

УДК 621.891

**РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
НА БАЗЕ ОТЛАДОЧНОГО КОМПЛЕКТА ARDUINO****Тявловский А.К., Поводайко А.Д., Пантелеев К.В., Жарин А.Л., Свистун А.И., Гусев О.К.***Белорусский национальный технический университет**Минск, Республика Беларусь*

Преимущества цифровых методов обработки сигналов зондовой электрометрии неоднократно рассматривались ранее [1]. К ним, в частности, относятся высокое быстродействие, возможность работы в режиме большого сигнала, что улучшает отношение сигнал / шум, возможность автоматического определения дополнительных параметров сигнала на основе анализа его амплитудного и фазового спектра. В связи с большим разнообразием режимов, реализуемых зондовыми электрометрическими преобразователями при исследованиях различных материалов (режимы вибрирующего и невибрирующего зондов Кельвина, полной или неполной компенсации измерительного сигнала, режим анализа поверхностной фотоЭДС и др.), целесообразной является разработка универсального цифрового электрометрического преобразователя на основе отладочной микропроцессорной платы общего назначения, обеспечивающего простое изменение конфигурации измерительной системы путем модификации программного обеспечения микропроцессора.

В качестве основы для разработки была выбрана отладочная плата *Arduino Mega 2560*. Данная плата поддерживает до 54 цифровых линий ввода-вывода, до 14 каналов широтно-импульсной модуляции (ШИМ), содержит мультиплексированный 10-битный аналого-цифровой преобразователь с возможностью подключения до 16 аналоговых входов. На плате имеется 4 последовательных порта *UART*, 5 п *SPI*, 6 независимых таймеров. Объем встроенной памяти составляет 256 Кбайт *flash*, 8 Кбайт *SRAM* памяти данных, 4 Кбайт *EEPROM*. Быстродействие *Arduino Mega 2560* достигает 16 *MIPS*.

Для реализации режима вибрирующего зонда Кельвина в состав разработанного преобразователя включен низкочастотный генератор возбуждения колебаний чувствительного элемента зонда. Также особой схемотехнической реализации потребовал входной предварительный усилитель измерительного сигнала, к которому предъявляются повышенные требования по входному активному сопротивлению и входной емкости. Разработанная принципиальная электрическая схема универсального цифрового электрометрического преобразователя приведена на рисунке.

Предварительный усилитель выполнен по схеме зарядочувствительного усилителя на основе микросхемы операционного усилителя *LMP7715* (входное сопротивление – 1 ГОм). Данный усилитель обладает комплексом уни-

кальных параметров, а именно типичное паспортное значение входного тока составляет 0,5 пА, уровень собственных шумов не превышает 5,8 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$. Напряжение компенсации подается через инвертирующий вход. Обусловленная этим погрешность незначительна ввиду того, что выбранная микросхема имеет напряжение смещения ± 20 мкВ. Существенное влияние на точность измерений контактной разности потенциалов электрометрическим зондом оказывают различные паразитные емкости, образованные зондом и компонентами предварительного усилителя. Их влияние на результат измерений усиливается, если последние имеют высокий потенциал относительно зонда. В связи с этим питание входного усилителя выбрано небольшим ($\pm 2,5$ В). Использование в питании усилителя «плавающей земли» позволяет сохранить соотношение потенциалов зонда неизменным при изменении напряжения компенсации в широких пределах.

Источник «плавающего» питания выполнен на усилителях DA6.1 и DA6.2 (рисунок). Опорное напряжение создается прямо смещенными диодами VD1, VD2. Усилитель DA6.3 служит буфером, а его выход формирует «виртуальную землю» для предварительного усилителя. Выходной сигнал с предварительного усилителя дополнительно усиливается и фильтруется в требуемом диапазоне частот операционным усилителем DA6.4.

Конструктивно предварительный усилитель выполнен на гибкой печатной плате, что обеспечивает возможность его вибрации вместе с зондом и исключает необходимость применения проводов во входной высокоомной цепи.

Генератор возбуждения колебаний стоит из цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), усилителя, блока управления и блока индикации. В схеме генератора используется ЦАП взвешивающего типа (делитель Кельвина). Блок управления включает переключатели выбора режима и энкодер. Режим работы генератора и частота генерируемого сигнала отображаются на жидкокристаллическом индикаторе *LCD 5110*. Диапазон генерируемых частот, задаваемый энкодером, составляет 1 Гц–8 МГц. Дискретность установки частоты составляет 1 Гц либо 100 Гц, в зависимости от выбранного режима.

