

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЧАСТОТНО-ЦИФРОВЫХ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПРИНЦИПАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ  
ИЗМЕРЕНИЙ**

Филимонов В.В.

Московский Государственный Институт Электроники и Математики (Технический Университет)  
109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., 3/12, кафедра МиС, vasily\_filimonov@mail.ru

Отличительной особенностью современных электронных устройств, используемых в цепях преобразования частотно-модулированных (ЧМ) сигналов измерительной информации, ее передачи и обработки является переход от дискретной элементной базы, и интегральных микросхем на которых ранее строились цифровые приборы с частотными преобразователями, к использованию персональных ЭВМ.

Появляется возможность пересмотреть подход к проектированию узлов цифровых приборов с частотными датчиками. При помощи ЭВМ, оборудованного аналого-цифрового преобразователя (АЦП), на основании ранее реализованных дискретных схем возможно воссоздание преобразователей с аналогичными характеристиками (в том числе и метрологическими) программным способом.

Таким образом, можно рассмотреть измерительный преобразователь вида АЦП, ЭВМ, программное обеспечение (ПО). В настоящий момент предложено достаточно большое количество подобных измерительных систем (частотомеров, осциллографов, анализаторов спектра и т.д.). Но, сосредотачивая внимание на программном продукте, производитель, как правило, не уделяет должного внимания их метрологическому анализу. Такой подход накладывает ограничения на возможность использования устройств.

Исходя из вышеуказанного, на данный момент актуальным представляется решение следующих, связанных с современным информационно измерительными системами, задач:

- оценка метрологических характеристик.
- повторение уровня точности предшествующих аналогов.
- повышение точности за счет применения алгоритмов автоматической коррекции погрешности.

В качестве экспериментальной базы для исследования метрологических характеристик и возможностей их улучшения было выбрано частотно-цифровое средство измерений (ЧЦИ). Это научное направление подтверждено 20-ю авторскими свидетельствами на изобретения, актами о внедрении в промышленность, стандартом ГОСТ 21625-76.

Основная особенность рассматриваемых ЧЦИ, использование в их составе широко распространенного, на данный момент, мультимедийного персонального компьютера (ПК). В ранее опубликованных работах, рассматривалось использование стандартной звуковой карты, как экономически выгодной альтернативы дорогостоящим аналого-цифровым преобразователям (АЦП). Использование звуковой карты дает целый ряд преимуществ: экономическую выгоду, вследствие отлаженного серийного производства звуковые карты имеют очень низкую, по сравнению со специализированными АЦП стоимость; полную совместимость с конфигурацией ПК; стандартизированные характеристики, в том числе особенности программирования.

С другой стороны, приходится столкнуться с недостатком исчерпывающей и не всегда корректной информацией о метрологических характеристиках данных устройств (надо заметить, что данный недостаток может встречаться и среди специализированных плат АЦП) и особенностях работы тех или иных моделей.

Недостатки используемых в измерительной системе устройств возможно оценить и компенсировать на этапе обработки данных. В том числе, и за счет усложнения методик эксперимента. Данные процессы возможно автоматизировать средствами ПК.

Методика программирования звуковой карты состоит из двух альтернативных направлений, возможность применения которых в большой степени зависит от применяемой операционной системы. Вариант первый предполагает опрос устройства через порты ввода/вывода. Применяется, как правило, в операционной системе DOS. Вариант второй, более универсальный, состоит в обмене данными через буфер памяти.

Метод программирования звуковой карты через порты ввода/вывода достаточно ограничен и имеет ряд недостатков, использование его в измерительных целях по всей видимости достаточно проблематично. Тем не менее, необходимо отметить, что это вероятно единственная возможность реализации измерений в режиме периода.

Рассмотрим второй метод программирования звуковой карты. Метод заполнения буфера памяти. Как уже говорилось ранее, существуют возможности применять данный метод в различных операционных системах. Примером реализации DOS системы может служить измерительная система ИС-7 DOS. Примерами Windows систем все последующие версии измерительного программного обеспечения, разработанные на кафедре метрологии и сертификации МИЭМ и представленные в данной работе.

