

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ УЗКОДИАПАЗОННЫХ ИМПЕДАНСОМЕТРИЧЕСКИХ КАНАЛОВ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В.Г.Мельник¹, канд.техн.наук, **Л.Н.Семенычева²**,
^{1,2} – Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

В работе рассмотрен прецизионный измерительный канал на базе моста переменного тока с интегральным цифро-аналоговым преобразователем и индикатором равновесия, который включает высокочувствительный интегрирующий аналого-цифровой преобразователь типа MAX132. Приведены результаты исследований линейности характеристики преобразования такого канала, проанализированы его специфические погрешности. Предложены пути существенного снижения погрешностей от нелинейности характеристики АЦП. Библ. 12, рис. 6.

Ключевые слова: измерение, погрешность, импеданс, аналого-цифровой преобразователь, нелинейность.

Несмотря на то, что исследования, направленные на повышение точности измерения параметров комплексных сопротивлений (электрического импеданса) ведутся уже на протяжении нескольких десятилетий [3, 4, 8], данная задача и сегодня не утратила своей актуальности. Однако, если еще 10-15 лет назад прецизионные измерения с погрешностями порядка 0,01% и менее были востребованы, в основном, в области метрологического обеспечения, то в последние годы резко возросло количество научных и практических задач, требующих широкого применения такой аппаратуры. Во многом это связано с развитием измерительных систем с датчиками (с сенсорами), которые используются в технологических комплексах, в технической и медицинской диагностике, для контроля качества материалов и продуктов питания, в экологии и многих других областях [5,9].

В отличие от применения в сфере метрологии импедансометрические каналы систем с сенсорами работают в достаточно узком диапазоне изменения входных параметров и, как правило, при неизменном режиме работы измерительной цепи (уровни тестовых сигналов, их частоты, эквивалентная схема замещения объекта измерения – сенсора). Это обстоятельство, с одной стороны, позволяет существенно упростить измерительный канал системы с сенсорами по сравнению, например, с универсальными мостами переменного тока. С другой стороны, разнообразие применяемых датчиков и методов измерений требует многократного расширения номенклатуры средств реализации каналов измерения и обработки данных, а во многих случаях – индивидуального проектирования таких каналов для каждой конкретной задачи. В этой ситуации технико-экономическая оптимизация всего цикла разработки, производства и применения импедансометрических средств может достигаться путем их максимально возможной унификации [1, 6] и использования принципа открытости архитектуры [7].

В последние годы в Институте электродинамики НАН Украины были разработаны недорогие унифицированные базовые импедансометрические модули МХР-3 и соответствующее программное обеспечение верхнего уровня, позволяющие эффективно решать сложные задачи по реализации высокочувствительных систем с сенсорами [2, 11]. Одной из особенностей этих приборов является применение АЦП двойного интегрирования с изменяемой постоянной времени разряда конденсатора, что обеспечивает высокую дискретность преобразования сигналов (в том числе переменного тока) [10]. В настоящее время среди серийно выпускаемых компонентов известен лишь один АЦП такого типа: MAX132 (производитель MAXIM). Исследования метрологических характеристик упомянутых приборов показали, что с их помощью успешно реализуются разнообразные методы измерения путем уравнивания или прямого преобразования информативных параметров датчиков в декадном диапазоне их значений. При этом основная погрешность измерения, как правило, находится в пределах 0,01–0,1%. Полученные результаты показывают, что такой уровень погрешности в значительной мере обусловлен особым видом нелинейности функции преобразования указанных АЦП.

Целью статьи является анализ характера этой нелинейности и обоснование новых способов выполнения измерения, позволяющих существенно уменьшить ее влияние на точность приборов.

Рассмотрим подробнее факторы, ограничивающие точность унифицированного импедансометрического канала, и возможные способы уменьшения их влияния. Блок-схема такого канала, использованная, в том числе, в модуле МХР-3, показана на рис. 1. В основу измерительного канала положена компенсационно-мостовая схема, в состав которой входят цифровой генератор Γ синусоидального напряжения U_{Γ} , формирующий два опорных сигнала формы «меандр», один из них – синфазный ($U_{сф}$), а другой – квадратурный ($U_{кв}$) по отношению к U_{Γ} . Напряжением U_{Γ} питается мостовая цепь, которая образована ветвью объекта измерения и ветвью компенсации, состоящей из инвертирующего кодоуправляемого делителя напряжения на основе цифроаналогового преобразователя (ЦАП) и образцовых мер C_o (емкости) и G_o (активной проводимости). Импеданс объекта измерения (например, датчика) может быть любым – емкость, активная проводимость (сопротивление) или их комбинация.

