

преобразования сигналов, блока вычислительной обработки и блока визуализации. Подробно принцип действия измерителя емкости CAP-10 описан в [8]. Прибор реализует измерение значения погонной емкости провода, сравнение текущего значения с предельно допустимыми значениями, осуществляет индикацию результата измерения, а также способен создавать и хранить массив значений емкости провода за заданный промежуток времени. Еще одной важной функцией CAP-10 является обнаружения наличия локальных дефектов в изоляции провода, которые фиксируются по резкому изменению емкости [9].

Первичная настройка CAP-10, проводимая на стадии производства прибора, позволяет осуществить отстройку от влияния изменения электропроводности воды путем подбора коэффициентов функции преобразования значения силы тока в цепи измерительного электрода в значение погонной емкости контролируемого провода.

Для корректировки погрешности измерения прибора CAP-10 непосредственно на технологической линии в охлаждающей ванне предусмотрена «рабочая» настройка, проводимая в автоматизированном режиме. «Рабочая» настройка необходима для исключения систематической составляющей погрешности измерения емкости.

Заводские испытания опытного образца прибора CAP-10, проведенные на заводе АО «Сибкабель», показали стабильность работы в условиях технологического процесса производства провода. Было отмечено соответствие заявленных технических характеристик прибора паспортным данным. Предложенные методики первичной и «рабочих» настроек показали свою состоятельность. Получены положительные отзывы реальных представителя кабельной промышленности России.

Список литературы:

- [1] Starikova N., Redko V., Redko L. and Ermoshin N.// MATEC Web of Conferences. 2016. T. 79. C. 01032. DOI: 10.1051/mateconf/201679010 2016
- [2] Goldshtein A.E., Fedorov, E.M.// Russian Journal of Nondestructive Testin. 2010. T. 46. №. 6, C. 424-430
- [3] Fleming P., Coleman L.R.// US Patent 20030128038 2003 Capacitance monitoring systems
- [4] CAPACITANCE 2000: Capacitance measuring devices for cable production lines. 2016. URL: [http://sikora.net/wp-content/uploads/2016/03/CAPACITANCE\\_2000\\_GB.pdf](http://sikora.net/wp-content/uploads/2016/03/CAPACITANCE_2000_GB.pdf)
- [5] CAPAC®/FFT: Capacitance measurement systems for cable production lines. 2016. URL: [http://www.zumbach.com/pdf/Literature/CAPAC/CAPAC\\_Familie\\_CAPA.002.0002.E.pdf](http://www.zumbach.com/pdf/Literature/CAPAC/CAPAC_Familie_CAPA.002.0002.E.pdf)
- [6] Goldshtein A.E., Vavilova G.V., Mazikov S.V.// J. Phys.: Conf. Ser. 2016. T. 671, C. 012062. doi: 10.1088/1742-6596/671/1/012062
- [7] Goldshtein A.E., Vavilova G.V., Belyankov V.Yu.// Russ. J. Nondestr. Test. 2015. T. 51. № 2, C. 35-43. doi: 10.1134/S1061830915020047
- [8] Гольдштейн А.Е., Вавилова Г.В. // Ползуновский вестник. 2015. № 3. С. 38-42
- [9] Goldshtein A.E., Vavilova G.V., Redko V.V.// RU Patent 2578658. 2016. Method of measurement capacitance of a solid strand electrical wire

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ Т-ОБРАЗНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ТЕРАОММЕТРАХ

*Ермошин Николай Иванович, Якимов Евгений Валерьевич*

*Томский политехнический университет*

*Гольдштейн Александр Ефремович, д.т.н*

[ermoschin.nik@yandex.ru](mailto:ermoschin.nik@yandex.ru)

Широкое распространение получили тераомметры, имеющие схему преобразователя сопротивления в напряжение с обратной шкалой, на основе операционного усилителя (рис.1). Преимущества тераомметров, работающих по данному принципу в том, что они работают при равном нулю синфазном сигнале, обладают хорошей помехоустойчивостью и менее критичны к входному сопротивлению усилителя постоянного напряжения (УПТ) [1].

