть использован для построения градуировочной характеристики поверяемого ИК, а так же минимального уровня измеряемой вибрации (нижней границы входного сигнала ИК). В последнем случае, датчик, соединительный кабель и усилитель образцового канала должны обладать значительно меньшими собственными шумами, чем поверяемые. Кроме того, образцовый канал должен иметь гораздо лучшую защиту от внешних помех. Выполнение этих условий может быть весьма проблематичным. Другим ограничением рассматриваемой схемы экспериментов являются непреодолимые трудности при измерениях характеристик ИК с использованием сигналов значительного уровня. Искажения, вносимые нелинейностями вибростенда, могут значительно превышать искажения вносимые усилителями и фильтрами поверяемого оборудования. Эти же нелинейности могут быть причинами возникновения интермодуляционных компонент, при испытаниях полигармоническими сигналами. Указанных трудностей можно избежать, если отказаться от использования вибростенда, а испытательные сигналы подавать на вход усилителя ИК через модель датчика – акселерометра. В пользу такого решения можно привести следующие доводы:

- Датчики современных ВВД – пьезоэлектрические акселерометры, обладают линейными свойствами в широком диапазоне измеряемых величин (порядка 160 дБ [2]), значительно превышающем динамический диапазон следующих за ними преобразователей ИК;
- Как показано в [4], именно интермодуляционные компоненты и гармоники, определяемые фильтрующими свойствами и нелинейности звеньев фильтра основной селекции ИК, попадающие в информативную полосу частот, являются теми помехами, которые ограничивают верхнюю границу динамического диапазона входных сигналов ИК.

Такой подход, однако, требует разработки модели акселерометра, методов ее реализации и оценки влияния на погрешности измерений.

Известны две схемы замещения акселерометра – с источником



C_a – собственная емкость акселерометра; R_a – сопротивление утечки акселерометра; C_c – емкость соединительного кабеля.

Рисунок 1 – Схемы замещения датчика-акселерометра: а) с источником заряда; б) с источником э.д.с.

заряда Q_a и источником э.д.с. E_a [2] (см. рис. 1).

Из условия эквивалентности схем замещения и пренебрегая сопротивлением утечки в акселерометре, можно записать выражение для выходного напряжения акселерометра

$$U_a = \frac{Q_a}{C_a + C_c} = \frac{\frac{E_a}{C_c}}{\frac{1}{C_a} + \frac{1}{C_c}} \quad (1)$$

Учитывая, что заряд Q_a связан с измеряемым виброускорением a соотношением

$$Q_a = S_q a,$$

где S_q - осевая чувствительность акселерометра по заряду (паспортная величина, определяемая на заданной частоте калибровки акселерометра f_k), легко перейти к зависимости виброускорения и эквивалентной э.д.с.

$$a = \frac{C_a}{S_q} E_a, \tag{2a}$$

$$E_a = \frac{S_q}{C_a} a. \tag{2б}$$

Формулы (2а) и (2б) могут быть уточнены путем использования известной частотной характеристики $S_q(f)$ и получаемого на этой основе частотно – зависимого поправочного коэффициента

$$k_n = k_n(f) = \frac{S_q(f)}{S_q(f_\kappa)}. \tag{3}$$

С учетом этого, получим

$$a(f) = \frac{C_a}{S_q(f_\kappa)k_n(f)} E_a(f), \tag{4а}$$

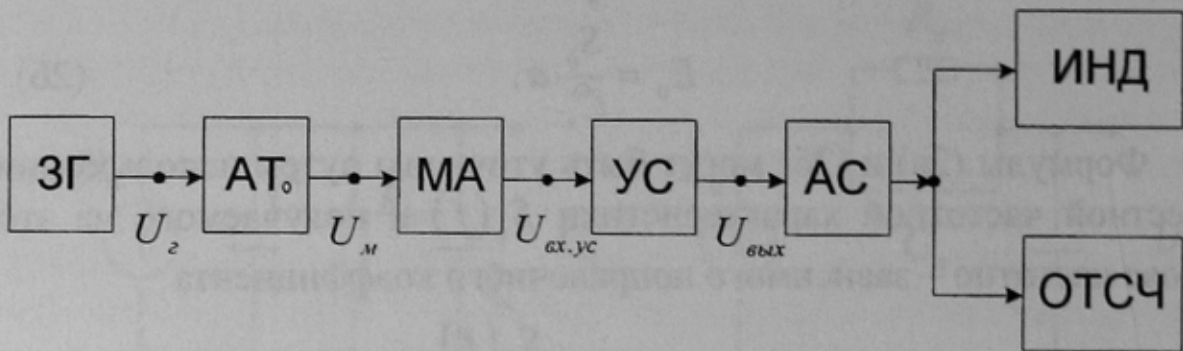
$$E_a(f) = \frac{S_q(f_\kappa)k_n(f)}{C_a} a(f). \tag{4б}$$

В дальнейшем для упрощения обозначений не будем выделять особо зависимость параметров и переменных от частоты, но считая, что $S_q = S_q(f_\kappa)$, $k_n = k_n(f)$, $a = a(f)$, $E_a = E_a(f)$.

