

Г. П. АРНАУТОВ, В. Н. ЗАТОЛОКИН

(Новосибирск)

**О СОВМЕСТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ И
ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ
ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ**

Электромеханические четырехполюсники, например вибродатчики, датчики пульсационного давления и др., чаще всего испытывают на стендах гармонических колебаний [1—3]. Однако проведенные нами в течение последних лет испытания вибродатчиков импульсным методом [4—6] показали, что определение частотных характеристик линейных четырехполюсников по спектру их импульсной реакции во многих случаях, в частности при исследовании резонансов в области высоких частот (порядка десятков килогерц) и при измерении поперечной чувствительности, имеет более широкие возможности. Действительно, при использовании вибростендов очень трудно задать в широком диапазоне частот однонаправленные без поперечной и ротационной составляющих колебания синусоидальной формы. А это приводит к существенной погрешности при калибровке аппаратуры, особенно в области высоких частот и при определении поперечных резонансов.

В узком диапазоне частот синусоидальное возбуждение даже на сравнительно простых стендах может быть задано с весьма высокой точностью. Например, наш опыт эксплуатации лазерного цифрового вибрметра [7] совместно с генератором механических колебаний ЭДВ-8 показал, что в диапазоне частот до 200 Гц колебания можно задавать и контролировать с погрешностью не более 0,2%. Резонанс деталей лазерного интерферометра и стенда на отдельных частотах выше 200 Гц ухудшает точность измерения. Увеличением жесткости элементов и усложнением конструкции можно еще более расширить частотный диапазон стенда. Однако если использовать такие стенды для определения амплитудных характеристик и чувствительности на частотах, где их точность достаточно велика, а частотные характеристики и поперечные резонансы исследовать импульсным методом, то при сравнительно несложной аппаратуре можно получить достаточно высокую точность измерения. Такое объединение гармонических и импульсных испытаний вызвано трудностью измерения импульсным методом абсолютной величины кинематического воздействия на исследуемую систему, что необходимо для определения чувствительности и амплитудной характеристики. Можно предполагать, что использование баллистического метода

калибровки [1] позволит преодолеть эту трудность, если использовать для измерения движения наковальни с датчиком лазерный интерферометр со счетом полос на заданном промежутке времени. Но этот вопрос требует еще дальнейшего обсуждения. В описываемых ниже исследованиях чувствительность определялась заданием и контролем гармонических колебаний на одной частоте.

При определении чувствительности исследуемый датчик устанавливается на движущуюся платформу генератора механических колебаний. С платформой жестко связан уголкового отражатель, являющийся подвижной частью цифрового лазерного виброметра [7]. Неподвижная часть интерферометра вместе с лазером закреплена на основании стенда. Чувствительность датчика находится из сравнения его показаний с отсчетом цифрового лазерного виброметра. Следует отметить, что описанный в [7] прибор еще более усовершенствован: электронный блок выполнен на микросхемах, а генератор селекторных импульсов работает с кварцевой стабилизацией частоты. Это обеспечивает погрешность измерения амплитуды и частоты около 0,2% в более широком диапазоне температур.

При разработке стенда для импульсной калибровки датчиков одной из основных трудностей было генерирование очень коротких импульсов достаточной интенсивности и с хорошей повторяемостью. Использование упругого соударения двух тел не позволяет получить ударный импульс короче нескольких десятков микросекунд. Большие возможности имеет электродинамический ударный стенд. Длительность создаваемого им удара определяется постоянной времени разрядной цепи и может быть доведена до единиц микросекунд, что вполне удовлетворяет предъявляемым к длительности возбуждающего импульса требованиям [6]. Разработанное нами электродинамическое ударное устройство содержит накопитель электромагнитной энергии в виде батареи конденсаторов и замыкаемую на него через тиратронный ключ катушку индуктора. Вплотную к индуктору на гибких нитях подведена платформа, на которой укрепляется исследуемый датчик. При разряде конденсаторов ток, протекающий через индуктор, создает магнитное поле, которое, взаимодействуя с расположенной вблизи проводящей платформой, сообщает последней ударный импульс ускорения. Датчик при этом испытывает воздействие короткого импульса силы или ступенчатой функции скорости. Возбуждаемый таким образом сигнал импульсной реакции датчика записывается для последующего спектрального анализа или подается на вход анализирующей аппаратуры. В качестве примера ниже приводятся результаты испытаний магнитоэлектрических вибродатчиков.

Прежде всего определим, какому виду частотной характеристики соответствует комплексная плотность спектра импульсной реакции магнитоэлектрического вибродатчика. Обозначим через S_z комплексный спектр импульсного кинематического воздействия на вибродатчик, а через S_y — комплексный спектр отклика, характеризуемый относительным перемещением инерционного элемента. Эти две характеристики связаны с комплексной частотной характеристикой вибродатчика $k(\omega)$ известным выражением [4]

$$S_y = k(\omega) S_z. \quad (1)$$

При этом $k(\omega)$ определяет частотную характеристику сейсмической системы в режиме виброметра.

Переходя от спектра S_y к спектру отклика, снимаемого с выхода магнитоэлектрического преобразователя, учтем, что последний обладает практически идеальными дифференцирующими свойствами, т.е. выход-

ной сигнал $U(t)$ датчика пропорционален относительной скорости движения инерционного элемента сейсмической системы $\frac{dy}{dt}$:

$$U(t) = \alpha \frac{dy}{dt}.$$

Отсюда

$$S_U = \alpha S_{\frac{dy}{dt}} = \alpha j\omega S_y. \quad (2)$$

Кинематическое возбуждение, задаваемое вибродатчику при ударном воздействии на платформу, на которой он укреплен, с известной степенью приближения [6] можно представить функцией ускорения, подобной δ -функции, или функцией скорости, подобной ступенчатой функции:

$$S_{\frac{d^2z}{dt^2}} = C = \text{const}; \quad S_{\frac{dz}{dt}} = \frac{C}{j\omega}.$$

Здесь $S_{\frac{dz}{dt}}$ и $S_{\frac{d^2z}{dt^2}}$ — спектральные плотности соответственно скорости и ускорения платформы в точке крепления датчика.

Воспользовавшись свойством комплексного спектра интеграла от функции, определим

$$S_z = \frac{1}{j\omega} S_{\frac{dz}{dt}} = \frac{C}{(j\omega)^2}. \quad (3)$$

Из (1) — (3) найдем

$$S_U = C\alpha \frac{k(\omega)}{j\omega}.$$

Отсюда следует, что если отклик $U(t)$ магнитоэлектрического вибродатчика продифференцировать по времени, то комплексная плотность спектра производной $\frac{dU}{dt}$ с точностью до постоянного множителя будет равна частотной характеристике датчика в режиме виброметра. Этой операции можно избежать, если использовать для анализа полосовой фильтр с добротностью, постоянной на всех частотах его настройки. Действительно, максимальное значение огибающей отклика полосового фильтра $f(t)$ на импульсный входной сигнал $U(t)$ пропорционально его полосе пропускания $\Delta\omega$ и модулю спектральной плотности S_U на данной частоте

$$f_{\max} = \text{const } \Delta\omega |S_U| = \text{const } \Delta\omega C\alpha \frac{|k(\omega)|}{\omega}.$$

При

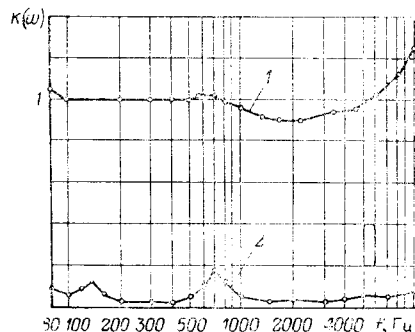
$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \text{const}$$

$$f_{\max} = \text{const } |k(\omega)|.$$

Для анализа нами использовался усилитель селективного вольтметра В6-2. Отсчитывая максимальное значение огибающей сигнала на выходе усилителя при различных частотах его настройки и повторных ударных возбуждениях вибродатчика, можно было определить диапазон частот, в котором амплитудно-частотная характеристика магнитоэлектрического вибродатчика горизонтальна, и найти его резонансные частоты. При закреплении вибродатчика на платформе так, чтобы его ось чувствительности была перпендикулярна направлению действия ударного импульса, можно определить поперечную чувствительность вибродатчика.

В качестве иллюстрации на рисунке показана амплитудно-частотная характеристика одного из исследованных нами магнитоэлектрических датчиков, испытанных ударными импульсами вдоль оси чувствительности (характеристика 1) и в поперечном ей направлении (характеристика 2). Чувствительность вибродатчика, определенная на частоте 150 Гц, равна 12,2 мВ/мм/с.

Точность измерения частотных характеристик рассмотренным выше способом определяется стабильностью задаваемых стендом ударных импульсов и точностью анализирующей аппаратуры. Стабильность испытательных импульсов, величина которых пропорциональна квадрату напряжения на накопительной емкости, зависит от стабильности этого напряжения. В описанном выше ударном электродинамическом устройстве без особых усложнений схемы обеспечивалась повторяемость величины импульсов ускорения во время изменений с погрешностью не более 3%. Погрешность использованного нами селективного вольтметра В6-2 по паспортным данным не превышает 10—15%. Следовательно, точность непосредственного метода измерения амплитудно-частотной характеристики исследуемого датчика ограничивается в основном погрешностью усилителя селективного вольтметра. Проведенные нами исследования компенсационного метода измерения частотных характеристик [8] показали, что если компенсирующий сигнал образуется из напряжения, возникающего на индукторе в момент разряда накопительной емкости, то точность измерения с помощью этого метода можно улучшить по крайней мере на порядок.



ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. И. Иорш. Виброметрия. М., Машгиз, 1963.
2. В. С. Шкаликов. Точные измерения параметров вибраций.— Труды институтов Государственного комитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР, 1965, вып. 76 (136).
3. ГОСТ 15939-70. Устройства виброизмерительные с пьезоэлектрическими измерительными вибропреобразователями. Методы и средства поверки. М., 1970.
4. А. А. Харкевич. Спектры и анализ. М., Физматгиз, 1962.
5. Л. Д. Гик, Г. П. Арнаутков. Импульсные испытания вибродатчиков.— В кн. «Датчики и виброизмерительная аппаратура». Киев, ДНТП, 1969.
6. Л. Д. Гик, Г. П. Арнаутков, А. В. Якименко. К вопросу об определении частотных характеристик вибродатчиков по результатам импульсных испытаний.— Автометрия, 1969, № 4.
7. В. Г. Витковский, Л. Д. Гик, В. Н. Затолокин, В. П. Коронкевич, Г. А. Ленкова, Г. Г. Тарасов. Цифровой лазерный виброизмерительный прибор.— Автометрия, 1970, № 2.
8. Г. П. Арнаутков, Л. Д. Гик. Устройство для снятия частотных характеристик вибродатчиков. Авторское свидетельство № 304514.— ОИПОТЗ, 1971, № 17.

Поступила в редакцию
3 сентября 1971 г.