

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ СТРУННЫХ РЕЗОНАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Пленкин Д.В., Скачко Ю.В., Глебов И.В., Чикин В.С.

Московский институт электроники и математики
109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., 3/12, кафедра МиС, mis@miem.edu.ru

На современном этапе развития измерительной техники широкое распространение получили первичные измерительные преобразователи, имеющие частотно-модулированный выходной сигнал. Основными преимуществами таких преобразователей являются высокая точность и помехоустойчивость.

Одними из наиболее распространенных частотных преобразователей являются струнные резонаторные преобразователи. При высокой стабильности частоты они отличаются относительно простой конструкцией и универсальностью применения.

В данной работе рассматриваются струнные резонаторные преобразователи усилия в частоту. В основе принципа их действия лежит зависимость частоты собственных поперечных колебаний жестко закрепленной струны от силы ее натяжения. Струна находится в постоянном магнитном поле, и ее колебания вызывают возникновение в ней ЭДС, при этом частота переменного напряжения на концах струны соответствует силе ее натяжения.

Существует несколько способов возбуждения колебаний струны и измерения частоты этих колебаний. Наиболее распространенный способ – включение струнного резонатора в цепь автогенератора, возбуждающего и поддерживающего колебания, при этом выходной сигнал снимается с электронного усилителя, являющегося частью автогенератора. К недостаткам этого метода можно отнести то, что частота собственных поперечных колебаний несколько отличается от частоты колебаний автогенератора, а также то, что усложняется конструкция и увеличиваются габаритные размеры датчика. Такой режим работы струнного резонатора называется режимом автоколебаний.

В данной работе рассматривается альтернативный способ измерения, основанный на работе в режиме свободных затухающих колебаний, в котором измерительная информация с датчика поступает не непрерывно, а по запросу. В этом режиме процесс измерения состоит из двух этапов:

- 1) колебания струнного резонатора возбуждаются электрическим сигналом;
- 2) измеряются параметры отклика резонатора.

Измерительная система (рис. 1) состоит из следующих основных частей: 1) генератора сигналов возбуждения, 2) струнного преобразователя; 3) аналого-цифрового преобразователя; 4) устройства для обработки и отображения измерительной информации (например, персональный компьютер). ПК также может использоваться для управления генератором.

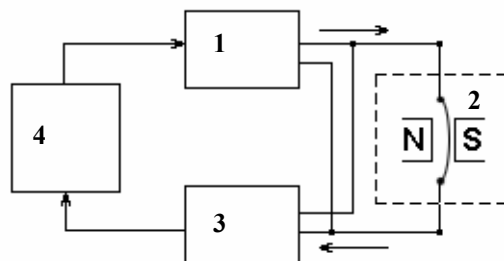


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы

Для возбуждения колебаний струнного резонатора в данной работе использовались два вида сигналов:

- сигнал качающейся частоты (диапазон качания должен охватывать возможные резонансные частоты датчика при заданных пределах измерения);
- широкополосный шумовой сигнал.

В отклике резонатора на возбуждение указанными сигналами можно выделить две фазы:

- 1) фаза затухания нерезонансных составляющих;
- 2) фаза затухания резонансных колебаний.

На рис. 2 приведены спектры первой (слева) и второй (справа) фаз отклика резонатора на возбуждение сигналом качающейся частоты. Как видно из рисунка, в данном случае в первой фазе доминирует гармоника, соответствующая частоте 5 кГц (конечной частоте диапазона качания возбуждающего сигнала), также значителен вклад других нерезонансных гармоник. Во второй фазе уровень гармоники, соответствующей резонансной частоте (4476 кГц) струны, значительно выше уровня иных составляющих спектра.