Разработанная конструкция дает возможность получить полные характеристики сигнала в реальном масштабе времени, что позволяет значительно ускорить процесс сканирования поверхности малогабаритным зондом Кельвина.

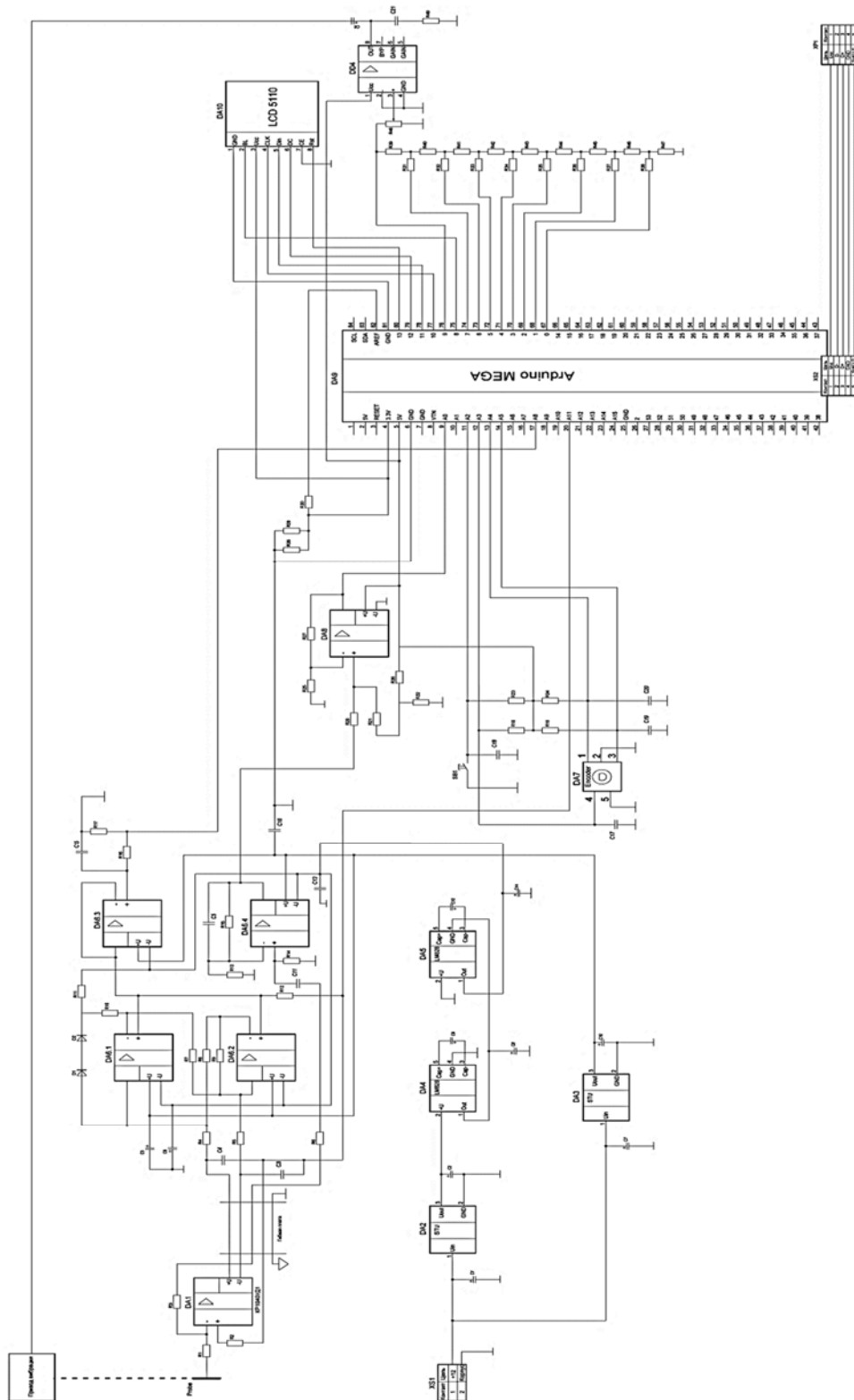


Рисунок – Принципиальная схема цифрового электрометрического преобразователя на базе *Arduino Mega 2560*

Литература

1. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Тявловский А.К., Жарин А.Л. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов. Приборы и методы измерений. 2016;7(2):136–144.

2. Пантелеев К.В., Микитевич В.А., Жарин А.Л. Построение измерителей контактной разности потенциалов. Приборы и методы измерений. 2016;7(1):7–15. <https://doi.org/10.21122/2220-9506-2016-7-1-7-15>.