Основной особенностью программирования звуковых карт в операционной системе Windows можно отметить наличие специализированного и универсального WAVE-интерфейса. Что дает возможность сделать следующие выводы: WAVE-интерфейс, универсальный инструмент управления любыми звуковыми

картами, корректно установленными в операционную систему Windows, это наиболее предпочтительный метод программирования звуковой карты и с большой долей уверенности можно сказать, что используется WAVE-интерфейс практически во всех, существующих на данный момент программных продуктах, исследуемого направления. Что существенно облегчит решение задачи оценки метрологических характеристик подобных измерительных систем.

Не вдаваясь в подробности программирования, можно подвести итог работы звуковой карты в режиме заполнения буфера. На выходе формируется последовательность отсчетов амплитуды оцифрованного входного сигнала, следующих с постоянным периодом. Период следования, максимальная амплитуда, количество отсчетов, это основные параметры буфера значений, зависят от параметров звуковой карты и управляющих значений.

Существует, как минимум, два варианта преобразования полученного массива дискретов амплитуды в частоту. Применение преобразования Фурье или применение счетного метода. Построение и последующий анализ спектра сигнала реализовано в таких программных продуктах, как SpectraLab. Второй вариант используется в рассматриваемом программном обеспечении.

Одно из направлений улучшения метрологических характеристик существующих ЧЦИС, расширение диапазона измерений. Ранее, рабочий диапазон СИ ограничивался линейным участком функции преобразования. В настоящий момент представляется возможным за счет применения автоматической коррекции нелинейности существенно расширить рабочий диапазон. Возможно использование различных алгоритмов приближения функции преобразования. В качестве наиболее перспективного направления рассматривается приближение сплайнами.

Для автоматизации оценки получаемой систематической погрешности и выбора наилучшего алгоритма приближения разработано специализированное программное обеспечение (использовались средства программирования MS VS C/C++, MS C#, MS Excel).

В процессе исследования режима прямого измерения проявилась необходимость исследования влияния времени измерения на случайную составляющую погрешности. На данном этапе исследований случайная составляющая рассматривается в совокупности с вариацией и дрейфом.

В качестве исследуемого диапазона длительностей измерения был выбран отрезок от 1 до 10 секунд. Границы диапазона определены приемлемыми для практического использования значениями. Диапазон был разбит на пять опорных значений (1, 3, 5, 7, 10 секунд) в которых проводились наблюдения. В качестве источника входного сигнала использовался набор из пяти мер (1.11, 1.14, 1.19, 1.23, 1.27), аналогичным образом, равномерно распределенных по рабочему диапазону исследуемого датчика (УИП-8). На выбранных мерах проводилось по 20 наблюдений в каждой из пяти временных точек. Измерения проводились при опущенном измерительном наконечнике, без арреттирования, с ручной установкой мер. В качестве системы сбора и автоматического анализа измерительной информации использовалась измерительная система ИС-8 в виде драйвера управления звуковой картой (wave.dll) и редактора Excel. Расчетная длительность эксперимента, около 43 минут, эксперимент длился 50 минут, с учетом времени на замену мер и паузы (порядка 1 минуты) перед началом новой серии измерений.

Анализ результатов измерений представлен на графике. Основные предварительные выводы:

- Случайная составляющая зависит от участка диапазона, с увеличением частоты, увеличивается и случайная составляющая.
- Характер зависимости случайной составляющей от времени в целом сохраняется для всех мер рабочего диапазона.
- Зависимость имеет нелинейный характер с достаточно ярко-выраженными участками (уменьшения, от 1 до 4 секунд, и дальнейшего роста).
- Вероятно, уменьшение погрешности связано с усреднением. Предпосылки роста случайной составляющей на диапазоне от 4 Гц требуют дальнейшего исследования.

На основании эксперимента было выбрано время измерения 4 секунды.

