

СПОСОБ И АППАРАТУРА ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ ПЬЕЗОТЕХНИКИ

Кондаков Е.В.

НКТБ «Пьезоприбор» РГУ
evg_kv@mail.ru

Задача оперативного измерения и контроля характеристик пьезоэлементов и пьезопреобразователей в динамическом режиме актуальна как на стадиях разработки и производства, так и в период эксплуатации. Применяемые для этих целей системы, основанные на стандартных измерительных приборах обладают низкой производительностью. Кроме того, из-за своих массогабаритных характеристик они непригодны для контроля характеристик преобразователей на объектах в процессе их эксплуатации.

Современная элементная база и цифровые методы формирования и обработки сигналов позволяют решить эту задачу на качественно новом уровне. Становится возможным создание прибора, позволяющего быстро измерять и вычислять практически любые доступные с электрической стороны характеристики пьезопреобразователей. Небольшие габариты и масса делают возможными портативные модификации для контроля преобразователей непосредственно на объектах в процессе эксплуатации, а использование ЭВМ и современных методов накопления, хранения и обработки информации открывает качественно новые возможности для приложения результатов измерений.

Классическая схема измерения импеданса предполагает использование монохроматического сигнала и последовательные измерения в полосе частот [1]. Такой подход приводит к чрезмерным временным затратам. Цифровой способ формирования, регистрации и обработки сигнала позволяет преодолеть этот недостаток путем использования широкополосных тест-сигналов.

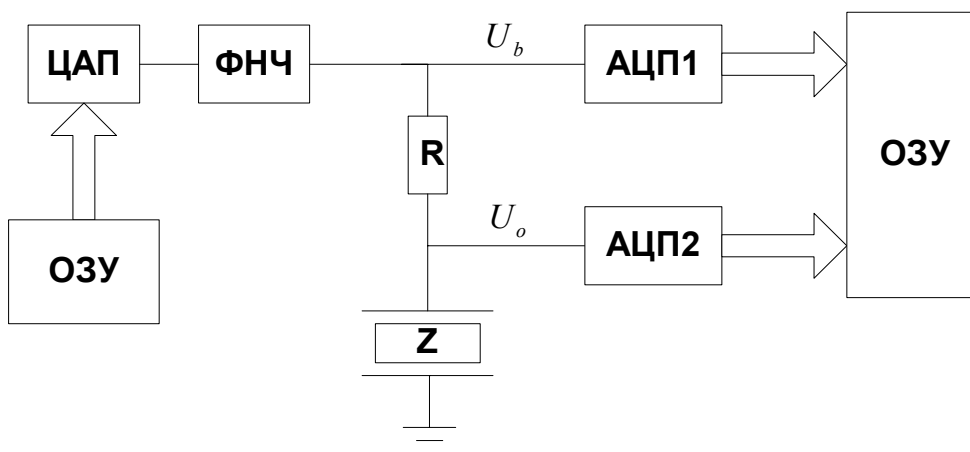


Рис.1. Схема измерений

Рассмотрим схему измерений, основанную на цифровой обработке сигналов. Исследуемый пьезоэлемент или пьезопреобразователь вместе с нагрузочным сопротивлением образуют делитель напряжения, поступающего с цифрового генератора тестового сигнала (рис. 1). Сигнал с выхода делителя U_o поступает на измерительный канал двухканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП). На вход опорного канала АЦП поступает сам тестовый сигнал U_b , что позволяет существенно снизить требования к точности установки амплитуды генератора тест-сигнала. Цифровые отсчеты, полученные из АЦП, сохраняются в буферном оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) и затем передаются в управляющую ЭВМ для обработки. Генератор тестового сигнала построен на базе цифро-аналогового преобразователя, дополненного фильтром нижних частот с переключаемой частотой среза. Цифровые отсчеты тестового сигнала формируются в ЭВМ и передаются в буферное ОЗУ. Такая схема позволяет в качестве тестового использовать практически любой сигнал, поскольку его форма определяется отсчетами, переданными из ЭВМ. На практике используются два типа сигналов: гармонический для измерений на постоянной частоте и сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) для измерений в полосе частот.

Обработка цифровых отсчетов сигналов, поступивших из АЦП, производится в ЭВМ и заключается в следующем. Посредством быстрого преобразования Фурье вычисляются комплексные спектры сигналов опорного $U_b(\omega)$ и предметного $U_o(\omega)$ каналов. Затем по формуле

$$Y(\omega) = \frac{1}{R} \left[\frac{U_b(\omega)}{U_o(\omega)} - 1 \right],$$

где R - сопротивление нагрузочного резистора, вычисляется частотная зависимость комплексной проводимости $Y(\omega)$ измеряемого элемента. Полоса частот, в которой измеряется функция проводимости $Y(\omega)$, определяется шириной спектра тест-сигнала. Все характеристики пьезоэлемента (емкость на низкой частоте и в окрестности резонанса, тангенс угла диэлектрических потерь, эффективный коэффициент электромеханической связи, частоты резонанса и антирезонанса, добротность, и т.д.) вычисляются, исходя из $Y(\omega)$. Для повышения точности измерений в алгоритме и аппаратуре предусмотрен режим калибровки, который позволяет измерить и учесть амплитудную неидентичность каналов АЦП, а также те паразитные емкости монтажа, которые оказывают существенное влияние на точность измерений.

