

На основании лабораторных испытаний были получены графические зависимости (рис. 5), на которых четко видны моменты попадания в контролируемую область посторонних металлических (ферромагнитных) предметов.

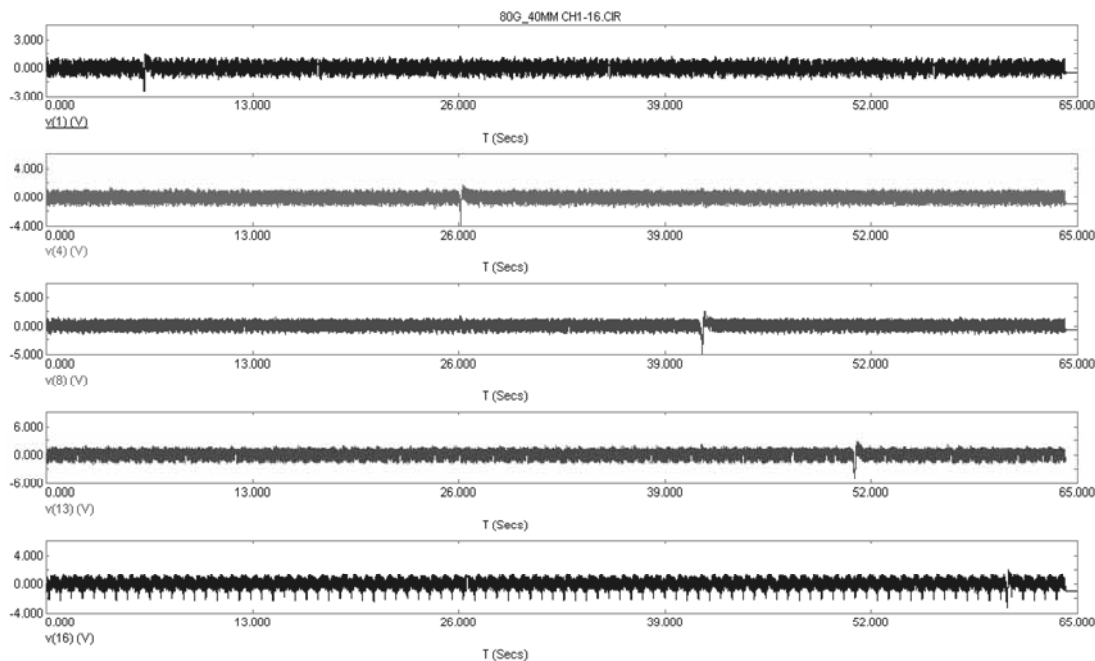


Рис. 5. Графическое отображение данных, поступающих с датчика металлодетектора

Использование металлодетектора на элементах Холла позволяет:

- увеличить чувствительность прибора по всей области контроля;
- повысить избирательность устройства.

### **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ**

**И. А. Ананчиков, А. И. Свистун**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель К. Л. Тявловский

Метрологические параметры приборов измерения концентрации водных растворов в основном определяются характеристиками измерительного преобразователя. Предприятия, устанавливающие приборы контроля параметров жидких технологических сред типа ИКР для управления параметрами технологических процессов, часто требуют изменения функциональных возможностей приборов применительно к конкретным особенностям технологического процесса. Обычно это заключается в необходимости изменения типа контролируемых растворов. Такая необходимость возникает также и на одном и том же предприятии в ходе совершенствования технологического процесса при переходе на новые более экономичные и экологически совместимые типы растворов. Приборы типа ИКР, производимые в Беларуси, оснащаются измерительными преобразователями, построенными на основе интегральных схем средней степени интеграции по принципу «жесткой логики». При адаптации

измерительного преобразователя к новым типам растворов, по отношению к базовому составу типов растворов, требуется изменение электрической схемы измерительного преобразователя и введение дополнительных операций настройки при его изготовлении. Изменение аппаратной части преобразователя требуется производить также при смене типа датчика, например, электродный или индуктивный, и типа температурного датчика системы термокомпенсации.

Устранить перечисленные недостатки позволяет построение схемы измерительного преобразователя на основе микроконтроллера. Переход на схему с использованием программируемого цифрового устройства позволяет также использовать температурные датчики с цифровым интерфейсом. А переход с аналогового интерфейса передачи измерительной информации между измерительным преобразователем и базовым блоком ИКР позволит не только уменьшить погрешность измерения, но и расширить функциональные возможности прибора за счет введения контроля дополнительного параметра – температуры контролируемого раствора, обеспечения возможности передачи в измерительный преобразователь от базового блока дополнительных управляющих сигналов, введения режима самодиагностики. Существенно, что линия связи между измерительным преобразователем и базовым блоком должна содержать теперь меньшее число проводов.