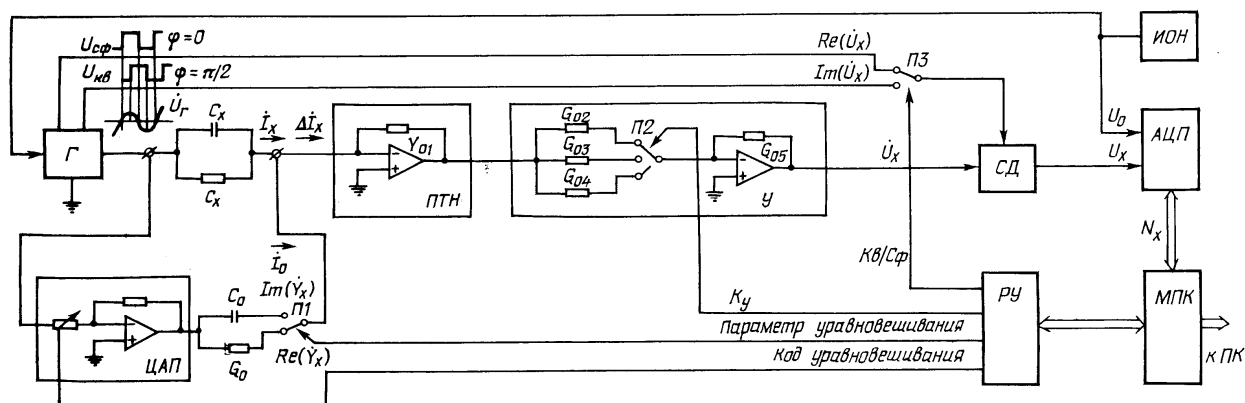


Рис. 1

Выходной токовый сигнал мостовой цепи $\Delta \dot{I}_x$, равный разнице токов ветвей \dot{I}_x и \dot{I}_o , преобразуется в напряжение с помощью преобразователя ПТН и усиливается масштабным преобразователем Y . Коэффициент передачи канала преобразования выходного сигнала моста определяется значениями прецизионных элементов $Y_{01}, G_{02}, G_{03}, G_{04}, G_{05}$. В качестве Y_{01} может использоваться либо резистор (G_{01}), либо конденсатор (C_{01}). Конденсатор целесообразно применять при выраженном емкостном характере измеряемого импеданса. Это позволяет снизить уровень высокочастотных помех. Сигнал с выхода усилителя выпрямляется ключевым синхронным детектором СД, который в соответствии с положением переключателя ПЗ выделяет необходимую составляющую вектора \dot{U}_x : $Re(\dot{U}_x)$ или $Im(\dot{U}_x)$. Эта составляющая преобразуется в цифровой код высокочувствительным логотметрическим АЦП двойного интегрирования, который функционально составляет с СД единый узел – АЦП переменного напряжения. Источник опорного напряжения ИОН формирует референсное напряжение U_o для АЦП, которое также служит опорным напряжением для генератора Γ , определяющим амплитуду U_{Γ} . Такая схема обеспечивает независимость выходного кода АЦП от величины U_o . Полученные коды обрабатываются микропроцессорным контроллером МПК и в виде результатов измерений передаются на устройства отображения данных или в персональный компьютер ПК. МПК также осуществляет управление элементами измерительной цепи через регистр управления РУ, в котором формируются коды уравнивания для ЦАП и коды управления переключателями П1, П2, П3. Переключатель П1 позволяет выбрать оптимальный уравниваемый параметр мостовой цепи: действительную (активную) или мнимую (реактивную) составляющую комплексной проводимости объекта измерения. При уравнивании моста МПК осуществляет компенсацию соответствующей составляющей в его выходном сигнале.

Описанный измерительный модуль может использоваться в различных режимах работы:

- прямого преобразования параметров объекта измерения, в котором сигнал компенсации не формируется;
- компенсации влияния неинформативного параметра объекта измерения;
- частичного уравнивания моста по информативному параметру и прямого преобразования остаточного сигнала неравновесия моста.

Выбор того или иного режима работы определяется характером измеряемого импеданса и его изменений, а также решаемой этими измерениями задачей.

В данной статье мы ограничимся простейшим режимом работы (прямое преобразование) и проанализируем источники погрешностей, которые возникают в канале преобразования выходного сигнала моста и связаны со свойствами применяемых высокочувствительных АЦП.

В режиме прямого преобразования параметры объекта измерения определяются из соотношения $\dot{I}_x = \dot{U}_G \dot{Y}_x$. При измерении параметров "чистых" объектов (резистор с активной проводимостью G_x или конденсатор с реактивной проводимостью ωC_x) выражения для токов имеют вид: $\dot{I}_x = \dot{U}_G G_x$ или $\dot{I}_x = \dot{U}_G j\omega C_x$. Напряжение на выходе канала преобразования выходного сигнала моста определяется выражением $\dot{U}_x = \dot{U}_G (\dot{Y}_x / G_{01}) (G_{(02,03,04)} / G_{05})$ – для случая использования в ПТН образцового резистора, или $\dot{U}_x = \dot{U}_G (\dot{Y}_x / \omega C_{01}) (G_{(02,03,04)} / G_{05})$ – при использовании образцовой емкости.