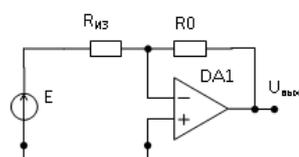


Рис.1. Преобразователь сопротивления в напряжение с обратной шкалой, на основе операционного усилителя: DA1 – УПТ; E – величина ЭДС источника;  $R_{из}$  – измеряемое сопротивление;  $R_0$  – образцовое сопротивление

Выходное напряжение такого преобразователя равно:

$$U_{вых} = -E \cdot \frac{R_0}{R_{из}}, \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что чем больше сопротивление в цепи обратной связи, тем большее сопротивление возможно измерить. Но так как, к погрешности сопротивления обратной связи предъявляются высокие требования, его необходимо выбирать как можно меньшего номинала (менее 1 ГОм). Решить данную проблему позволит применение Т-образной обратной связи (рис.2).

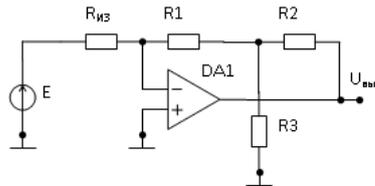


Рис.2. Преобразователь сопротивления в напряжение с Т-образной обратной связью:  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  – сопротивления Т-образной связи

В этом случае для получения устойчивого полезного сигнала потребуются резисторы с меньшими номиналами. Уравнение преобразования для данной схемы описывается выражением [1]:

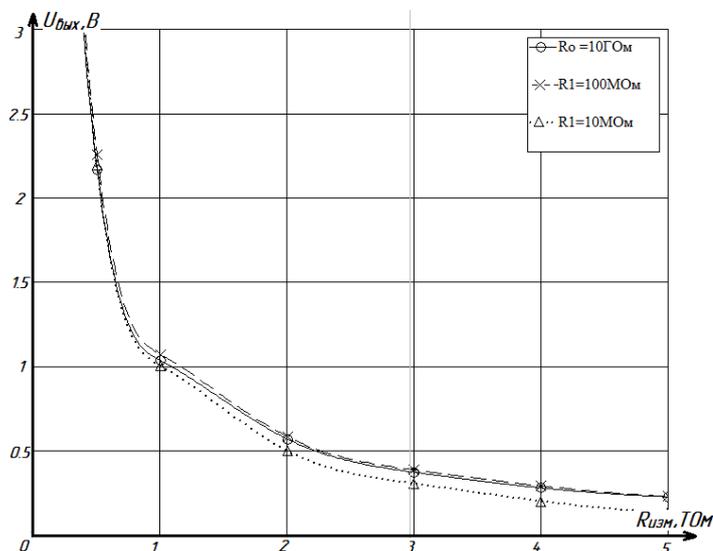
$$U_{вых} = -E \cdot \frac{R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}}{R_{изм}} = -E \frac{R_э}{R_{изм}}, \quad (2)$$

где  $R_э$  – эквивалентное сопротивление обратной связи УПТ.

Было проведено экспериментальное исследование Т-образной обратной связи, а также произведено её моделирование в программе Pspice и выяснено, при каких условиях схема работоспособна. На рис.3 представлена зависимость выходного напряжения от измеряемого сопротивления.

В ходе экспериментов было установлено, что зависимость выходного напряжения преобразователя с Т-образной обратной связью не зависит от сопротивлений  $R_2$  и  $R_3$ . В то время как, изменение номинала сопротивления  $R_1$  оказывает влияние на выходной сигнал. Так, из графика (рис.3) видно, что при  $R_1 = 100$  МОм зависимость идентична зависимости, когда у нас в цепи обратной связи используется образцовое сопротивление  $R_0 = 10$  ГОм. Но при  $R_1 = 10$  МОм выходной сигнал начинает затухать быстрее и появляется большая погрешность измерения. При еще меньших номиналах сопротивления  $R_1$ , преобразователь перестает работать.