Соотношение (4б) дает возможность рассчитывать значения напряжения $U_m = E_a$, которое необходимо подавать на схему рис.1б, что бы на ее выходе получить такое же значение U_a , как и на выходе реального акселерометра, воспринимающего виброускорение a . Таким образом, цепь, реализующая схему рис. 1б, источник гармонического сигнала напряжения $U_m = E_a$, зависимость (3), построенная на основе известной частотной характеристики $S_q = S_q(f)$ и соотношения (4) являются составляющими модели акселерометра, позволяющей воспроизвести его работу, при метрологических исследованиях и избежать при этом использования вибростенда.

С учетом разработанной модели акселерометра, структурная схема измерения нижней границы динамического диапазона ИК может быть представлена в виде рис. 2.

Напряжение на входе модели U_m определяется выходным на-



ЗГ – генератор гармонического сигнала напряжения; АТ₀ – образцовый аттенюатор; МА – электрическая цепь, воспроизводящая схему замещения акселерометра (рис. 1б); УС – усилитель и фильтр ИК; АС – цифровой анализатор спектра ИК; ИНД – индикаторное устройство; ОТСЧ – отсчетное устройство для измерения уровня гармонической компоненты сигнала на заданной частоте.

Рисунок 2 – Структурная схема измерения нижней границы динамического диапазона ИК.

пряжением генератора U_z и коэффициентом передачи образцового аттенюатора k_o

$$U_m = U_z k_o.$$

Соответствующее ему виброускорение может быть определено по полученной ранее зависимости (4а). СКЗ погрешности измерения воспроизводимого в ходе эксперимента виброускорения может быть определено по формуле

$$\sigma_a = \left[(A_{U_z}^a \sigma_{U_{zu}})^2 + (A_{U_y}^a \sigma_{U_{yy}})^2 + (A_{k_n}^a \sigma_{k_n})^2 + (A_{k_o}^a \sigma_{k_o})^2 + (A_{C_a}^a \sigma_{C_a})^2 + (A_{S_q}^a \sigma_{S_q})^2 \right]^{1/2}$$

Здесь символами вида A_x^y обозначены коэффициенты влияния величин x на величины y . Соответственно,

$$A_{U_z}^a = \frac{1}{S_q} C_a k_n k_o, \quad A_{k_n}^a = \frac{1}{S_q} C_a k_o U_z, \quad A_{C_a}^a = \frac{1}{S_q} k_n k_o U_z,$$

$$A_{k_o}^a = \frac{1}{S_q} C_a k_n U_z, \quad A_{S_q}^a = -\frac{1}{S_q^2} C_a k_n k_o U_z,$$

$\sigma_{U_{zw}}$ - СКЗ ошибки измерения напряжения генератора ЗГ;

$\sigma_{U_{zy}}$ - СКЗ ошибки установки напряжения U_z генератора ЗГ;

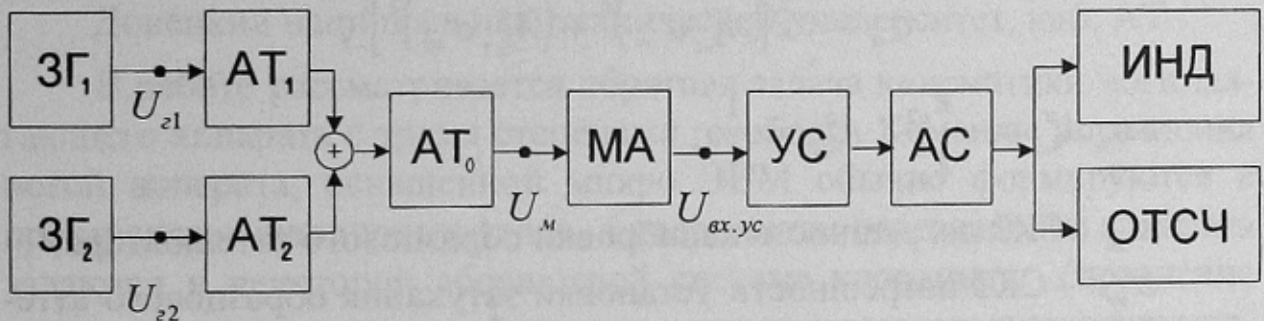
σ_{k_n} - СКЗ ошибки определения поправочного коэффициента k_n ;

σ_{k_o} - СКЗ суммарной погрешности калибровки и установки коэффициента передачи k_o образцового аттенюатора;

σ_{C_a} - СКЗ отклонения значения емкости C_a модели относительно истинной емкости акселерометра;

σ_{S_q} - СКЗ определения осевой чувствительности акселерометра.

