РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОГО СИГНАЛА НА АКТИВНУЮ И РЕАКТИВНУЮ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

А. В. Дуда, В. С. Афонин, М. Н. Сейдуров
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

В современном сварочном производстве и строительном деле не редко возникает потребность в контроле влажности сыпучих материалов, таких как песок, сварочный флюс и другие. Качество сварных соединений напрямую зависит от состояния используемых сварочных материалов. Перед сваркой производственных стыков ответственного назначения на объектах опасных технических устройств электроды и флюсы должны быть проконтролированы на содержание влаги согласно требованиям нормативной документации в зависимости от их марки и условий хранения. При неудовлетворительных результатах контроля сварочные материалы должны быть прокалены на соответствующих режимах для удаления влаги. Дополнительная операция прокалки повышает трудоемкость процесса изготовления сварной конструкции.

Существующие методы определения влажности флюсов сварочных плавленых, рекомендованные ГОСТ 9087-81, не позволяют осуществить непрерывный контроль всего объема контролируемого материала. Приборы экспресс-анализа часто используют косвенные методы определения влажности. На современном отечественном рынке наиболее широко представлены влагомеры, использующие метод СВЧ и емкостный. Емкостный метод отличаются простотой реализации, и имеет сравнительно невысокую стоимость в сочетании с высокими метрологическими характеристиками.

Указанные сыпучие вещества очень плохо поглощают влагу. В такой ситуации в случае контакта материала с водой, вся влага удерживается на поверхности гранул сыпучего материала или в микротрещинах поверхностным натяжением. В таком случае электрическая проводимость контролируемого образца существенно увеличивается за счет наличия проводящего слоя воды.

Известно что, емкостной первичный преобразователь, вместе с контролируемым веществом, на практике представляет собой не только конденсатор с диэлектрической проницаемостью измеряемого материала, но и включает в себя паразитные сопротивления. Комплексное сопротивление схемы замещения датчика с исследуемым материалом определяется по формуле [1]:

$$Z = \frac{R\dfrac{1}{j\omega C}}{R + \dfrac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{1 + j\omega RC}. \qquad (1)$$

Из формулы 1 видно, что наличие активной составляющей проводимости существенно влияет на результат измерения. Для реализации измерительной мостовой схемы, уравновешивание следует производить с учетом двух параметров: амплитуды сигнала и изменения его фазы. В данном случае более удобно использовать схему с раздельным измерением активной и реактивной составляющих. Дополнительное преимущество такого подхода в том, что информацию о влажности материала будут нести сразу оба параметра: емкость и электрическая проводимость. Следовательно, используя такое решение, можно добиться более точного контроля.

Однако измерительные средства для раздельного измерения составляющих представляют собой достаточно сложные, громоздкие и дорогие приборы, а измерения трудоемкие. Например, ранее была предложена схема, позволяющая проводить раздельно измерение активной и реактивной составляющих [2]. В мостах с индуктивно связанными плечами при уравновешивании изменением только чисел витков нетрудно обеспечить раздельный отчет составляющих комплексного сопротивления. В принципе получить раздельный отсчет активной и реактивной проводимостей можно с помощью цепи, представленной на рисунке 1.

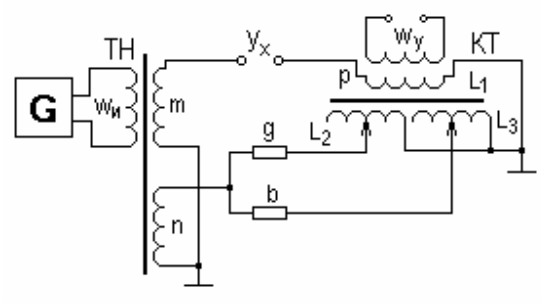

Рисунок 1 – Схема с разделением активной и реактивной составляющих

Неизвестная проводимость Y_x подключается к одной из вторичных обмоток трансформатора. В качестве образцовых, используются элементы с активной g и реактивной b проводимостями, подключаемые к другой вторичной обмотке. Компаратор тока КТ выполнен таким образом, что из магнитного потока L_1 вычитается сумма магнитных потоков обмоток L_2 и L_3. Для уравновешивания моста необходимо, с помощью ползунков обмоток L_2 и L_3, выставить такие токи (активный и реактивный), чтобы вызванный ими магнитный поток компенсировал магнитный поток катушки L_1. Для фиксации равновесия компаратор тока КТ снабжен дополнительной обмоткой W_y [2].