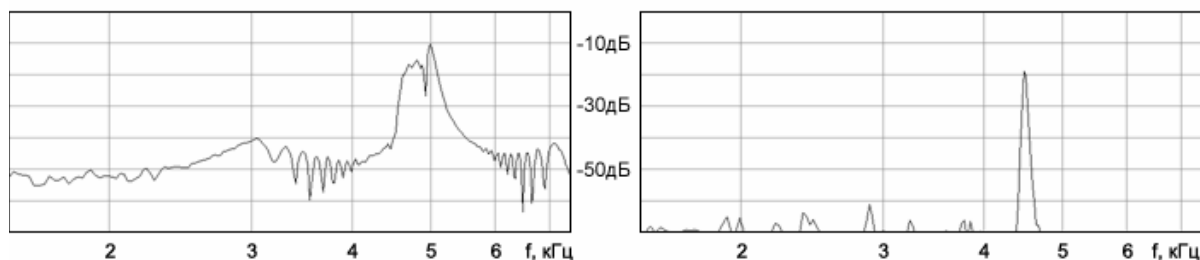


Рис. 2. Фазы отклика струнного резонатора.

Для измерения резонансной частоты необходимо дождаться окончания первой фазы, то есть момента, когда амплитуда колебаний на нерезонансных частотах будет незначительной по сравнению с амплитудой основной, резонансной, гармоники. Следовательно, после подачи на резонатор возбуждающего сигнала измерительная система на некоторое время должна перейти в состояние ожидания.

Очевидно, что длительность первой фазы должна быть как можно меньше, так как это ведет к сокращению времени измерения, а длительность второй – наоборот больше, так как от длительности фазы затухания зависит точность измерения частоты.

Определение частоты оцифрованного сигнала возможно с помощью электронно-счетного метода и с помощью быстрого преобразования Фурье. В первом случае для измерения частоты с погрешностью счета в 1 Гц необходимо производить счет в течение 1 секунды. В случае использования БПФ для достижения разрешения по частоте 1,465 Гц необходимо произвести выборку 32768 значений (время измерения – 0,68 секунд при частоте дискретизации 48 кГц), а для получения разрешения 0,732 Гц – 65536 значений (что соответствует времени измерения в 1,37 секунды).

Целью экспериментальной работы было определение зависимости длительности фаз отклика от параметров сигнала возбуждения – его формы, длительности и амплитуды.

При проведении экспериментов в качестве генератора и аналого-цифрового преобразователя использовалась звуковая карта персонального компьютера, позволяющая оцифровывать сигнал с частотой дискретизации 48 кГц и разрядностью 16 бит.

Для записи и анализа результатов измерений использовался программный пакет, предназначенный для спектрального анализа сигналов звуковой частоты, – SpectralLAB 4.32.17.

Объект исследования – унифицированный струнный преобразователь УИПЗ (собственная частоты струн составляют около 4,5кГц).

Для возбуждения струн применялись испытательные сигналы качающейся частоты (диапазон качания – от 4 кГц до 5 кГц) и широкополосные случайные сигналы с равномерным распределением спектральных составляющих. Длительность испытательных сигналов составляла от 10 мс до 100 мс.

Усредненные значения длительностей фаз отклика приведены в таблицах 1 и 2 – для возбуждающих сигналов качающейся частоты и случайных возбуждающих сигналов, соответственно. Время затухания отсчитывалось с момента прекращения действия возбуждающего сигнала.

Таблица 1. Возбуждение сигналом качающейся частоты (4000-5000 Гц)

Длительность возбуждения, с	Среднее время затухания нерезонансных гармоник, с	Среднее время затухания резонансной гармоники, с
0,010	0,018	0,149
0,020	0,024	0,158
0,050	0,052	0,182
0,100	0,062	0,248
0,150	0,074	0,241

Таблица 2. Возбуждение широкополосным случайным сигналом.

Длительность возбуждения, с	Среднее время затухания нерезонансных гармоник, с	Среднее время затухания резонансной гармоники, с
0,010	0,007	0,093
0,020	0,007	0,089
0,050	0,008	0,081
0,100	0,009	0,075
0,150	0,009	0,072

Увеличение амплитуды сигналов возбуждения увеличивает время затухания резонансной гармоники, но незначительно. При этом необходимо отметить, что допустимое напряжение возбуждающего сигнала ограничено параметрами струны, и при его превышении возможен выход датчика из строя.

Полученные данные показывают, что для данного датчика оптимальным возбуждающим сигналом для реализации режима свободных затухающих колебаний является сигнал качающейся частоты длительностью 100 мс. При таком сигнале время, в течение которого производится измерение частоты, составляет 186 мс.