Измерительный преобразователь обеспечивает формирование измерительного сигнала при использовании двухэлектродных и индуктивных чувствительных элементов в диапазоне концентраций моющих растворов 0,01...2,55 % кислоты ( $\text{HNO}_3$ ), щелочи ( $\text{NaOH}$ ), «Вимола» и других моющих растворов, а также пищевых продуктов, например, молока – в диапазоне 5...100 % массовых долей продукта в воде. В измерительном преобразователе используется комбинированный способ преобразования проводимости контролируемого раствора при возбуждении чувствительного элемента током или напряжением частотой около 8 кГц. Линеаризация функции преобразования обеспечивается методом табличной коррекции.

Для построения схемы измерительного преобразователя выбраны микроконтроллеры типа AVR (Atmel). Основу схемы измерительного преобразователя составляет микроконтроллер типа ATMEGA8535. На таком же контроллере выполнен базовый блок прибора ИКР, который реализует основные функции управления, индикацию результата преобразования, выработку сигналов управления по достижению значений концентрации и температуры какого-либо заранее установленного порогового значения.

Выполнение микроконтроллером множества функций по обработке и передаче измерительной информации не позволяет реализовать генератор возбуждения датчика на базе этого же микроконтроллера. Генератор реализован на более простом микроконтроллере AVR90S2313 и ЦАП типа AD7524. Используется табличный способ формирования мгновенных значений сигнала. При этом амплитуда генерируемых колебаний задается источником опорного напряжения постоянного тока, подключенного к входу опорного напряжения микросхемы ЦАП. Используемые схемотехнические решения позволяют получить напряжение любой заранее заданной формы, оптимальной для выбранного режима датчика, с погрешностью, определяемой только шумами квантования используемого ЦАП и кварцевого резонатора. При необходимости форма генерируемых колебаний может быть оперативно изменена по команде базового блока ИКР для оптимизации режима работы датчика применительно к конкретному типу раствора.

Микроконтроллер ATMEGA8535 содержит мультиплексированный 10-разрядный АЦП. Это позволяет производить преобразование в цифровой код сигнала не только датчика концентрации, но и температурного датчика с аналоговым выходом. В то же

время, использование микроконтроллера позволяет применять датчики температуры с цифровым выходом, например, с  $I^2C$  или 1-Wire интерфейсом.

Измерительный преобразователь концентрации растворов электролитов выполнен по схеме прямого преобразования. Модель кондуктометрического измерительного преобразователя кондуктометра, представленная его структурной схемой, изображена на рис. 1.

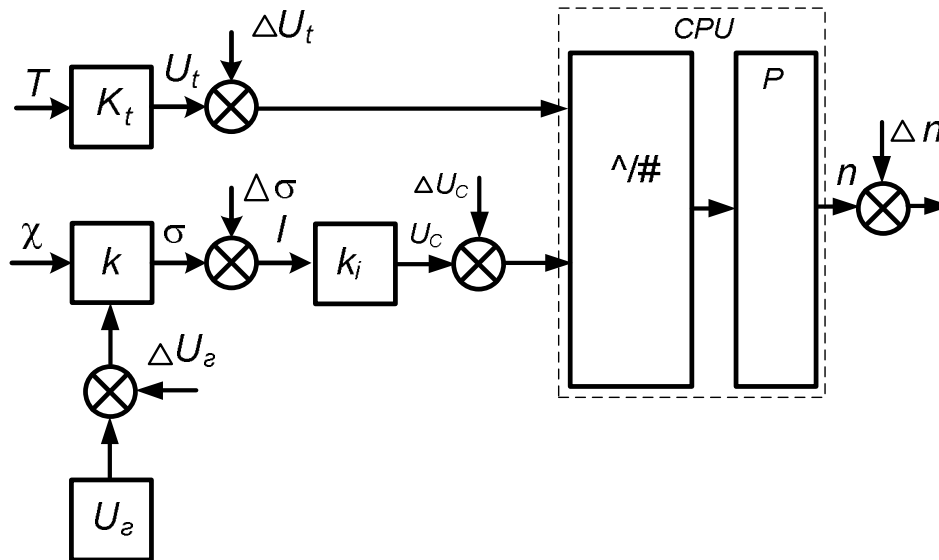


Рис. 1. Метрологическая схема измерения концентрации раствора

В соответствии с принятой моделью объекта измерений, входными сигналами в данной схеме будут являться удельная электрическая проводимость раствора  $\chi$  и его температура  $T$ . Кондуктометрическая ячейка, имеющая постоянную  $k$ , преобразует удельную электрическую проводимость  $\chi$  в абсолютную проводимость среды  $\sigma$  между электродами ячейки. При этом за счет погрешностей изготовления ячейки в результат преобразования вносится мультипликативная погрешность  $\Delta \sigma = \delta_\sigma \cdot \sigma$ . Выходным сигналом кондуктометрической ячейки является сила тока  $I$ , определяемая как произведение проводимости  $\sigma$  на напряжение возбуждающего генератора  $U_2$ . Третьим звеном схемы является преобразователь ток-напряжение  $K_i$ , выходной сигнал которого представляет собой напряжение  $U_c$ , пропорциональное проводимости раствора. При этом в результат преобразования вносится погрешность  $\Delta U_c$ , связанная с погрешностью настройки коэффициента преобразования, дрейфом нуля и шумами преобразователя.

При использовании индуктивного датчика первичная обмотка генерирует переменное магнитное поле, которое наводит электрическое напряжение в растворе электролита. Ионы, присутствующие в растворе, приводят к появлению электрического тока, величина которого увеличивается с увеличением количества ионов в растворе. Ток в растворе приводит к появлению переменного магнитного поля, которое наводит переменное напряжение во вторичной обмотке, используемое для определения значения проводимости. Этот измерительный принцип имеет следующие достоинства:

- отсутствие электродов и, соответственно, поляризации;
- исключение ошибок измерения в сильнозагрязненной среде, которая имеет тенденцию к образованию осадка.

Из метрологической схемы измерения концентрации раствора при этом исключается преобразователь ток-напряжение  $K_i$  и, соответственно, связанный с ним источник погрешности. Необходимо отметить, что индуктивные датчики наиболее пригодны для измерения концентрации растворов с высокой проводимостью и существенно дороже контактных датчиков.

Измерительные сигналы, пропорциональные проводимости раствора и его температуре, поступают на входы мультиплексированного АЦП микроконтроллера CPU. В вычислительном ядре микроконтроллера  $P$  в результате преобразования  $U_{c,t}$  вносится поправка  $U_t$  на температуру раствора и линейаризация результата преобразования в соответствии с типом раствора и характеристикой датчика. Результат преобразования  $n$  искажается погрешностью работы АЦП, дискретностью представления измеряемой величины цифровым кодом, погрешностью табличного метода линейаризации –  $\Delta n$ .

Обмен данными между измерительным преобразователем и базовым блоком производится по SPI интерфейсу. В базовый блок передаются идентификационный код измерительного преобразователя, код режима, выполняемого преобразователем, цифровые значения концентрации и температуры раствора. Базовый блок может быть подключен к системе управления технологическим процессом через ЭВМ, связь с которым производится по интерфейсу RS-232. Измерительный преобразователь изготавливается в соответствии с требованиями IP-67 и обеспечивает передачу измерительной информации с допустимой погрешностью представления преобразуемых данных до 0,01 % массовой доли концентрации растворов и до 0,5 °C температуры.

Построение схемы измерительного преобразователя на основе программируемых цифровых устройств позволило не только расширить функциональность прибора ИКР, но уменьшить погрешность преобразования. Перенастройка измерительного преобразователя теперь связана не с изменением части электрической схемы, а только с изменением программного кода микроконтроллера. Если заказанные предприятием типы растворов уже были использованы, то переналадка измерительного преобразователя сводится к использованию той или иной подпрограммы, а не замене программного обеспечения.

## ПРОГРАММНЫЙ РАСЧЕТ МНОГОУРОВНЕВЫХ РЕКУРСИВНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ И ПРОВЕРКА ИХ СВОЙСТВ

**В. О. Старостенко**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Руководитель Е. А. Храбров

Среди фазоманипулированных (ФМн) сигналов особое место занимают сигналы, кодовые последовательности которых являются последовательностями максимальной длины или М-последовательностями. Они имеют очень хорошие корреляционные свойства и довольно легко можно реализовать их формирование на основе регистров сдвига. В данный момент в качестве кодовых последовательностей фазоманипулированных сигналов очень широко используются двухуровневые М-последовательности, но из-за низкой структурной скрытности возрастает вероятность несанкционированного доступа к передаваемой информации. Решить эту проблему можно, используя в качестве кодовых последовательностей М-последовательности с основанием больше 2-х (3, 5, 7 и т. д.).

Общая схема сдвигающего регистра, формирующего М-последовательность, представлена на рис. 1.