

2. Джежора, А.А. Электроёмкостные преобразователи и методы их расчета / А.А. Джежора. –

Минск: РУП «Издательский дом «Белорусская наука», 2008. - 305с.

УДК 621.179.147

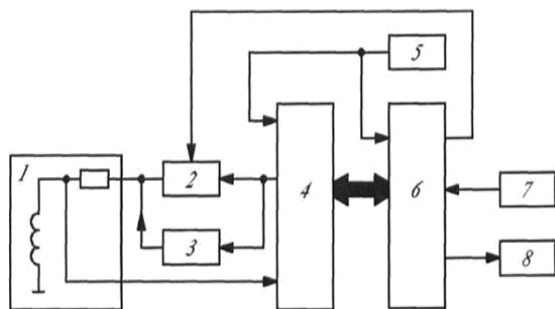
## ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗЫ ВНОСИМОГО СИГНАЛА ЦИФРОВЫМ ВИХРЕТОКОВЫМ ДЕФЕКТОСКОПОМ НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Баженов В.Г., Глейник К.А.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
Киев, Украина.

Вихретоковые методы неразрушающего контроля являются очень распространенными методами и при решении многих задач контроля не имеют альтернативы особенно в авиации. Современные цифровые дефектоскопы имеют широкие функциональные возможности используют мощные DSP процессоры на базе ПЛИС, но они потребляют много электроэнергии и имеют большую стоимость и большие габариты.

В данный момент в мире микроэлектроники появились уникальные микросхемы малогабаритных измерителей комплексного сопротивления со встроенным DSP процессором работающих совместно с современными микроконтроллерами с помощью последовательного интерфейса И2С. Это позволило авторам предложить новые структуры (рисунок 1) [1-3] цифровых вихретоковых дефектоскопов, которые имеют очень малые размеры, малую стоимость, малое потребление электроэнергии (так например микросхема измерителя комплексного сопротивления AD5933 потребляет 15ма).



- 1-вихретоковый преобразователь;
- 2-цифровой ключ; 3-фазовращатель;
- 4-измеритель комплексного сопротивления;
- 5-опорный генератор; 6-микроконтроллер;
- 7-пульт управления; 8-дисплей

Рисунок 1 – Структурная Схема цифрового дефектоскопа на базе микросхемы измерителя комплексного сопротивления

С помощью микроконтроллера 6 задаётся частота и амплитуда сигнала на выходе схемы 4 (AD5933), затем DSP процессор этой схемы через порт I2C выдаёт на микроконтроллер 6 реальную (R) и мнимую (I) составляющие

комплексного сопротивления вихретокового датчика 1. В микроконтроллере по известным формулам (1,2) действительная и мнимая составляющие комплексного сопротивления пересчитываются в амплитуду (Magnitude) и фазу (Phase) сигнала.

$$Magnitude = \sqrt{R^2 + I^2} \quad (1)$$

$$Phase = \arctg\left(\frac{I}{R}\right) \quad (2)$$

Использование общего генератора тактовых сигналов 5 для микроконтроллера 6 и схемы 4 измерителя комплексного сопротивления позволяет синхронизировать процесс работы синтезатора частоты схемы AD5933 и микроконтроллера. Синтезатор частоты в свою очередь синхронизирует запуск внутреннего 12-ти разрядного АЦП и арифметического устройства (DSP), путём подачи на него кодов выборок опорных сигналов (Sin,Cos) записанных в ПЗУ, которые перемножаются в этом блоке с соответствующими выборками измерительного сигнала с выхода АЦП. После реализации цифровой операции фильтрации в арифметическом блоке получают проекции (Sin,Cos)  $a_s$  и  $a_c$  формированием квадратурных составляющих сигнала [6,7,8, 9]:

$$\alpha_s = \sum_{j=1}^{M_{AD}} u_i[j]u_s[j], \alpha_c = \sum_{j=1}^{M_{AD}} u_i[j]u_c[j] \quad (3)$$

где  $u_i[j]$  – выборка входного сигнала;  $u_s[j], u_c[j]$  – синусная и косинусная составляющие опорного сигнала, цифровым сигналом.  $M_{AD}$  – количество элементов выборки входного сигнала.