Определим погрешность расчета частоты оцифрованного сигнала.

$N = F_s \cdot t$ - размер выборки при частоте дискретизации F_s (Гц) и времени измерения t (с).

В нашем случае $N=8928$. Так как для реализации БПФ необходимо, чтобы количество временных отсчетов сигнала было равно (в некоторых случаях – пропорционально) 2^n , где n – целое число, то в данном случае количество отсчетов, которое будет использовано для БПФ, составляет $M=8192$.

Разрешение по частоте, получаемое при БПФ, определяется выражением:

$$\Delta F = F_s / M, \quad \Delta F = 48000 / 8192 \approx 5,86 \text{ Гц.}$$

Результаты проведенных исследований говорят о том, что при работе струнного резонаторного преобразователя в режиме свободных затухающих колебаний целесообразно применять возбуждающие сигналы качающейся частоты. Длительность и амплитуда сигнала возбуждения зависят от конструктивных параметров струнного резонатора, поэтому они должны определяться отдельно для каждого типа преобразователя.

При необходимости получения более точных результатов измерений целесообразно производить усреднение по нескольким последовательным циклам возбуждения и измерения частоты отклика.

Литература

1. Карцев Е. А., Коротков В. П. Унифицированные струнные измерительные преобразователи. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.
2. Цейтлин Я.М., Скачко Ю.В., Капырин В.В., Модифицированные струнные преобразователи. М.: 1989 – 262 с.



COMPARATIVE ANALYSIS OF EXCITEMENT METHODS FOR VIBRATING WIRE TRANSDUCERS

Pljonkin D., Skachko Y., Glebov I., Chickin V.

Moscow Institute of Electronics and Mathematics

109028, Moscow, B. Tryohsvyatitsky pereulok, 3/12, Metrology and Certification chair, mis@miem.edu.ru

At the present time transducers with frequency-modulated output signal have been widely adopted. Their main benefits are high accuracy and noise immunity.

This paper examines vibrating wire (VW) strain-to-frequency transducers. In the basis of their principle of operation lies dependence between transverse vibration frequency of rigid wire and its tension force. Wire is placed in the magnetostatic field, so vibration leads to induction of EMF in the wire. Frequency of induced signal corresponds to the wire tension force.

There are several methods for wire excitement and measurement of its resonant frequency. Routine method consists in the use of self-oscillation system where vibrating wire is being used as frequency driving element. In that case output signal comes from another part of self-oscillation system – from amplifier. Main disadvantages of this method are complication of transducer construction and increase of its overall dimensions. Moreover output signal have frequency of self-oscillation system which slightly differs from string resonant frequency. This operating regime is called “self-oscillation mode”.

This paper describes alternative measurement mode in which wire works in free-oscillation regime and the measuring information is provided not continuously but at request. In this mode oscillations of wire transducer are excited by electrical signal with defined shape and duration. Then parameters of transducer response are being measured.

In described work two types of excitement signals have been used:

- Sweep-frequency signals (frequency range of excitement should cover transducer’s operation frequency range);
- Wideband noise signals.

The results of experiments confirmed that such signals can be used for excitement of resonance oscillations of vibrating wire transducers. Duration of excitement signals depends on VW transducer type and for those used in experiment lies within the range of 50 to 100 milliseconds. After inserting excitement signal the system should wait for non-resonant frequencies to die out (it takes 5 to 30 ms). Then frequency of resonant oscillations should be measured.

This measurement process in free-oscillation regime looks rather complicated compared to self-oscillation mode, but modern signal processing utilities can drastically simplify measurement. For low-cost systems PC sound card can be employed as excitement signal generator and as DAC for measuring resonator response. In such PC-based systems special software designed to work with sound frequency signals should be used. In our experiments we have used Sound Technology’s “Spectra Series” software.

Excitement signal parameters have been analyzed for UIP-3 model of WV transducer. In compliance with response duration frequency calculation errors have been determined.

The results of research have confirmed that described techniques can be used for measuring vibrating wire resonant frequency; therefore such systems can replace traditional self-oscillating VW systems when rigid constraints are imposed to overall dimensions of transducer.