Описанный способ измерений реализован в серии приборов «Цензурка», разработанных и выпускаемых НКТБ «Пьезоприбор». Приборы состоят из измерительного блока и управляющего компьютера со специальным программным обеспечением. В дополнение к измерениям, выполняемым на переменном токе, в состав аппаратуры входит модуль измерения внутреннего сопротивления и сопротивления изоляции на постоянном токе при напряжении 100 В. Благодаря применению особых схемных и алгоритмических решений этот модуль позволяет измерять экстремально высокие сопротивления вплоть до 10 ГОм. Список основных измеряемых параметров и пределов их измерения приведен в таблице. Типичное время серийных измерений составляет 3-15 с в зависимости от требуемой точности и количества измеряемых параметров.

В настоящее время имеются две модификации этого прибора:

– Лабораторная. Прибор выполнен в виде стационарного блока с питанием от сети 220 В, подключается к настольной ПЭВМ, имеет вход для подключения одного исследуемого преобразователя. Эта модификация ориентирована на эксплуатацию в стационарных условиях лаборатории на стадии разработки и исследований, а также контроля при серийном производстве пьезоэлементов и пьезопреобразователей.

– Портативная. Прибор конструктивно выполнен в виде металлического чемодана, в котором закреплен переносной компьютер (ноутбук). Предусмотрено питание как от сети 220 В, так и автономное от встроенных аккумуляторов. В состав прибора также входит универсальный 48-канальный коммутатор с автоматическим управлением, позволяющий последовательно проводить измерения подключенных преобразователей. Эта модификация ориентирована на применение непосредственно на объектах, например для контроля преобразователей многоэлементных корабельных гидроакустических комплексов, разнообразных вибродатчиков на электростанциях, объектах переработки и транспортировки нефти, и т.д.

Таблица

Параметр, подлежащий измерению	Характеристики	
	Диапазон	Погрешности
Рабочий диапазон частот	(0,1–800) кГц	Установки 0,1 %
Частота резонанса	(0,15–700) кГц	<1 %
Частота антирезонанса	(0,15–700) кГц	<3 %
Активная составляющая полного эл. сопротивления в резонансной области частот	(5–10) Ом (10–10 ⁴) Ом	<10 % <5 %
Электрическая емкость на частотах 100 Гц и 1 кГц	(500×10 ⁻¹² –5×10 ⁻⁶) Ф	<2 %
Сопротивление постоянному току и сопротивление изоляции при испытательном напряжении 100 В	(10 ³ –10 ⁶) Ом (10 ⁶ –10 ¹⁰) Ом	<5 % <10 %
Добротность	5÷100	<5 %
Динамическая емкость	(1÷50)×10 ⁻⁹ Ф	<5 %
Коэффициент электромеханической связи	0,1÷1	<5 %
Индуктивность	(0,5÷20) мГн	<5 %
Тангенс угла диэлектрических потерь	(1÷6) % (6÷100) %	<10 % <3 %

По сравнению с использованием стандартных средств измерений применение прибора «Цензурка» имеет следующие преимущества.

- Малые габариты и вес, наличие портативной модификации.
- Измерение и вычисление большого числа параметров.
- Возможность расширения перечня измеряемых параметров в соответствии с конкретным приложением прибора.
- Высокая производительность (малое время измерений).

– Возможность сохранения результатов измерений в базе данных и автоматической отбраковки образцов по результатам измерений.

Кроме того, планируется усовершенствование приборов в направлении расширения диапазона рабочих частот до 10 МГц, что позволит использовать их для контроля преобразователей, применяющихся в современных и перспективных образцах медицинской техники.

Выводы

– Предложен новый подход к измерению параметров пьезопреобразователей, использующий современные способы цифрового формирования и обработки сигналов.

– Разработаны и производятся измерительные приборы, основанные на реализации этого подхода. Имеются лабораторная модификация для стационарных применений и портативная для измерений на объектах.

– Возможны модификации прибора, учитывающие конкретные особенности эксплуатации и требования потребителей.

Литература

1. Пьезокерамические преобразователи: Справочник/ В.В. Ганопольский, Б.А. Касаткин, Ф.Ф. Легуша, Н.И. Прудько, С.И. Пугачев. – Л.: Судостроение, 1984. -256 с., ил. – (Библиотека инженера-гидроакустика).