Структурная схема измерения относительного уровня помех, вызывающих интермодуляционные искажения, приведена на рис. 3.



ЗГ₁, ЗГ₂ – генераторы гармонических сигналов напряжения; АТ₁, АТ₂ – аттенюаторы развязки генераторов. Остальные обозначения соответствуют приведенным на рис. 2.

Рисунок 3 – Структурная схема измерения относительного уровня помех.

Измерение производится в два этапа.

Первый этап установка уровня сигналов U_{z1} и U_{z2} , соответствующих нижней границе динамического диапазона при максимальном затухании, вносимом образцовым аттенюатором АТ₀. Для каждой из компонент, генерируемых генераторами ЗГ₁ и ЗГ₂ справедливо соотношение

$$U_{\text{ex.yc1}} = U_z k_p k_{o1} k_m,$$

где k_p, k_{o1}, k_m - коэффициенты передачи аттенюатора развязки, образцового аттенюатора и модели акселерометра, соответственно.

Второй этап – установка уровня сигнала $U_{\text{ex.yc}}$ на входе усилителя, при котором отсчетное устройство индицирует помехи заданного уровня на выходе ИК. Для нового значения коэффициента передачи образцового аттенюатора $k_o = k_{o2}$ имеем

$$U_{\text{ex.yc2}} = U_z k_p k_{o2} k_m.$$

Относительный уровень сигнала $U_{\text{ex.yc2}}$ равен

$$\alpha = \frac{U_{\text{ex.yc2}}}{U_{\text{ex.yc1}}} = \frac{k_{o2}}{k_{o1}}.$$

СКЗ погрешности определения относительного уровня сигнала $U_{\text{ex.yc2}}$ может быть найдено по следующей формуле

$$\sigma_\alpha = \sqrt{2} \left[\left(A_{k_{o1}}^\alpha \sigma_{\text{ок}} \right)^2 + \left(A_{k_{o2}}^\alpha \sigma_{\text{oy}} \right)^2 \right]^{1/2},$$

где $A_{k_{o1}}^\alpha = -\frac{k_{o2}}{k_{o1}^2}$; $A_{k_{o2}}^\alpha = \frac{1}{k_{o1}}$;

$\sigma_{\text{ок}}$ - СКЗ погрешности калибровки образцового аттенюатора;

σ_{oy} - СКЗ погрешности установки затухания образцового аттенюатора.

Выводы

1. Обоснована концепция методики определения границ динамического диапазона измерительного канала системы высокочастотной вибродиагностики.
2. Разработана модель датчика – акселерометра, позволяющая существенно упростить экспериментальные метрологические исследования и реализовать метрологическую аттестацию измерительного канала по показателям границ динамического диапазона.

3. Получены соотношения для определения оценок погрешностей измерения границ динамического диапазона измерительного канала системы высокочастотной вибродиагностики.

Список источников

1. International standard ISO 5347-3(E):1993. Methods for calibration of vibration and shock pick – ups. – Part 3: Secondary vibration calibration. – 7p
2. Серридж М., Лихт Т.Р. Справочник по пьезоэлектрическим акселерометрам и преусилителям. Изд – во «Ларсен и сын», Глоstrup, Дания. 1987, 187 с.
3. Лихт Т.Р., Андерсен Х. Тенденции в градуировке акселерометров. (Пер. с англ.) Технический обзор №2, 1987. Брюль и Кьер. Нерум. Дания. - С. 23 – 42.
4. Воронцов А.Г. Исследование влияния нелинейности фильтра основной селекции на уровень помех в измерительном канале системы вибродиагностики. // Вестник Восточнoукраинского национального университета. – 2002. - № 1, С 260 – 267.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШАРНИРНЫХ УГЛОВ ПОВОРОТА ЗВЕНЬЕВ НОГИ ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Рафиков Г.Ш., Хорхордин А.В., Анимица Н.

Донецкий национальный технический университет, каф. АТ

В работе рассматривается обратная задача кинематики ноги шагающего аппарата с тремя степенями свободы. Команды управления ногой аппарата, оснащенной микро ЭВМ обычно формируются в пространстве шарнирных углов, а координаты перемещения аппарата задаются в некоторой абсолютной системе координат. Управление положением и ориентацией ступни ноги аппарата следует осуществлять таким образом, чтобы производить необходимые операции по управлению ногой в соответствии с заданной походкой. Для этого необходимо решать обратную задачу кинематики. Другими словами, необходимо по заданным координатам положения ноги аппарата и известным параметрам ее звеньев определять шарнирные углы - α_1 α_2 α_3 , обеспечивающие заданное положение ступни.

Существуют различные методы решения обратной задачи кинематики ноги шагающего аппарата

В работе [1] получено решение обратной задачи кинематики для произвольного 3-х звенника. Недостатком этого подхода является то, что из него не следует, каким образом выбрать из нескольких суще-