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что применение Т-образной обратной связи целесообразно и позволяет уменьшить номинал образцового сопротивления с 10 ГОм до 100 МОм, т.е. в 100 раз.



*Рис.3. Зависимость выходного напряжения от измеряемого сопротивления:  $R_0=10$  ГОм – образцовое сопротивление в цепи обратной связи УПТ;  $R_1=100$  МОм – сопротивление в первом каскаде Т-образной обратной связи ( $R_э=10$  ГОм);  $R_1=10$  МОм – сопротивление в первом каскаде Т-образной обратной связи ( $R_э=10$  ГОм)*

Список литературы:

[1] Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Изд. 2-е. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

*Батранин Андрей Викторович, Стариков Николай Николаевич\**

*Томский политехнический университет*

*Томский государственный университет\**

[batranin@tpu.ru](mailto:batranin@tpu.ru)

Коллекторами углеводородов могут выступать различные горные породы. При разработке новых месторождений структуре и свойствам коллекторов уделяется особое значение, так как это определяет целесообразность самой разработки. Основными свойствами коллекторов с точки зрения добычи нефти и газа являются пористость и проницаемость. Пористость определяет емкость породы, а проницаемость – способность к фильтрации углеводородов. Пористость коллекторов в общем случае обусловлена наличием ряда несплошностей: пор, трещин и каверн. Проницаемость, в свою очередь, определяется тем, насколько несплошности связаны между собой [1].

Наряду с традиционными методами определения пористости и проницаемости коллекторов в последнее время начинают использовать метод рентгеновской компьютерной томографии [2]. Основными привлекательными особенностями томографии являются ее неинвазивность и высокая информативность. Томография, как неразрушающий метод исследования, сохраняет образцы для дальнейших испытаний и может выступать в качестве экспресс-метода для получения предварительных результатов. Информативность метода заключается в том, что после томографии исследователь имеет информацию о внутренней объемной структуре образца. На томограмме хорошо различимы области, отличающиеся по плотности. Таким образом, несплошности будут проявляться на фоне матрицы. Кроме этого, будут хорошо заметны более плотные включения.

Однако томография имеет и свои ограничения. Стандартные керны коллекторных пород представляют собой цилиндры диаметром от 80 до 100 мм. Физическая плотность пород колеблется от 2 до 4 кг/м<sup>3</sup>. Для исследования образцов таких размеров и плотности необходимо обеспечить достаточную мощность рентгеновского излучения, которая будет складываться из двух основных факторов: средней энергии рентгеновских квантов и дозы излучения. Немаловажным фактором выступает пространственное разрешение, обеспечиваемое на полученных томографических снимках. При недостаточном разрешении несплошности могут не проявиться на снимках, и информативность резко снизится.

В данной работе проведены исследования нескольких кернов, полученных с нового месторождения. Диаметр кернов составляет 80 мм. Томографические данные были получены на двух установках, отличающихся по основным параметрам. Установка №1 представляет собой промышленный томограф, оснащенный мощным рентгеновским аппаратом с ускоряющим напряжением до 450 кВ и электрической мощностью до 500 Вт. Размер фокусного пятна аппарата – 0,4 мм. На установке №1 были проведены исследования при различном ускоряющем напряжении с целью поиска наилучшего режима для изучаемых образцов. Установка №2 представляет собой лабораторный томограф с микрофокусным рентгеновским аппаратом. Ускоряющее напряжение – до 150 кВ, электрическая мощность до 4 Вт, размер фокусного пятна – около 1 мкм.

Установка №1 обеспечивает большие дозы излучения при относительно невысоком пространственном разрешении. Установка №2, напротив, обеспечивает высокое пространственное разрешение, но при этом дозовая нагрузка ниже на два порядка в сравнении с первой. Эксперимент показал, что для выбранных образцов критичным является уровень дозовой нагрузки, а не размер фокусного пятна рентгеновского аппарата.