Если основной параметр комплексной проводимости объекта совпадает по характеру с основным параметром применяемой меры Y_{01} , то соответствующая составляющая вектора \dot{U}_x является синфазной с напряжением \dot{U}_G и может быть выделена синхронным детектором в положении $\text{Re}(\dot{U}_x)$ переключателя ПЗ. Напряжение, соответствующее вспомогательному параметру \dot{Y}_x , выделяется в положении $\text{Im}(\dot{U}_x)$ этого переключателя.

Выходной код АЦП определяется соотношением

$$N_x = (U_x / U_0) \cdot K_{АЦП},$$

где $K_{АЦП}$ – масштабный коэффициент преобразования, U_x – среднее значение выделяемой синхронным детектором составляющей напряжения U_x .

В данном устройстве напряжения U_G и U_0 , а также \dot{U}_x и U_x жестко связаны между собой за счет применения прецизионных (высокостабильных, с малыми фазовыми погрешностями) элементов в генераторе и синхронном детекторе. Обозначим указанные связи масштабными коэффициентами K_G и $K_{СД}$. Коэффициент передачи усилителя U обозначим K_U . С учетом этих обозначений выражения для выходного кода АЦП в режиме измерений методом прямого преобразования для всех возможных комбинаций состояний ПЗ и вида применяемой меры Y_{01} имеют вид

$$N_x = K_G K_{СД} K_U K_{АЦП} A / B, \quad (1)$$

где $A = G_x; \omega C_x; G_x; C_x$, $B = G_{01}; G_{01}; \omega C_{01}; C_{01}$ соответственно.

Регулирование K_U с помощью ПЗ позволяет оптимизировать использование динамического диапазона АЦП при значительных изменениях значений параметров Y_x и, таким образом, минимизировать погрешность от дискретности N_x .

В общем случае каждый из блоков, узлов и элементов, входящих в канал преобразования, вносит некоторую основную погрешность, которая может иметь как систематическую, так и случайную, как аддитивную, так и мультипликативную составляющие, а также дополнительные погрешности, возникающие при изменении условий окружающей среды (температура, напряжение питания, помехи и т.п.). При создании описываемого измерительного канала был осуществлен подбор компонентов, которые по точности, стабильности, температурной зависимости обеспечивают относительную основную суммарную систематическую погрешность на уровне 0,01%. Приведенное выражение (1) позволяет оценить величины систематических погрешностей прибора по основному и вспомогательному параметру объекта измерения в зависимости от частотно-амплитудных и частотно-фазовых характеристик его узлов.

Как показали экспериментальные исследования, при использовании современной элементной базы на рабочей частоте 1 кГц и в диапазоне импедансов объекта измерения от 1 кОм до 100 кОм погрешности, связанные с нестабильностью на коротких интервалах времени коэффициентов K_G , $K_{СД}$, K_U , а также мер G_{01} или C_{01} , существенно меньше 0,01%. Отклонения этих коэффициентов и параметров мер от номинальных значений могут быть учтены путем коррекции общего коэффициента преобразования измерительного канала по высокоточным (класса 0,005 и выше) внешним образцовым мерам активного сопротивления и емкости. Аддитивные погрешности измерений, связанные с наличием паразитных параметров измерительной цепи и смещением нуля АЦП, устраняются известным методом – предварительным определением и последующим вычитанием начальных параметров прибора. Успешность такой коррекции в решающей степени зависит от метрологических характеристик АЦП, поэтому

основные усилия в проведенных исследованиях были направлены на изучение стабильности и линейности характеристики преобразования, а также случайной погрешности этого узла прибора.

В рассматриваемом устройстве используется 18-разрядный АЦП фирмы MAXIM (MAX132), у которого диапазон измеряемых сигналов составляет ± 512 мВ, дискретность преобразования 2 мкВ, а интегральная нелинейность 0,0015–0,006% от полной шкалы согласно данных производителя.

Для оптимального использования динамического диапазона АЦП и канала преобразования измерительного сигнала при минимальном энергетическом воздействии на объект измерения выбран такой режим работы прибора, чтобы действующее значение тестового сигнала U_T и опорное напряжение U_0 АЦП были равны примерно 0,5 В, а коэффициент преобразования измерительного канала был приблизительно равен 1 при минимальной проводимости объекта измерения в декадном поддиапазоне сопротивления от 10 до 100 кОм. При уменьшении измеряемой проводимости коэффициент передачи усилителя K_U может увеличиваться в 2 или 4 раза переключателем П2, что позволяет сохранять минимально возможную погрешность от дискретности аналого-цифрового преобразования.

Для подавления сетевых помех при максимально возможном быстродействии АЦП время интегрирования выбрано 20 мсек. При таком времени интегрирования обеспечивается частота преобразований 16 отсчетов в сек. Графическое представление результатов измерений начальных параметров прибора показано на рис. 2 (данные приведены в единицах младшего значащего разряда АЦП, далее – МЗР).

