



УДК 621.382.8

Л. Д. Андреев  
ОАО «Силовые машины» (Санкт-Петербург)

## Дистробоскопический метод индикации резонансных частот

Описывается инновационный метод индикации резонанса конструкций, ставший возможным, за счет применения полупроводниковых приборов в качестве источника излучения и новой методики определения резонансных частот. В методике отмечаются недостатки старого метода и преимущества нового.

### Испытания, резонанс, фотоэлектроника, стробоскопический эффект

Измерение механического резонанса конструкции является неотъемлемым условием для выбора режима испытаний на вибропрочность, виброустойчивость и дальнейших конструктивных решений. Резонансной частотой конструкции являются колебания при условии, что частота возбуждающей системы совпадает с собственной частотой конструкции. При этом не важно, что именно является конструкцией: измерительный прибор, электронная лампа или мост, так как законы физики одинаково действуют на все предметы и конструкции. Классический метод определения резонансных частот заключается в установке на исследуемый объект пьезоэлектриче-

ских датчиков и анализе их сигналов по амплитуде. Однако закрепленные датчики имеют массу, что приводит порой к значительным искажениям в их показаниях при установке на малогабаритные изделия (микросхемы, транзисторы и пр.).

Для решения этой проблемы создана установка, принцип действия которой основан на стробоскопическом эффекте. При циклическом перемещении объекта с частотой  $f_1$  в определенный момент времени происходит вспышка света с частотой  $f_2 = f_1 + 4$  Гц, где  $f_2$  – частота предполагаемого резонанса. В момент резонанса, когда  $f_1 = f_2$ , оптически видны высвечиваемые стробоскопом штрихи частотой приблизительно 4 Гц. Недоста-

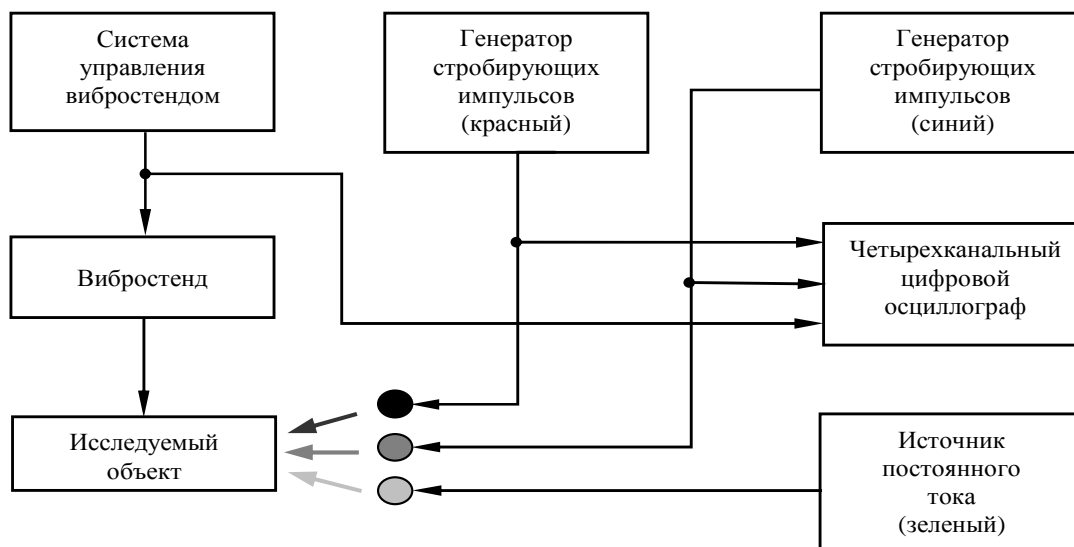


Рис. 1

ток метода заключается в том, что при небольшой амплитуде визуально трудно определить момент возникновения резонанса и оценить его характер [1]. Для улучшения разрешающей способности метода определения резонансных частот конструкции измерительная установка была существенно модернизирована. Модернизированная установка состоит из вибростенда, генератора красных стробирующих импульсов, генератора синих стробирующих импульсов, системы управления вибростендом, четырехканального цифрового осциллографа и источника постоянного тока. Функциональная схема установки изображена на рис. 1.

В начале работы все три источника света настраиваются таким образом, чтобы исследуемый объект подсвечивался белым цветом (рис. 2): 1 – трехцветный прожектор; 2 – узел жесткого закрепления; 3 – подвижная часть вибростенда; 4 – отрезок медного провода. Далее на красный и синий излучатели подаются стробирующие импульсы длительностью примерно 1/20 периода сигнала, подаваемого на вибростенд.

