

УДК 621.3.08

КОНТРОЛЬ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ОДНОЖИЛЬНОГО КАБЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА (IN-PROCESS CONTROL OF CAPACITANCE PER UNIT LENGTH FOR SINGLE CORE ELECTRICAL CABLES)

А.Е. Гольдштейн, Г.В. Вавилова
A.E. Goldstein, G.V. Vavilova

Национальный исследовательский томский политехнический университет
E-mail: wgw@tpu.ru

Описана техническая реализация метода измерения погонной емкости одножильного кабеля в процессе производства. Проанализировано влияние изменения электропроводности воды на результаты измерения. Предложены способы отстройки от влияния этого изменения на результаты контроля. (Technical in-process implementation of the method to measure of the capacitance per unit length of single core cable is described. The impact of changes in water conductivity on measurement results is analyzed. Techniques to offset from the impact of changes in water conductivity on the results of the electrical capacitance per unit length control are proposed.)

Ключевые слова:

Погонная емкость кабеля, электроемкостной измерительный преобразователь, отстройка от влияния электропроводности.

(Cable electrical capacitance per unit length, electrocapacitive measuring transducer, offset from the impact of changes in water conductivity.)

Для контроля емкости кабеля в процессе его производства используется метод, заключающийся в создании гармонического электрического поля между участком поверхности изоляции кабеля и заземленной жилой с помощью помещенного в воду трубчатого измерительного электрода и измерения силы тока, протекающего через измерительный электрод, по значению которой судят о значении погонной емкости [1]. При таком способе можно контролировать емкости по всей длине кабеля.

Конструкция используемого для реализации описанного метода контроля электроемкостного измерительного преобразователя (ЭЕИП) и схема его включения в измерительную цепь показана на рисунке 1. ЭЕИП состоит из цилиндрического металлического корпуса 1, трубчатого измерительного электрода 2, двух дополнительных трубчатых электродов 3. Измерительный и дополнительные электроды изолированы от корпуса изоляционным материалом 4. Внутри трубчатых электродов пропускается контролируемый кабель 5. Трубчатые электроды соединены с генератором 6 переменного напряжения \dot{U} частотой ω . Жила кабеля и корпус преобразователя заземляются. Преобразователь вместе с находящимся в нем участком контролируемого провода находится в воде, а точнее в водном электропроводящем растворе имеющихся в технической воде солей, кислот и оснований.

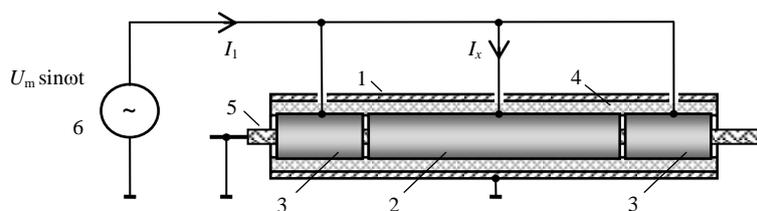


Рис.1. Конструкция и схема включения ЭЕИП:

1 – корпус преобразователя; 2 – измерительный электрод;
3 – дополнительные электроды; 4 – диэлектрик; 5 – кабель; 6 – генератор.

Целью данной работы является определение функции преобразования ЭЕИП и исследование влияния на нее изменения электропроводности воды.

Для исследования были использованы образцы одножильных кабелей с наружным диаметром до 4 мм со значениями погонной емкости в интервале от 180 пФ/м до 460 пФ/м и близкими значениями сопротивления изоляции. Действительное значение погонной емкости кабеля определялось в соответствии с ГОСТ 27893-88 [2]. Моделирование изменения удельной электропроводности водного раствора производилось путем растворения поваренной соли NaCl в изначально пресной воде, что обеспечивало изменение концентрации соли λ в диапазоне (0...4) г/л. В процессе эксперимента амплитуда переменного напряжения и температура раствора поддерживались постоянными.

Полученные в результате эксперимента годографы относительного значения тока i^* от изменения погонной емкости кабеля C_n (сплошные линии) и весовой концентрации соли λ (пунктирные линии) приведены на рисунке 2. Значение тока для случая отсутствия кабеля в преобразователе ($C_n = 0$) и $\lambda \rightarrow 0$ (дистиллированная вода) принималось в качестве нормирующего.