Вариации отсчетов (до номера 165), представленные на этом графике, хорошо согласуются с декларируемыми параметрами АЦП (дискретность преобразования 2 мкВ, уровень собственных шумов 15 мкВ). Для снижения величины вариаций отсчетов до значений порядка $\pm(1-3)$ МЗР необходимо выполнять усреднение результатов 16 измерений (рис. 2, номера отсчетов от 165 и выше). Как показали эксперименты, для повышения устойчивости к внешним импульсным помехам при усреднении целесообразно отбрасывать по одному максимальному и минимальному результату.

Стабильность отсчитываемых значений начальных параметров была не хуже ± 3 МЗР за время, необходимое для выполнения цикла измерений. Таким образом, при условии проведения измерений с использованием верхней части динамического диапазона АЦП, а именно в диапазоне от 100000 до 260000 МЗР, гарантируется случайная составляющая относительной погрешности, не превышающая значения $\pm 0,003\%$ (при приближении к верхней границе указанного диапазона значение этой составляющей погрешности уменьшается до $\pm 0,0012\%$).

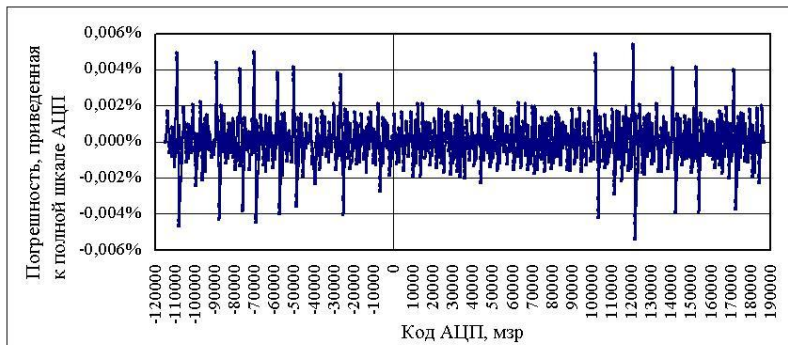
Наибольшее значение для обеспечения высокой точности измерений имеет величина дифференциальной и интегральной нелинейности аналого-цифрового преобразования. В документации на АЦП MAX132 интегральная нелинейность указывается в пределах от $\pm 0,0015\%$ до $\pm 0,006\%$ от полной шкалы (дифференциальная нелинейность не указывается). Учитывая значительную неопределенность этого нормирования, а также то обстоятельство, что в данном устройстве АЦП объединен с синхронным детектором и работает в специфическом режиме, интегрируя знакопеременное пульсирующее напряжение, авторы выполнили экспериментальные исследования линейности его характеристики преобразования во всем динамическом диапазоне. Исследования проводились в следующей последовательности. Сначала к мосту подключался объект измерения, задающий некоторую начальную точку исследуемого участка диапазона кодов АЦП, затем выполнялась вариация состояния мостовой цепи включением/отключением старшего разряда ЦАП. В результате этого изменялся выходной сигнал моста, задавая конечную точку исследуемого участка диапазона АЦП. Изменение кода АЦП, соответствующее вариации состояния мостовой цепи (назовем его "вариацией в кодах АЦП"), составляло при этом около 150000, что позволяло регистрировать изменение крутизны характеристики преобразования с относительной погрешностью от дискретности не более 0,001% от значения вариации. Многочисленные эксперименты позволяют полагать, что погрешность задания вариаций состояния измерительной цепи с помощью ЦАП не превышает $\pm 0,003\%$. Далее, за счет переключения младших разрядов ЦАП и/или подключения к мосту объектов измерения различной величины, задавалась начальная точка следующего участка диапазона АЦП и вновь выполнялась та же вариация со-



