

# Измерение параметров вибрации динамических объектов

Павлюкович Е.Е.; Волковец А.И.; Гусинский А.В.; Кострикин А.М.

Кафедра вычислительных методов и программирования  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
e-mail: pavlyukovich\_e\_e@mail.ru

**Аннотация**—Проведен анализ контактных и бесконтактных методов измерения вибрации, радиоволновые методы выделены как наиболее перспективные. Представлены два способа определения фазы отраженного от объекта сигнала по значениям квадратур аналогового и цифрового балансного смесителя.

**Ключевые слова:** измерение вибрации; датчик; бесконтактный; квадратурный детектор

## I. ВВЕДЕНИЕ

По принципу взаимодействия с объектом вибрации все существующие методы измерения динамических параметров делятся на две группы: контактные и бесконтактные.

Небольшая стоимость и приемлемая точность контактных датчиков широко распространили их в промышленности, однако необходимость установки контактного датчика непосредственно на динамическом объекте резко снижает область их применения.

В случаях, в которых невозможен или не допустим контакт с исследуемым динамическим объектом, необходимо применение бесконтактных методов.

## II. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕСКОНТАКТНЫХ МЕТОДОВ

Бесконтактные методы основаны на зондировании объекта звуковыми или электромагнитными волнами.

Метод ультразвуковой фазометрии заключается в измерении разности фаз зондирующего сигнала и отраженного от исследуемого объекта. Достоинства: дешевизна и компактность аппаратуры. Недостатки: низкая разрешающая способность, сильное затухание ультразвука в воздухе.

Оптические методы основаны на зондировании объектов видимым светом. Достоинства: высокая точность и разрешающая способность, возможность точечных измерений. Недостатки: сложность, высокая стоимость аппаратуры, высокие требования к поверхности объекта и окружающей атмосфере.

Радиоволновые методы. Носителем информации является электромагнитное поле. Достоинства: широкий динамический диапазон, возможность измерений в отсутствие прямой видимости. Недостатки: сложность калибровки (для амплитудных методов).

Как показал анализ наиболее широкой сферой использования наряду с высокими техническими характеристиками и низкой стоимостью обладают радиоволновые методы [1].

## III. РАДИОВОЛНОВЫЕ МЕТОДЫ

Современные радиоволновые методы измерения вибрации построены на основе оценки зависимостей от контролируемой величины различных параметров электромагнитных систем, применяемых в первичных измерительных преобразователях [2, 3]. При этом в настоящее время из всего разнообразия радиоволновых методов можно выделить интерференционные.

В основе интерференционного метода лежит зондирование объекта электромагнитными волнами ВЧ и СВЧ диапазонов, прием и анализ отраженных (рассеянных) объектом волн. Между датчиком и объектом в результате интерференции образуется стоячая волна. Вибрация объекта приводит к амплитудной и фазовой модуляции отраженной волны и к образованию сигнала биений. Таким образом, фаза отраженного сигнала содержит всю информацию о параметрах вибрации объекта. Об амплитуде говорить не приходится, так как прямое измерение абсолютных значений параметров вибрации, проводимое по амплитуде выходного сигнала биений, требует выполнения сложных процедур калибровки при смене и/или изменении расстояния до объекта.

Закон фазовой модуляции  $\varphi(t)$  отраженного сигнала связан с законом плоскопараллельных колебаний  $D(t)$  отражающей поверхности вибрирующего объекта линейным соотношением:

$$\varphi(t) = \frac{D(t) \cdot 4\pi}{\lambda}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина волны зондирующего сигнала.

В настоящее время наиболее широкое применение нашли квадратурные методы измерения вибропараметров, основой которых является получение двух аналоговых ортогональных сигналов путем перемножения отраженного от вибрирующего объекта сигнала  $S(t)$  с двумя опорными сигналами  $S_0(t)$ ,  $S_0(t + \pi/2)$ , с дальнейшей обработкой полученных квадратур.

### A. Виброметр с аналоговым квадратурным детектором

Измерение радиоволновым фазовым методом параметров вибрации требует корректного расчета перемещения вибрирующего объекта от точки  $D1$  к точке  $D2$ . Что бы фаза  $\varphi$  соответствующая этому перемещению, была определена по значениям квадратур  $Q$  и  $I$  сигнала  $A$ , отраженного именно от

объекта измерения, необходимо в процессе калибровки исключить из значений квадратур  $X$  и  $Y$  составляющие  $C_X$ ,  $C_Y$ , которые обусловлены просачиванием сигнала с выхода модулятора на вход смесителя, рисунок 1.

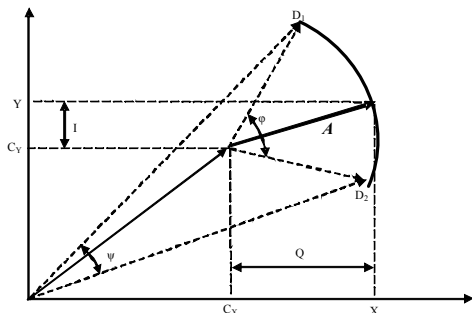


Рис. 1. Динамическая коррекция постоянных составляющих

Структура радиоволнового вибратора, использующая фазовый метод измерения параметров вибрации приведена на рисунке 2.