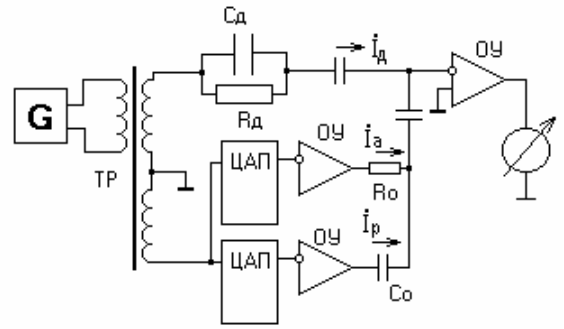

Рисунок 2 – Усовершенствованная схема с разделением активной и реактивной составляющих

Предложенная схема имеет ряд серьезных недостатков, не позволяющих ее использование в современных влагомерах. Операция уравновешивания такого моста требует немало времени, выполнения определенного алгоритма действий и непосредственного участия человека в измерительном процессе. Современные требования к влагомерам обязывают производить измерение автоматически и как можно быстрее. Последнее особенно важно при измерениях влажности сыпучих веществ в потоке. С учетом выше описанных недостатков предложена следующая схема (рисунок 2).

Предложенная схема содержит высокочастотный генератор G, трансформатор ТР с тесной индуктивной связью между вторичными обмотками, включенными встречно (то есть несогласно). Измерительное плечо содержит емкостной первичный преобразователь (датчик с измеряемым веществом), изображенный как емкость $C_д$, и резистор $R_д$, включенные параллельно. В компенсационном плече с помощью микросхемы ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь) можно изменять величины активного и реактивного токов. Как и в оригинальной схеме R_0 и C_0 исполняют роль образцовых элементов. При взаимодействии комплексных токов обоих плеч, результирующий ток поступает в операционный усилитель ОУ, включенный по схеме усилителя тока. Для равновесия моста в идеальном случае, когда коэффициент связи между обмотками равен единице, а активные сопротивления обмоток равны нулю, необходимо, чтобы алгебраическая сумма токов $I_д$, I_a, I_p равнялась нулю, то есть:

$$\bar{I}_д - (\bar{I}_a + \bar{I}_p) = 0, \qquad (2)$$

$$\bar{I}_д = U_г(\frac{1}{R_д} + j\omega C_д), \qquad (3)$$

$$\bar{I}_a = \frac{U_г K_a}{1024 \cdot R_0}, \qquad (4)$$

$$\bar{I}_p = \frac{U_г K_p}{1024} \cdot j\omega C_0. \qquad (5)$$

Таким образом, уравновесив мост, имеем результат измерения в относительных единицах – кодах ЦАП. При желании относительные единицы можно перевести в другие величины: вольты, проценты влажности и так далее, однако в данной работе единицы измерения не имеют значения.

В качестве исследуемого материала был выбран сварочный флюс АН-47. Эксперимент проводился следующим образом: сварочный флюс засыпался в измерительный преобразователь, после чего уравновешивался измерительный мост, результат которого фиксировался. Далее в сварочный флюс добавлялось небольшое количество воды, и проводились повторные измерения. Результат опыта представлен на рисунке 3.

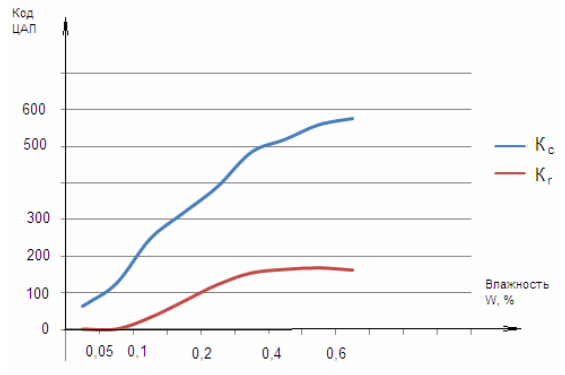

Рисунок 3 – Зависимость активной и реактивной составляющих проводимости от влажности сыпучего материала

Результаты эксперимента подтвердили функционально различное влияние влажности на активную и реактивную составляющие проводимости измерительного преобразователя с контролируемым веществом. Поэтому предложенный подход является более перспективным, так как наличие дополнительных факторов, негативно влияющих на результат измерения, не одинаково для активной и реактивной проводимости. Однако в такой измерительной схеме процедура уравновешивания состоит из нескольких последовательных действий. Для автоматизации такого процесса необходим дополнительный детектор, позволяющий зафиксировать минимальное значение рассогласования мостов. Сложность реализации такого детектора заключается в том, что он должен выполнять свою функцию и не оказывать никакого воздействия на измерительный мост.

В случае реализации прибора для контроля влажности сыпучих материалов с использованием разделения информативного сигнала на активную и реактивную составляющие получим сравнительно простой и недорогой прибор с повышенными метрологическими характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлинер М.А. Измерения влажности. - М.: Энергия. - 1973. - 400 с.
2. Трансформаторные измерительные мосты. / Под ред. К.Б. Карандеева. - М.: Энергия. – 1970. - 280 с.