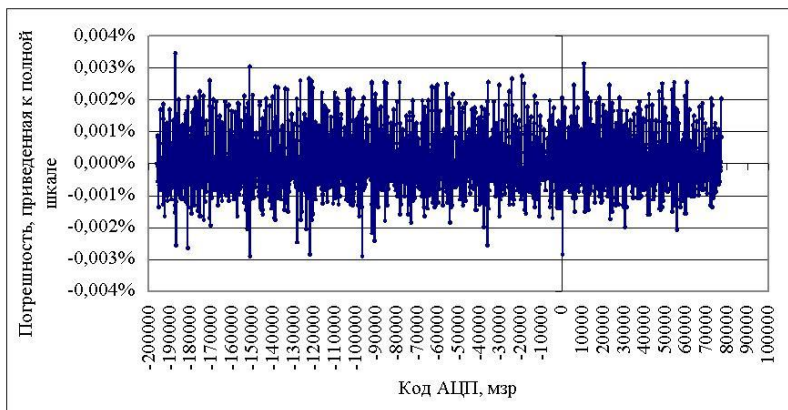
Рис. 2

стояния мостовой цепи. Начальные точки выбирались так, чтобы сами участки перекрывались на 50-70% (чем ближе начальные точки участков друг к другу, тем полнее информация о линейности функции преобразования АЦП). Таким же образом указанная вариация производилась при работе на различных участках характеристики преобразования АЦП в диапазоне от -250000 до $+250000$ МЗР. Затем вычислялось среднее значение вариаций в кодах АЦП, полученных на всех исследовавшихся участках, (т.е. усредненное по всему диапазону), и отклонения значений вариаций в кодах АЦП на конкретных участках диапазона АЦП от полученного среднего. Эти отклонения были приняты за погрешность от нелинейности на участке характеристики между точками диапазона АЦП, соответствующими состоянию мостовой цепи до вариации и после нее.

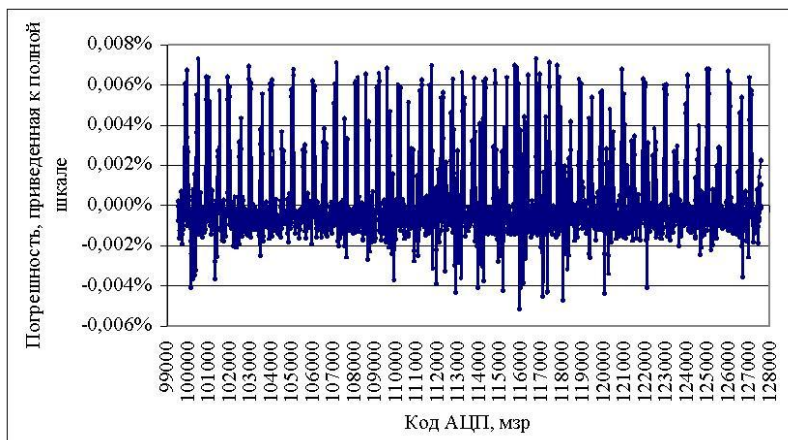
В результате исследований, кроме некоторой интегральной нелинейности, проявляющейся на



а



б



в

Рис. 3

относительно 0 распределением погрешностей малых значений и увеличенных всплесков (рис. 3, в).

краях диапазона измерения АЦП, были обнаружены специфические погрешности в виде одиночных и групповых всплесков значений, не превышающих декларируемые $\pm 0,006\%$ от полной шкалы (рис. 3), но резко увеличивающих относительные значения погрешности преобразования АЦП при работе в средней части диапазона, в частности, в диапазоне от 100000 до 200000 МЗР относительная погрешность преобразования составит до $0,03\%$. Эти погрешности изменяются при перемещении начальной точки вариации вдоль шкалы АЦП. После обработки результатов большого числа измерений по описанной выше методике были получены зависимости распределения погрешности от нелинейности в диапазоне кодов АЦП, которые представлены на рис. 3 для трех экспериментальных образцов приборов (*а* – прибор №2, *б* – прибор №5, *в* – прибор №1). Значения погрешности условно приписаны концу исследуемого участка кодов АЦП, соответствующих состоянию мостовой цепи после вариации. При исследованиях использовались методики измерений, позволяющие минимизировать влияние погрешностей ЦАП на результат определения погрешностей АЦП.

В ходе исследований выделены три характерных вида распределения специфических погрешностей: сосредоточенных в узкой симметричной относительно 0 полосе значений $\pm(1...2) \cdot 10^{-3} \%$ (рис. 3, б); таких же, но с редкими всплесками со значениями до $0,005\%$, также симметричными относительно 0 (рис. 3, а); а также с несимметричным относи-

При более подробном изучении проблемных точек были обнаружены некоторые закономерности появления повышенной погрешности, которые позволили предложить несколько способов минимизации влияния источников этой погрешности. На рис. 4 показано основное окно программного обеспечения исследуемых приборов. На графике 1 показана зависимость кодов АЦП от равномерно изменяющегося входного сигнала, полученного за счет изменения состояний младших разрядов ЦАП моста. На графике 2 даны значения относительного среднего квадратичного отклонения (СКО) погрешности, вычисленного для каждого усредненного значения кодов АЦП. Значения кодов АЦП получены усреднением 16 отсчетов в каждой исследуемой точке диапазона АЦП.