В состав вибратора входит приемо-передающего модуль (ППМ), модуль ввода-вывода аналоговых сигналов (МВВС) и персональный компьютер (ПК).

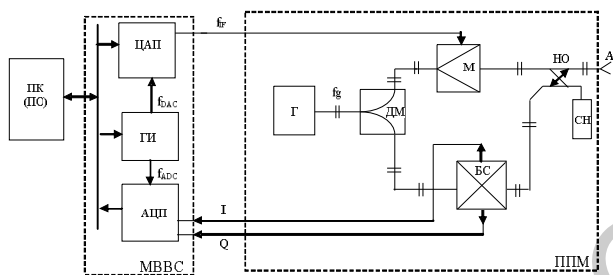


Рис. 2. Функциональная схема радиоволнового вибратора с аналоговым квадратурным детектором

ППМ содержит КВЧ генератора  $\Gamma$ , делитель мощности ДМ, с помощью которого образуются измерительный и опорный каналы, амплитудный манипулятор  $M$ , обеспечивающий модуляцию зондирующего сигнала сигналом промежуточной частоты  $f_{IF}$ , рупорную антенну  $A$ , которая одновременно является и приемной и передающей, направленный ответвитель  $HO$ , выделяющий отраженные от объекта измерения сигналы, и балансный смеситель  $BC$ , в котором осуществляется интерференция модулированного отраженного сигнала с немодулированным опорным сигналом. На выходах  $BC$  выделяются квадратурные сигналы  $Q$  и  $I$  промежуточной частоты, несущие информацию о фазе сигнала и, следовательно, о параметрах вибрации. Дальнейшая обработка полученных сигналов может быть построена аналоговым или аналогово-цифровыми способами.

В свою очередь, представленный прибор имеет следующие недостатки, влияющие на точность измерений:

- Неточность сдвига в плечах комплексного балансного смесителя на  $\pi/2$ ;

- Неодинаковые амплитудные коэффициенты передачи в каналах комплексного балансного смесителя.
- Недостаточная направленность направленного ответвителя, что приводит к появлению постоянных составляющих на выходе комплексного балансного смесителя.

### В. Виброметр с цифровым квадратурным детектором

Этих недостатков лишен метод обработки радиосигнала с цифровым квадратурным детектором, рисунок 3.

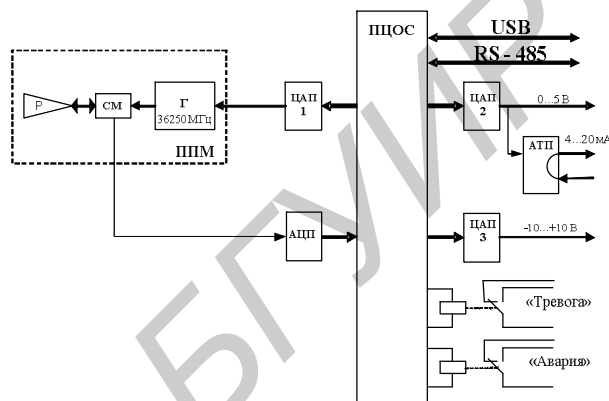


Рис. 3. Функциональная схема радиоволнового вибратора с цифровым квадратурным детектором

На варакторный вход перестройки частоты генератора подается модулирующее напряжение с выхода ЦАП1. На выходе СМ при помощи полосового фильтра выделяется сигнал промежуточной частоты, несущий информацию о фазе сигнала и, следовательно, о параметрах вибрации. АЦП обеспечивает преобразование сигнала промежуточной частоты в цифровую форму и передачу его в ПЦОС. Полученный код данных с АЦП подвергается первичной обработке: компенсируется постоянная составляющая, корректируется сигнал с учетом АЧХ тракта. Затем сигнал переносится на нулевую частоту для дальнейшей работы алгоритмов ЦОС. Выполняется фильтрация сигнала, которая исключает влияние высокочастотных помех и наводок. Из полученных квадратур вычисляется фаза сигнала и виброперемещение, а после численного дифференцирования, виброскорость и виброускорение. В ходе выполнения численного дифференцирования накапливается статистика вибропараметров [3].

- [1] Волковец А.И., Руденко Д.Ф., Гусинский А.В., Кострикин А.М. «Радиоволновой бесконтактный метод измерения параметров движения и вибрации» // Журнал "Доклады БГУИР" – Мн.: №4(20), 2007, С. 58-65.
- [2] Способ измерения амплитуды вибрации объекта: Патент ВУ 13974 С1 2011.02.28, МПК G 01H 9/00;
- [3] Волковец А.И., Гусинский А.В., Кострикин А.М., Руденко Д.Ф.- «Фазовый метод измерения параметров вибрации» // Материалы IX МНТК «Современные средства связи» - Мн.: № 2(18)/2, 2004, С. 144-146, (Нарочь 27 сент.-1 окт. 2004г.).