

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Юрин А.И.

Московский Государственный Институт Электроники и Математики,
кафедра метрологии и сертификации

На современном этапе развития измерительной техники точность воспроизведения эталона частоты является наиболее высокой по сравнению с эталонами других физических величин, поэтому метрологические характеристики частотных датчиков выгодно отличаются от характеристик датчиков с амплитудно-модулированным выходным сигналом.

По виду физического явления, положенного в основу работы, все частотные датчики можно разделить на четыре группы:

1. Резонаторные датчики
2. Датчики с нерезонирующими частотно-зависимыми системами
3. Интегрирующие датчики
4. Статистические датчики

Различают 3 режима колебаний частотно-зависимой системы.

Свободные колебания. Режим свободных колебаний возможен только для резонаторных датчиков. Колебания в них возбуждаются путём освобождения выведенной из равновесия системы либо с помощью короткого импульса. При этом на выходе системы сигнал будет иметь вид

$$A(t) = A_0 e^{-\delta t} \sin(\omega_c t + \varphi), \quad (1)$$

где A_0 – начальная амплитуда

δ – коэффициент затухания

$\omega_c = (\omega_0^2 - \delta^2)^{1/2}$ – угловая частота свободных колебаний

φ – фаза

Число счётных импульсов, которые можно получить из одного всплеска свободных колебаний

$$N = (Q/\pi) \ln(A_0/A_d), \quad (2)$$

где $Q = \omega_0/2\delta$ – добротность резонатора

A_d – порог дискриминатора, формирующего импульсы

Измерение частоты можно проводить только после окончания переходных процессов, поэтому на практике в режиме свободных колебаний используют резонаторы с $Q \geq 500$, например, язычки и струны.

Вынужденные колебания. Этот режим может быть использован в любых частотно-зависимых системах.

Автоколебания. Данный режим возможен для замкнутых систем, в которых усиление по контуру превышает единицу, а суммарный фазовый сдвиг равен целому числу периодов.

Из всего многообразия наибольшее применение находят датчики, в которых частотно-зависимая система совершает автоколебания.

В большинстве частотных датчиков источником выходного сигнала является автогенератор. В автоколебательных датчиках частотно-зависимая цепь непосредственно входит в генератор, а в датчиках с вынужденными колебаниями генератор настраивается на её характерную частоту.

Резонаторные датчики обладают рядом преимуществ:

- Высокая добротность резонаторов даёт возможность существенно повысить точностные характеристики датчиков
- Имеется возможность включения в схему автогенератора для получения непрерывного выходного сигнала, что значительно повышает быстродействие датчика
- Отношение сигнал-шум намного выше, чем у датчиков других рассмотренных групп

По виду колебательной системы различают следующие резонаторы:

- Механические с сосредоточенными и линейно - распределёнными параметрами
- Электромагнитные с сосредоточенными и распределёнными параметрами
- Атомарно-молекулярные на основе ядерного магнитного резонанса

Наиболее распространёнными являются механические резонаторы, используемые для построения датчиков с высокими метрологическими характеристиками.

Механические резонаторы – маятники, струны, гибкие пластинки, кварцевые кристаллы и т. д. – имеют собственную частоту, зависящую от массы или момента инерции и возвращающих сил, которые могут быть вызваны внешним полем, внешней силой или упругостью самой системы. В соответствии с этим механические резонаторы могут применяться для измерения полей и величин, приводящихся к полям, механической силы и приводящихся к ней величин и всех величин, которые могут влиять на размеры, упругие свойства и массу резонатора.

Таблица 1. Характеристики датчиков с механическими резонаторами

Вид механического резонатора	Характеристика	
	Добротность	Стабильность частоты

Маятниковый	500	$2 \cdot 10^{-4}$
Камертонный	1000	$1 \cdot 10^{-4}$
Струнный	700 – 5000	$2 \cdot 10^{-7}$
Стержневой	500 – 1000	$1 \cdot 10^{-5}$
Кварцевый	10000	$1 \cdot 10^{-8}$
Тонкие оболочки	500 - 2000	$1 \cdot 10^{-6}$

Для практического применения наиболее предпочтительным механическим резонатором является струнный. При достаточно высокой добротности и стабильности частоты он отличается технологичностью, низкой стоимостью и универсальностью применения.