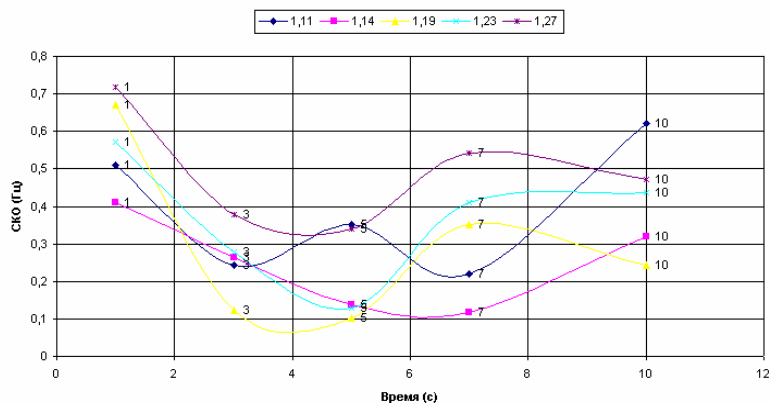
На данном этапе работы проведены предварительные исследования и оценка систематической составляющей погрешности ЧЦИС с расширенным рабочим диапазоном.

Эксперимент проводился по 17 мерам рабочего диапазона. Время измерения устанавливалось равным 4 секундам. На каждой мере проводилось 20 наблюдений с последующим усреднением результата. Таким образом была получена номинальная характеристика преобразования.

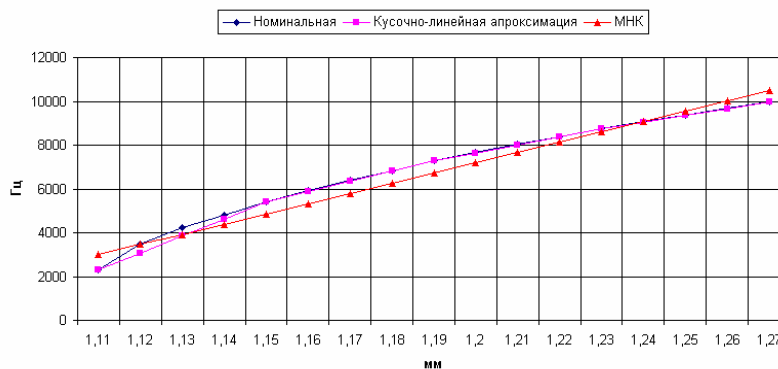
Исследовались две возможности приближения функции преобразования: кусочно-линейная аппроксимация и приближение хордой по методу наименьших квадратов. В обоих случаях использовались 5 опорных точек.

Полученная систематическая составляющая погрешности в начале диапазона на несколько порядков превосходит оцененную ранее случайную составляющую. Очевидно, что применение приближений на основе кусочно-линейной аппроксимации с увеличением числа опорных точек, более перспективно.

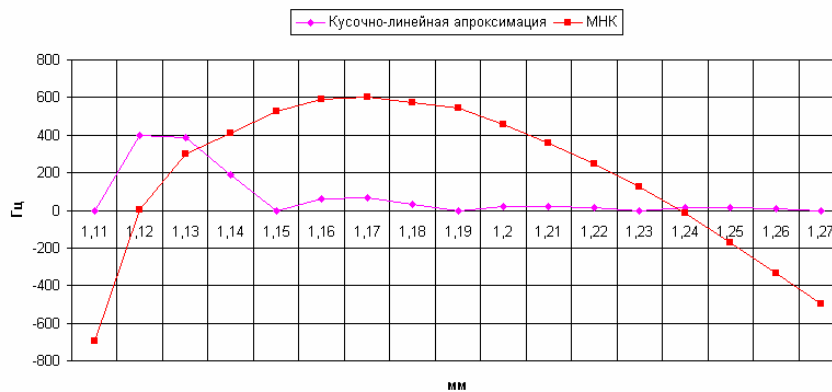
Зависимость случайной составляющей погрешности от времени измерения



Функция преобразования



Систематическая составляющая погрешности



### Литература

- Цейтлин Я.М., Скачко Ю.В., Капырин В.В. Модифицированные струнные преобразователи для измерения геометрических величин. - М.; Изд-во стандартов, 1989 - 264 с.
- Ю.В. Скачко, К.Э. Чистов, Т.В. Морозова и др. Измерительная головка. Авторское свидетельство N 144237011. Бюллет. изобрет., 1992, N 46.