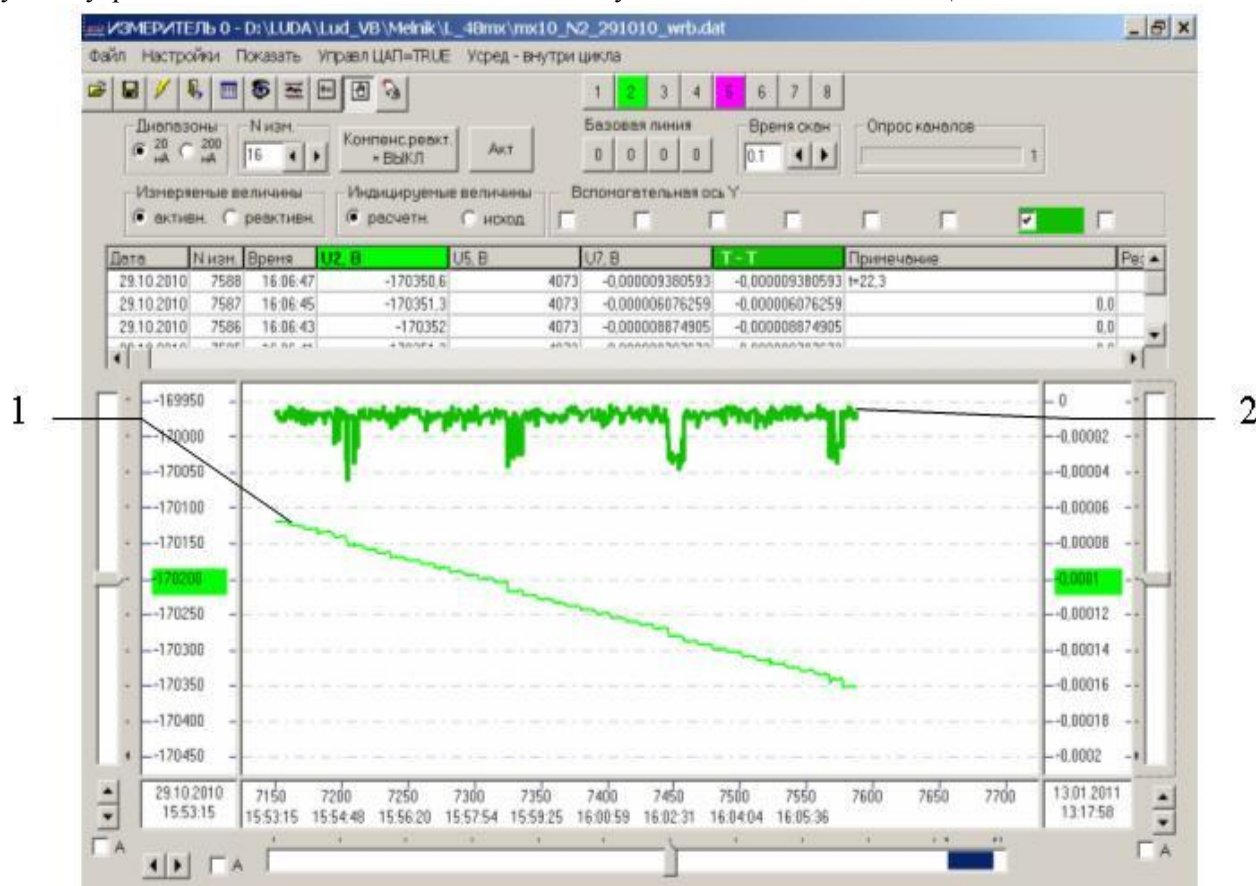


Рис. 4

Показанные на рис. 4 всплески погрешности во всех исследованных приборах появляются в основном периодически с интервалом 64 МЗР АЦП, что свидетельствует об их функциональном характере. Характер проявления погрешностей в проблемной зоне при получении отсчетов АЦП без усреднения показан на рис. 5. Как видно из рис. 5, в таких зонах изменения погрешностей имеют сначала вид одиночных всплесков, затем принимают знакопеременный характер и весьма высокую частоту изменений вдоль шкалы АЦП и далее – снова вид одиночных всплесков. Характер зон неустойчивости отсчетов позволяет предположить, что эта неустойчивость является результатом неправильной стыковки 12-ти старших и 6-ти младших разрядов кода АЦП, получаемых при разных постоянных времени разряда интегрирующего конденсатора АЦП [12]. Такой характер изменений погрешности позволяет в качестве одного из способов минимизации повышенной погрешности использовать усреднение нескольких результатов измерений, выполненных при разных начальных параметрах измерительной цепи (усреднение по диапазону). Изменения начальных параметров могут выполняться переключением 4-х – 5-ти младших разрядов ЦАП.

Другим способом минимизации влияния повышенной погрешности может быть смещение входного сигнала на известное значение с тем, чтобы результат измерения попал в зону небольших погрешностей с последующим вычитанием из результата измерения заданного смещения. Критерием поиска зон с небольшими погрешностями может быть значение СКО погрешности в отдельных зонах (рис. 4, график 2).

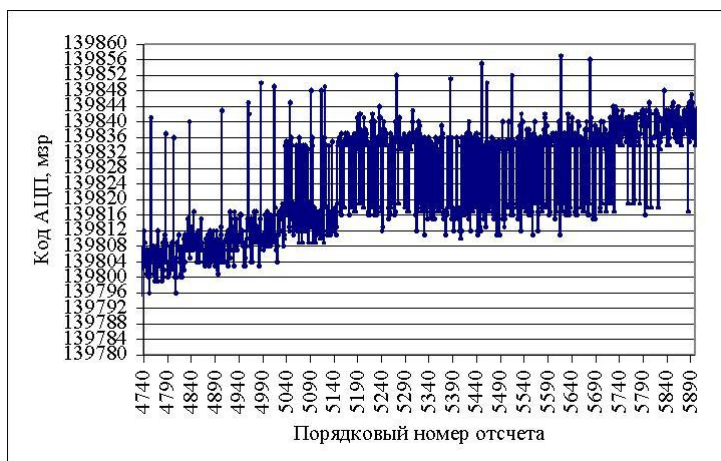


Рис. 5

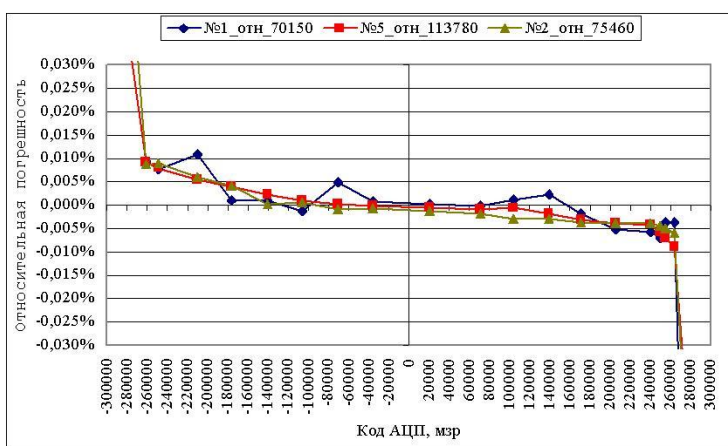


Рис. 6

по рис. 1 может быть выполнено программным путем, без добавления или изменения функциональных блоков устройства.

Рассмотренная структура компенсационно-мостового измерителя комплексных сопротивлений и предложенный способ уменьшения погрешности, вызванной нелинейностью используемого АЦП, позволяет снизить эту составляющую погрешности приблизительно в 3 раза, тем самым повысить точность измерительных устройств и реализовать достаточно простые приборы для систем с сенсорами с относительной погрешностью импедансометрического канала не хуже 0,01%.

В дальнейшем планируется проведение исследований, имеющих целью повышение точности импедансометрических каналов с использованием унифицированных модулей (типа МХР-3), работающих не только в режиме прямого преобразования, но и в других указанных в статье режимах.

1. Бунин В., Аноprenко В., Ильин А., Салова О., Чибисова Н., Якушев А. SCADA-системы: проблема выбора // Современные технологии автоматизации. – 1999. – №4. – С. 6–24.

Bunin V., Anoprenko V., Ilin A., Salova O., Chibisova N., Jakushev A. SCADA-systems: a problem of a choice // Sovremennye tehnologii avtomatizatsii. – 1999. – №4. – P. 6–24. (Rus.)

2. Василенко А.Д., Мельник В.Г., Дзядевич С.В., Семеньчева Л.Н., Шкотова Л.В. Многоканальный измерительный комплекс для электрохимических исследований // Сенсорная электроника и микросистемные технологии (Sensor Electronics and Microsystem Technologies). – 2009. – №1. – С. 64–75.

Vasilenko A.D., Melnik V.G., Dzjadevich S.V., Semenycheva L.N., Shkotova L.V. Multichannel measuring complex for electrochemical research // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2009. – №1. – P. 64–75. (Rus.)

3. Гриневиц Ф.Б. Автоматические мосты переменного тока. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1964. – 215 с.

Результаты линейризации характеристики преобразования трех экземпляров рассматриваемого устройства усреднением по диапазону показаны на рис. 6. Приведенные графики демонстрируют возможность получения относительной погрешности измерения за счет нелинейности АЦП не хуже 0,005% в диапазоне используемых кодов АЦП примерно ± 200000 (приведенное к полной шкале значение погрешности от нелинейности составит 0,002%).

Как видно из рис. 6, линейризованная характеристика преобразования прибора №1 несколько хуже, чем у двух других, что вызвано наибольшими исходными погрешностями (рис. 3, в). В подобных случаях более эффективно применение второго из описанных выше способов минимизации погрешностей.

Заключение. Выполненные исследования позволили уточнить величину и характер специфической нелинейности преобразования многозарядных интегрирующих АЦП, подобных MAX132.

За счет вариаций небольшой аддитивной добавки к входному сигналу АЦП и последующего усреднения результатов измерения этого сигнала удастся существенно улучшить линейность характеристики преобразования АЦП данного типа, что при использовании схемы

- Grinevich F.B.* Automatic bridges of an alternating current. – Novosibirsk: Izdatelstvo Sibirskogo Otdeleniia AN SSSR, 1964. – 215p. (Rus.)
4. *Гриневич Ф.В., Сурду М.Н.* Высокоточные вариационные измерительные системы переменного тока. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
- Grinevich F.V., Surdu M.N.* Precision variational measuring systems of an alternating current. – Kyiv: Naukova dumka, 1989. – 192 p. (Rus.)
5. *Дзядевич С.В., Солдаткин О.П.* Наукові та технологічні засади створення мініатюрних електрохімічних біосенсорів. – К.: Наукова думка, 2006. – 256 с.
- Dziadevich S.V., Soldatkin O.P.* Scientific and technological fundamentals of the creation of the miniature electrochemical biosensors. – Kyiv: Naukova dumka, 2006. – 256 p. (Ukr.)
6. *Локотков А.* Устройства связи с объектом. Модули фирмы Advantech // Современные технологии автоматизации. – 1997. – №2. – С. 32–44.
- Lokotkov A.* Equipments of connection with object. Modules of firm Advantech //Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii. – 1997. – №2. – P. 32–44. (Rus.)
7. *Лукина И.В., Лысак А.В., Мельник В.Г., Могилевский В.М., Семеновичева Л.Н.* Открытая сетевая информационно-измерительная система с реализацией обмена данными и управления по технологии „клиент - сервер” // Техн. електродинаміка. Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2006. – Ч.3. – С. 113–118.
- Lukina I.V., Melnik V.G., Lysak A.V., Mogilevskii V.M., Semenycheva L.N.* The open network information-measuring system with the implementation of data exchange and management of client-server // Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vyprusk " Problemy suchasnoi elektrotekhniki". – 2006. – Vol. 3. – P. 113–118. (Rus.)
8. *Новик А.И.* Системы автоматического уравнивания цифровых экстремальных мостов переменного тока. – К.: Наук. думка, 1983, – 222 с.
- Novik A.I.* Systems of an automatic equilibration of digital extremal bridges of an alternating current. – Kyiv: Naukova dumka, 1983. – 222 p. (Rus.)
9. *Фрайден Дж.* Современные датчики. Справочник. – М.: Техносфера, 2006. – 592 с.
- Fraiden Dzh.* State-of-the-art sensors. The handbook. – Moskva: Tekhnosfera, 2006. – 592 p. (Rus.)
10. *А.с. №1739305.* Измеритель комплексных сопротивлений / Сурду М.Н., Мельник В.Г., Кромпляс Б.А., Изволенская Н.Е. (СССР) // БИ. – 1992. – № 21.
- A.s. №1739305.* Impedance meter / Surdu M.N., Melnik V.G., Kromplias B.A., Izvolenskaia N.E. (USSR). // Biuletен Izobrenenii. – 1992. – № 21. (Rus.)
11. *Dzyadevych S.V., Soldatkin A.P., Soldatkin A.A., Peshkova V.N., Vasilenko A.D., Melnik V.G., Mikhal A.A., Semenycheva L.N., Rubanchuk M.P.* Four-channel biosensor-analyzer of saccharides // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2009. – №3. – P. 47–53.
12. *MAXIM.* ± 18 -Bit ADC with Serial Interface MAX132. 19-0009; Rev 2; 8/95.

УДК 621.317

В.Г.Мельник¹, канд.техн.наук, **Л.М.Семеничєва²**,
^{1,2} – **Інститут електродинаміки Національної академії наук України,**
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

Підвищення точності вузькодіапазонних імпедансометричних каналів прямого перетворення.

У роботі розглянуто прецизійний вимірювальний канал на базі моста змінного струму з інтегральним цифро-аналоговим перетворювачем і індикатором рівноваги, що включає високочутливий інтегруючий аналого-цифровий перетворювач типу MAX132. Наведено результати досліджень лінійності характеристики перетворення такого каналу, проаналізовано його специфічні похибки. Запропоновано шляхи істотного зниження похибок від нелінійності характеристики АЦП. Бібл. 12, рис. 6.

Ключові слова: вимірювання, похибка, імпеданс, аналого-цифровий перетворювач, нелінійність.

V.G.Melnik¹, L.M. Semenycheva²,
^{1,2} – **Institute of Electrodynamics of National Academy of Science of Ukraine,**
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

Improving of accuracy of the impedance measuring in the channels of the direct conversion with narrow scale range.

The paper deals with the results of researches of precision measurement channel, which is based on the AC bridge circuit with integral digital to analogy converter and an indicator of balance, which includes high-sensitivity integrating-type analogy to digital converter such as MAX132. Results of researches of the linearity characteristics of the transformation of the channel are given, its specific error are discussed. The ways of significantly reducing the errors caused by the nonlinearity characteristics of the ADC are proposed. References 12, figures 6.

Key words: measurement, error, impedance, analog-to-digital converter, nonlinearity.

Надійшла 23.11.2010

Received 23.11.2010