Развитие средств интеллектуальной обработки информации раскрывает новые возможности применения информационно-измерительных систем (ИИС) на основе механических резонаторных преобразователей и требует пересмотра ранее сформулированных требований. Применение частотных датчиков в сочетании с вычислительной техникой позволяет создавать высокоточные и надёжные ИИС.

У подавляющего большинства датчиков на основе механических резонаторов характеристика преобразования нелинейна, что накладывает ряд ограничений. Прежде всего, это работа на малом участке характеристики, причём этот участок тем меньше, чем меньше допустимое отклонение от линейности. Однако при этом резко возрастает роль нестабильности частоты, что приводит к увеличению погрешности измерений. Линеаризация же характеристики неизбежно приводит к усложнению конструкции преобразователя и ухудшает стабильность его работы.

Следующим ограничением является необходимость уменьшения систематических погрешностей от влияния внешних факторов и точности изготовления преобразователя. Уменьшение технологических допусков, усложнение конструкции и тщательный подбор материалов приводят к существенному росту стоимости изготовления.

Характеристики преобразователя индивидуальны и изменяются с течением времени, а их коррекция очень трудоёмка, требует наличие точного механизма настройки и квалифицированного персонала.

Задачей работы было решение этих проблем с помощью современных средств вычислительной техники и достижение следующих результатов:

1. Оптимизация параметров и режимов работы ИИС на основе механических резонаторных преобразователей. Выбирается оптимальная амплитуда колебаний резонатора по величине нелинейных искажений, а также определяется девиация частоты, ограниченная нестабильностью работы на краях диапазона. Применение методов интеллектуализации позволяют расширить пределы измерений до границ стабильной работы резонатора.

2. Идентификация характеристики преобразования. Для идентификации характеристики использовался метод тестовых сигналов. Все механические резонаторы с сосредоточенными параметрами имеют идеальную характеристику вида:

$$f = \sqrt{ax + b} \quad (3)$$

Поэтому, для коррекции необходима подача двух тестовых сигналов (мер), по возможности на разных краях диапазона измерений. Для облегчения процесса целесообразно одной из мер считать отсутствие входного сигнала, а в качестве другой выбрать конструктивный предел изменения входной величины. Таким образом, отпадает необходимость во внешних калибраторах, достаточно просто сопоставить входной диапазон выходному и восстановить функцию преобразования.

3. Автоматическая коррекция погрешности. Функция преобразования, как правило, невоспроизводима, её параметры могут быть различными даже для датчиков идентичной конструкции. Кроме того, параметры одного и того же преобразователя изменяются с течением времени. Таким образом, возникает требование автоматической коррекции погрешности по результатам анализа характеристики преобразования.

Быстрое распространение компьютерной техники привело к тому, что персональные компьютеры (ПК) сейчас имеются практически на каждом рабочем месте. Они используются для решения различных задач, в том числе и для обработки данных, полученных при помощи измерительных приборов. Между тем можно избавиться не только от необходимости вручную заносить данные в компьютер, но и от внешних приборов вообще. Для этого необходима плата сбора данных (ПСД), которая обеспечит ввод информации в компьютер. На базе одной ПСД, содержащей аналого-цифровой преобразователь (АЦП), можно реализовать несколько приборов, так как плата АЦП позволяет выполнить анализ сигнала преобразователя с помощью ПК.

Разработчики ИИС, желающие использовать преимущества интеллектуализации, стоят перед выбором - либо разрабатывать систему «с нуля», используя тот или иной набор микросхем, либо применять

ПК и готовые изделия специализированных компаний. Второй подход предпочтительней по следующим причинам:

1. Разработка вычислительной системы является дорогим удовольствием. Необходим штат высококвалифицированных сотрудников и наличие сложного технологического оборудования. Хотя кажется, что устройство, разработанное с учетом конкретных нужд и не включающее в себя ничего лишнего, обойдется вам дешевле, чем универсальные, а значит, избыточные изделия специализированных компаний, это впечатление может оказаться обманчивым, так как существует множество скрытых затрат, таких как организация и поддержка разработки и производства, входной и выходной контроль, испытания и тестирование, отладка программного обеспечения, гарантийные обязательства и т. п.