Синхронизация от одного генератора 5 запуска, АЦП и блока опорных сигналов арифметического устройства позволила существенно уменьшить погрешности измерения за счет не кратности частот дискретизации и частоты входного сигнала вихретокового преобразователя [6, 7, 9] Микроконтроллер позволяет полностью автоматизировать процесс измерения и калиб-

ровки и выводить и документировать требуемый результат измерения в заданных единицах (проводимости, толщины)

Известно [4,5], что при контроле например проводимости ферромагнитных проводящих материалов изменяется в основном фаза измеряемого сигнала, т.е. точность измерения фазовых сдвигов будет определять в этом случае точность измерения проводимости. Однако при измерении малых значений фазы резко возрастает погрешность её измерения, что обусловлено тем, что абсолютные значения погрешностей измерения мнимой и действительной частей остаются неизменными. Такие погрешности определяются как разрядностью АЦП так и разрядностью блока ДСП [6.7.8], а на краях четвертей измеряемого результата на краях четвертей полного фазового сдвига ( $0^{\circ}, 90^{\circ}, 90^{\circ}, 180^{\circ}$  и т.д.). Малые значения мнимой или действительной части приводят к большим относительным значениям погрешности вычисления, которые как нетрудно показать прямо сказываются на погрешности вычисления фазы. Поэтому при получении измеряемого результата на краях четвертей полного фазового сдвига предлагается в измерительную цепь вводить дополнительный фазовый сдвиг с помощью фазовращателя 3 чтобы находиться в оптимальной области (например  $45^{\circ}$ ), что реализуется с помощью размыкания по команде микроконтроллера аналогового ключа 2 включенного параллельно фазовращателю 3. Использование микроконтроллера позволяет автоматизировать процесс измерения, калибровки и окончательной корректировки и выводить требуемый результат измерения в заданных единицах (проводимости, толщины). Время измерения не превышает 30 мс. В качестве микроконтроллера в разработанном дефектоскопе рис.1 используется микроконтроллер ATMEGA 32.

Внешний вид разработанного дефектоскопа представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид разработанного дефектоскопа

1. Патент №45908 Украины на полезную модель МПК G01N27/00 Многофункциональный вихретоковый дефектоскоп Баженов В.Г., Климашевская В.М., Глейник К.А.; заявитель и патентообладатель НТУУ «КПІ» Оpubл. 25.11.2009р. Бюл.№22 Номер заявки u200907688 від 21.07.2009.
2. Баженов В.Г., Лепеха В.В., Глейник К.А., Лепеха В.Л. Цифровой вихреструмовий дефектоскоп. Патент на корисну модель №82342 від 25.07.2013 МПК G01N27/90 (2006.01) Бюл.№14/2013. Номер заявки u201302593 від 01.03.2013.
3. Баженов В.Г., Лепеха В.В., Глейник К.А., Лепеха В.Л. Цифровой вихретоковый дефектоскоп. Патент Украины на изобретение №107249 от 10.12.2014р МПК G01N27/61; G01N27/90.; заявители и патентообладатели Баженов В.Г., Лепеха В.В., Глейник К.А., Лепеха В.Л. Бюл. 23/ 2014 р.
4. Неразрушающий контроль. В 5кн. Кн.3. Электромагнитный контроль: Практ. Пособие/ В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В.Сухоруков; Под ред. В.В.Сухорукова,-М.; Выш. Шк.,1992.-312с.
5. Дорофеев А.Л., Казаманов Ю.Г. Электромагнитная дефектоскопия.-2-е изд., перераб и доп.- М.: Машиностроение, 1980. – 232.
6. Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешаной обработки сигналов. Москва: Техносфера, 2010.-328с. ISBN978-5-94836-243-4.
7. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. А36 Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2008.-992 с.:ил.-Парал. тит. англ. . ISBN978-5-8459-0710-3.
8. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования,- СПб.: Политехника, 1998.-592с.: ил. . ISBN 5-7325-0486-9.
9. Steven W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition, 1999, California Technical Publishing, P.O. Box502407, San Diego, CA92150. Also available at: <http://www.dspguide.com>.