Амплитуду тока i^* , линейно возрастающую при увеличении погонной емкости кабеля, целесообразно использовать как информативный параметр выходного сигнала ЭЕИП. Изменение весовой концентрации соли вызывает изменение амплитуды тока от 10 % для больших значений C_n до 20 % для малых значений. Соответственно без учета влияющих факторов при измерении погонной емкости будет присутствовать столь же высокая погрешность измерения.

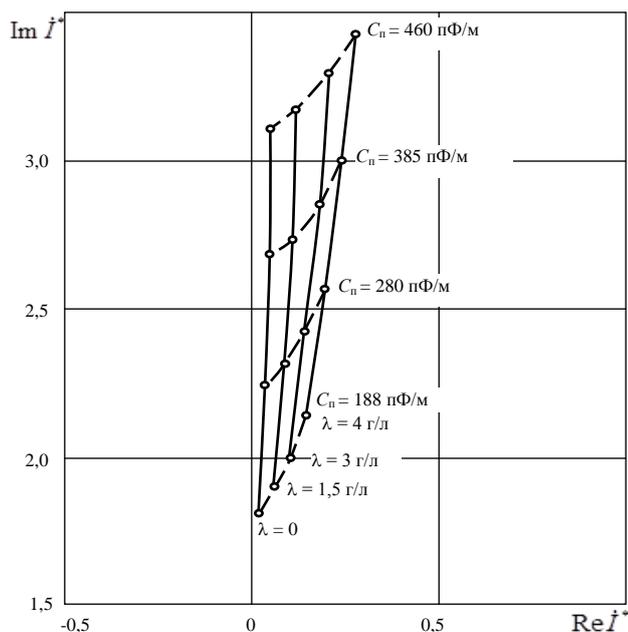


Рис. 2. Годографы сигнала электроемкостного преобразователя от изменения погонной емкости электрического кабеля C_n и весовой концентрации соли λ

Для определения величины погонной емкости кабеля C_n может быть использована линейная функция преобразования вида:

$$C_n = C_{01}(\lambda) + k_1(\lambda) \cdot I^*, \quad (1)$$

где $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$ – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, являющиеся функциями концентрации соли в воде и описываемые полиномами второй степени, коэффициенты которых определяются конструктивными параметрами конкретного электроемкостного преобразователя. Значение весовой концентрации соли в данной работе определены на основе косвенных измерений солености воды.

С возрастанием концентрации соли в воде возрастает фазовый угол φ между вектором

тока \dot{I}^* и мнимой осью комплексной плоскости и соответственно возрастает отношение $t = \text{Re } \dot{I}^* / \text{Im } \dot{I}^*$, равное $\text{tg } \varphi$. А также возрастает значение тока I_1 генератора, нагрузкой которого являются все электроды измерительного преобразователя (рисунок 1). Обе эти величины можно использовать для получения уравнения обратного преобразования значения амплитуды тока \dot{I}^* в значение погонной емкости.

Для первого случая в уравнение (1) коэффициенты $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$ заменяются $C_{02}(t)$ и $k_2(t)$ - функциями величины t , отражающей электропроводность воды. Оценка эффективности этого способа отстройки показывает, что значения погонной емкости отличается от действительных значений емкости не более чем на 2,5 %.

Если в процессе контроля изменение фазы измеряемого тока происходит не только при изменения электропроводности воды, но и при изменении соотношения электрических параметров провода C_x и R_x , то описанный метод отстройки неэффективен. В этом случаи в качестве информативного параметра используется значение тока I_1 генератора и коэффициенты $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$ заменяются $C_{03}(I_1)$ и $k_3(I_1)$, являющимися функциями величины I_1 , отражающей электропроводность воды.

Таким образом, показано, изменение удельной электропроводности воды оказывает существенное влияние на результаты контроля погонной емкости кабеля. Предложены методы отстройки от влияния указанных факторов на результаты контроля, основанные на косвенном измерении удельной электропроводности и введении соответствующей поправки в функцию преобразования. Показано, что использование данных методов отстройки позволяет многократно повысить точность контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн А.Е., Вавилова Г.В., Белянков В.Ю. Электроемкостный измерительный преобразователь для технологического контроля погонной емкости электрического кабеля в процессе производства – Дефектоскопия, 2015, № 2, с. 35–43.
2. ГОСТ 27893–88 (СТ СЭВ 1101–87). Кабели связи. Методы испытаний.– М.: Изд-во стандартов, 1989.– 26 с.

Сведения об авторах:

Гольдштейн А.Е.: д.т.н., зав. кафедрой Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета.

Вавилова Г.В.: аспирант кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета.