

УМЕНЬШЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СОЛЕЙ В ВОДЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВАННЫ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ

Григорьев М.Г., Бабич Л.Н., Вавилова Г.В.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, Томск, пр. Ленина, 30), e-mail: Mishatpu@mail.ru

Емкость кабеля на единицу длины и связанное с ней волновое сопротивление относятся к основным характеристикам ряда кабельных изделий, таких как кабели связи, кабели измерительной техники или радиочастотных кабелей. Емкость на единицу значения длины определяется необходимыми стандартами для соответствующих типов кабелей. В данном исследовании описывается техническая реализация электрического метода измерения погонной емкости на единицу длины электрического кабеля непосредственно на производственной линии. Также показано, что изменение удельной электропроводности воды, в которую погружают измеритель емкости, оказывает довольно существенное влияние на выходные данные в процессе контроля емкости кабеля на единицу длины. Также, в работе предлагается способ коррекции воздействия от изменения электропроводности воды на результат контроля.

Ключевые слова: кабель, погонная емкость, электропроводность воды.

DETERMINATION OF COOLANT SALT CONTENT INFLUENCE EFFECT AT THE MEASUREMENT RESULT OF CABLE LINEAR CAPACITY

Grigoriev M.G., Babich L.N., Vavilova G.V.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30), e-mail: Mishatpu@mail.ru

Linear capacitance and related wave resistance refer to the main characteristics of a number of cable products, such as communication cables, control cables or radio-frequency cables. The capacitance per unit length value is regulated by the standards for appropriate types of cables. This study describes the technical implementation of the electrical method of measuring of the capacitance per unit length of the electric cable directly on the production line. It is shown that the change in specific electrical conductivity of water, which a capacitance transducer is dipped into, has a significant impact on the outcome of in-process control of cable capacitance per unit length. A method of offset from the impact of this measurement on the control results is suggested.

Keywords: cable, linear capacitance, electrical conductivity of water.

Одним из важнейших параметров кабелей связи, определяющим качество передачи информации, является его емкость. Значение погонной емкости нормируется стандартами на соответствующие виды кабелей [2].

Кабель представляет собой цилиндрический конденсатор, одной обкладкой которого является токопроводящая жила, а второй – металлическая оболочка. Емкость кабеля рассчитывается по формуле [1, 5]:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_r \varepsilon_0 \cdot l}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

где ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость изоляционного материала;

ε_0 – постоянная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;

l – длина кабеля, м;

R_2 – диаметр внешнего проводника, мм;

R_1 – диаметр внутреннего проводника, мм.

ГОСТ 27893-88 [3] регламентирует порядок проведения выходного контроля, но тогда нет возможности контролировать емкость по всей длине кабеля. Чтобы устранить этот недостаток, лучше измерять емкость непосредственно в процессе производства, на стадии нанесения изоляции.

На выходе из экструдера кабель ещё не имеет второго электрода. В качестве этого электрода можно использовать воду охлаждающей ванны, в которую помещается кабель сразу после нанесения изоляции.

Для измерения емкости кабеля используется измерительная трубка, внутри которой находится контролируемый кабель. Воздушный зазор между кабелем и внутренней поверхностью измерительной трубки заполняется водой, создавая электрический контакт между измеряемой трубкой и оболочкой кабеля.

Этот метод контроля широко используют зарубежные фирмы, выпускающие приборы контроля для кабельной промышленности: Sikora, Zumbach, Proton Products.

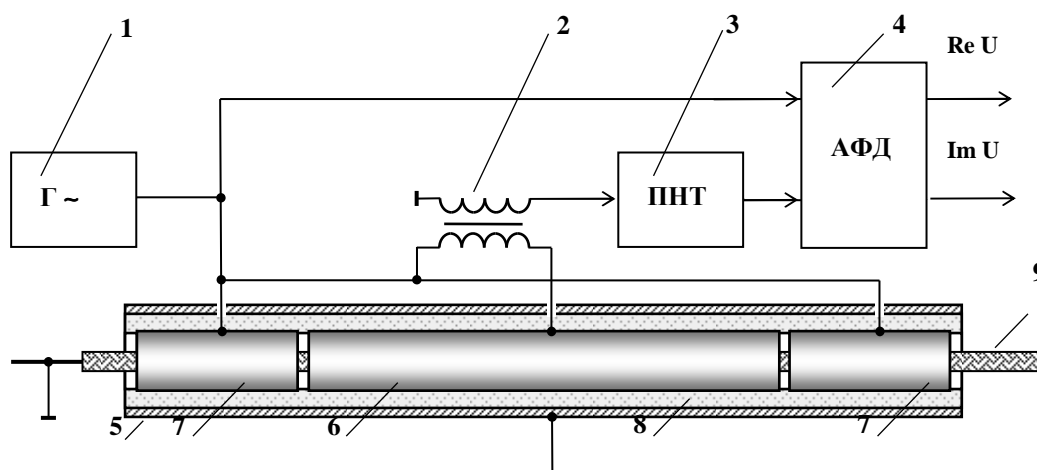


Рис. 1. Структурная схема измерителя емкости:

- 1 – генератор; 2 – трансформатор тока; 3 – преобразователь ток-напряжение;
- 4 – амплитудно-фазовый детектор; 5 – корпус преобразователя;
- 6 – измерительный электрод; 7 – дополнительные электроды;
- 8 – диэлектрик; 9 – кабель

Цель работы

Выявление зависимости результата измерения погонной емкости описанным методом от изменения электропроводности воды в охлаждающей ванне; оценить эффективность одного из способов уменьшения этой зависимости.