2. Время жизни наборов микросхем часто не превышает и одного года. Не исключена ситуация, когда, закончив разработку, вы неожиданно обнаружите, что микросхемы, использованные в проекте, сняты с производства.

3. Наличие большого количества независимых поставщиков аппаратных средств и специализированных микросхем, ожесточенная конкуренция между которыми ведет к постоянному снижению цен и повышению технико-экономических показателей. Как следствие, вы получаете дешевую платформу для разработки, в то время как ПК сейчас есть практически в любой фирме на каждом столе.

4. Огромный задел программного обеспечения, в том числе в области систем реального времени.

В целом все это является отражением того факта, что сейчас на рынке IBM PC совместимых изделий сосредоточены финансовые и интеллектуальные ресурсы, во много раз превышающие возможности любой отдельно взятой компании.

Для разработки прикладных программ использовалась среда LabVIEW. LabVIEW - язык графического программирования, в котором для создания приложений используются графические образы (иконки) вместо традиционного текстового кода. От пользователя пакета не требуется знаний языков программирования, но понятие об алгоритме, цикле, выходе по условию и т.п. конечно иметь нужно. Все действия сводятся к простому построению структурной схемы приложения в интерактивной графической системе с набором всех необходимых библиотечных образов.

LabVIEW обладает следующими преимуществами:

1) Сравнительная простота освоения для непрофессиональных программистов и интуитивно-понятный интерфейс

2) Высокая скорость создания программ

3) Широкие возможности получения, обработки, хранения и визуализации измерительной информации

4) Возможность работы с драйверами самых различных устройств, разработанных в виде динамически подключаемых библиотек DLL, а также использования элементов ActiveX.

5) Поддержка стандартных интерфейсов ПК и возможность простого ввода-вывода цифровых данных через порты.

Также в работе рассмотрена возможность применения в качестве измерительного прибора стандартной звуковой карты компьютера, которая является дешёвым и широко распространённым устройством для преобразования сигналов из аналоговых в цифровые и наоборот. С помощью программного обеспечения SpectraLab, измерительного генератора Г6 - 34 частотомера ЧЗ - 34 и вольтметра В7-16 были проведены эксперименты для определения метрологических характеристик звуковой карты Crystal Sound Fusion. На линейный вход карты подавался синусоидальный сигнал с $U = 1$ В, частота которого ступенчато изменялась в пределах исследуемого диапазона. Необходимо отметить, что для получения корректных результатов нужна предварительная настройка параметров линейного входа в операционной системе. Проведённые исследования позволили определить область применения ПК, оснащенного звуковой картой и соответствующим программным обеспечением для измерительных целей. На представленном графике (рис. 1) видно, что в диапазоне работы механических резонаторных преобразователей относительная погрешность измерения частоты с помощью звуковой карты находится на уровне погрешности самого преобразователя, поэтому возможно её применение в качестве недорогого АЦП с приемлемыми метрологическими характеристиками.

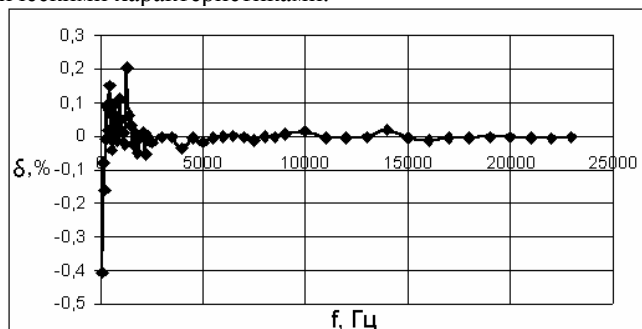


Рис. 1

Литература

1. Е. А. Карцев. Измерительные преобразователи. (Основы расчёта и конструирования). Учебное пособие. Москва, изд. МИЭМ, 1986, 160 с.
2. Карцев Е. А., Коротков В. П. Унифицированные струнные измерительные преобразователи. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.
3. Новицкий П.В., Кнорринг В.Г., Гутников В.С., Цифровые приборы с частотными датчиками. – Л.: Энергия, 1970. – 424 с.
4. Цейтлин Я.М., Скачко Ю.В., Капырин В.В., Модифицированные струнные преобразователи. М.: 1989 – 262 с.