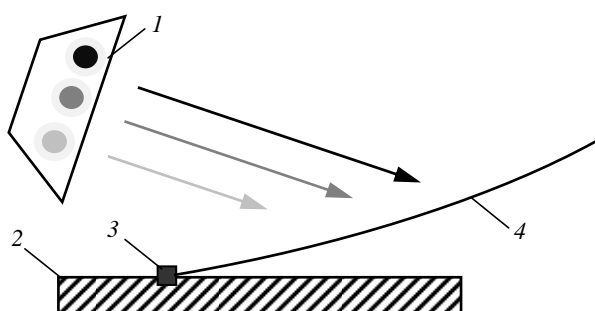


Рис. 2

Для эксперимента на вибростенде консольно закрепляется отрезок медного провода, после чего установка включается в режиме сканирования по частоте. При вхождении конструкции в резонанс появляются красные и синие полосы. За счет разницы цветов более четко видна амплитуда перемещения (рис. 3): 1 – красные полосы; 2 – синие полосы.

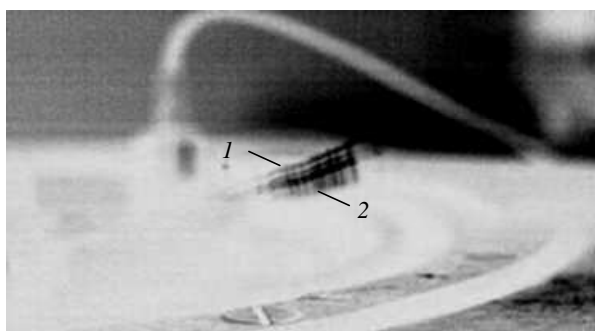


Рис. 3

При этом генератором можно подстраивать стробирующие импульсы под сигнал, подаваемый на вибростенд и наблюдать их на осциллограмме (рис. 4): 1 – стробирующие импульсы (красные); 2 – сигнал, подаваемый на вибростенд; 3 – стробирующие импульсы (синие).

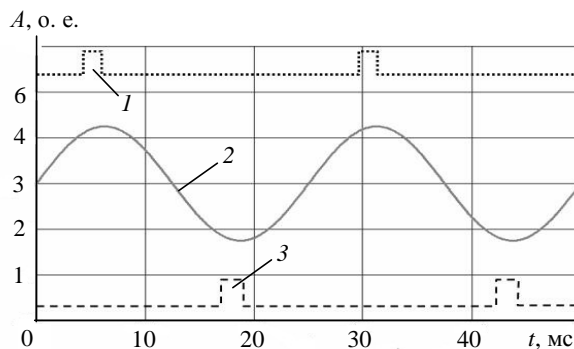


Рис. 4

К сожалению, также трудно определить характер колебаний – продольный резонанс или крутильный, так как провод имеет по своему радиусу одинаковый коэффициент упругости и из-за этого существуют условия возникновения крутильного резонанса [2]. Пример визуально наблюдаемых колебаний показан на рис. 5: 1 – красные полосы; 2 – синие полосы; 3 – направления вращения конца провода.

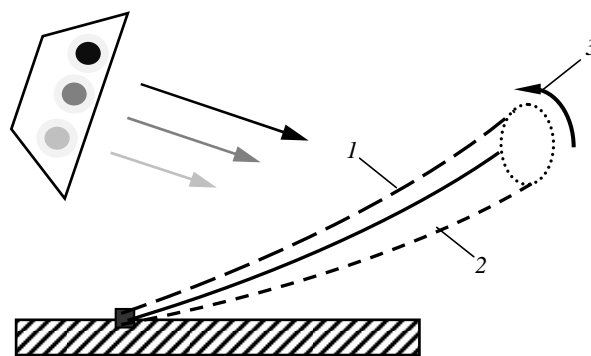


Рис. 5

Для ввода системы в более четкий резонанс и определения характера колебаний на вибростенд подается суперпозиция  $F$  двух сигналов по формуле

$$F = k(u(t)e(t)).$$

Сигнал  $F$  получается с помощью интегрального аналогового перемножителя. Для этого на его сигнальные входы подаются напряжения с двух отдельных генераторов низкой частоты. На масштабирующие входы подаются постоянные смещения, определяющие коэффициенты  $u$  и  $e$ . Этими коэффициентами подстраивается симметричность выходного сигнала. На вход  $k$  подается постоянный уровень, определяющий амплитуду выходного сигнала во времени  $t$ . Амплитуда сиг-

нала, подаваемого на усилитель вибростенда, должна быть достаточна для нормальной работы и не вводить усилитель в насыщение, так как оно может привести к возникновению нелинейных искажений, что недопустимо.

При определении резонанса с помощью импульсных сигналов стробоскопа в моменты времени, определяемые производной функции  $du/de$ , подсвечивается исследуемый объект. Подстройкой частоты добиваются выполнения условий, при которых колебания, определяемые функцией  $u$ , не затухают, а высвечиваемые риски стоят неподвижно, что соответствует  $du/dt \approx 0$  и возникновению поперечного резонанса. Осциллограммы подаваемого на вибростенд сигнала и функции  $u$  показаны на рис. 6: 1 – сигнал, подаваемый на вибростенд; 2 – сигнал функции  $u$ . Визуально наблюдаемые оптические эффекты, представляющие устойчивые разноцветные полосы, показаны на рис. 3.

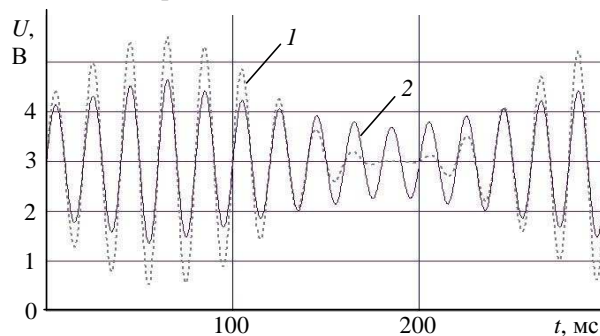


Рис. 6

Для определения пригодности использования дистробоскопического метода выполнена оценка погрешности определения резонансной частоты. Для этого теоретически рассчитана первая собственная частота консольного прямолинейного

жесткого стержня с жесткой заделкой левого конца [3]:

$$f = \frac{D}{8\pi} \left( \frac{1.875}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где  $D = 1,3$  мм – диаметр стержня;  $L = 98$  мм – длина стержня;  $E = 110$  ГПа – модуль Юнга для меди;  $\rho = 8,92$  г/см<sup>3</sup> – плотность меди. Расчетное значение резонансной частоты  $f_p = 66$  Гц, а измеренное значение составляет  $f_{и} = 60$  Гц. Таким образом, относительная погрешность измерения [4] первой собственной частоты составляет 9.1 %.

Очевидно, что дистробоскопический метод имеет большие преимущества и низкую стоимость по сравнению с другими методами, представленными в [5]. Этот метод можно существенно модифицировать, если использовать в качестве фотодатчика ПЗС-матрицу, а для сбора и обработки данных, поступающих с матрицы, – современную компьютерную систему и соответствующее программное обеспечение. Очень интересным представляется вариант объединения метода с распространенными пакетами компьютерного моделирования. В этом случае становится возможным сравнивать экспериментально полученные значения собственных частот различных конструкций и рассчитанные в программе, например, методом конечных элементов. На основе выполненного сравнения можно выбирать наиболее устойчивую к вибрации конструкцию того или иного узла. Также метод при соответствующей модернизации подходит для поиска слабых мест в уже готовых изделиях, так как возникновение резонанса и его вид будет определяться по изменению цвета исследуемой области, что очень легко зафиксировать.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вибрация в технике. Измерения и испытания. Т. 5 / под ред. М. Д. Генкина. М.: Машиностроение, 1981.
2. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. М.: Наука, 1967.
3. Биргер И. А., Пановко Я. Г. Прочность, устойчивость, колебания: справ. Т. 3. М.: Машиностроение, 1968.
4. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Общая теория измерений. СПб.: Питер, 2010.
5. ГОСТ 20.57.406–81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1988.

L. D. Andreev

OJSC NRI «Electron» (Saint Petersburg)

## DISTROBOSCOPIC METHOD OF RESONANT FREQUENCIES INDICATION

*Innovative method of indication of a resonance of a structure is described. It became possible due to use of semiconductor devices as a source of radiation and a new technique of determination of resonant frequencies. In a technique shortcomings of an old method and advantages of new are described.*

**Testing, resonance, photoelectronics, strobe effect**