На рисунке 1 приведена структурная схема измерителя погонной емкости. Измеритель емкости состоит из следующих блоков: генератора напряжения синусоидальной формы 1, трансформатора тока 2, преобразователя ток-напряжение 3, амплитудно-фазового детектора 4 и измерительного преобразователя. Составными элементами преобразователя [4] являются цилиндрический металлический корпус 5, трубчатый измерительный электрод 6, два дополнительных трубчатых электрода 7. Измерительный и дополнительные электроды изолированы от корпуса слоем диэлектрика 8. Контролируемый кабель 9 проходит через трубчатые электроды преобразователя. Дополнительные электроды используются для обеспечения однородности электрического поля на краях измерительного электрода. Электропроводящая жила кабеля и корпус преобразователя заземляются. Трубчатые электроды подключаются к генератору 1 переменного напряжения, имеющему угловую частоту ω . Измерение силы тока в электрической цепи измерительного электрода осуществляется при помощи трансформатора тока 2. Преобразователь вместе с находящимся в нем участком контролируемого кабеля находится в воде, а точнее в водном электропроводящем растворе имеющихся в технической воде солей, кислот и оснований.

Схема замещения электрической цепи показана на рисунке 2.

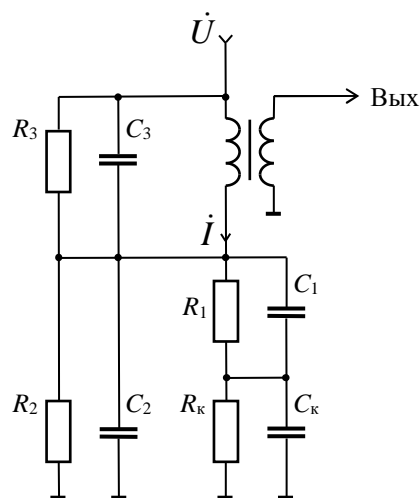


Рис. 2. Схема замещения электрической цепи измерительного электрода

Здесь C_k и R_k – емкость и активное сопротивление участка контролируемого кабеля, которые находятся во взаимодействии с электрическим полем измерительного электрода;

C_1 и R_1 – емкость и активное сопротивление между измерительным электродом и диэлектрической оболочкой кабеля;

C_2 и R_2 – емкость и активное сопротивление между измерительным электродом и землей (корпусом преобразователя и стенками охлаждающей ванны);

C_3 и R_3 – емкость и активное сопротивление между измерительным и дополнительными электродами.

Исходя из вышеприведенной схемой замещения измеряемая сила тока с использованием трансформатора тока является функцией не только переменного напряжения и величин C_k и R_k , определяющих параметры комплексного емкостного сопротивления контролируемого участка кабеля, но и величин $C_1, R_1, C_2, R_2, C_3, R_3$. Следует отметить, что указанные величины, влияющие на результат измерения, и главным образом активные сопротивления R_1, R_2, R_3 , в значительной мере зависят от удельной электропроводности водного раствора.

Исследование влияния электропроводности воды

Электрическая проводимость воды зависит в основном от степени концентрации растворенных солей и температуры. Изменение удельной электрической проводимости воды может происходить при изменении концентрации какой-либо примеси, химического состава и при изменении температуры воды. Для отстройки от влияния всех перечисленных факторов применимы одинаковые методы.

Изменение удельной электрической проводимости воды производилось растворением в пресной воде поваренной соли NaCl, что давало изменение солености воды в диапазоне (0...2,5) ‰. Температура раствора и амплитуда переменного напряжения в процессе эксперимента поддерживались постоянными.

Для исследования влияния изменения удельной электропроводности воды на результаты измерения емкости электрического кабеля были использованы образцы одножильных кабелей с разной погонной емкостью от 160 пФ/м до 460 пФ/м с близкими значениями активной составляющей комплексного сопротивления. Действительное значение погонной емкости измерялся методом, регламентированным в ГОСТ 27893-88.

Полученные в результате эксперимента годографы относительного значения тока от I^* изменения погонной емкости кабеля C и солености воды λ приведены на рисунке 3. Отсутствие кабеля в преобразователе соответствует значению погонной емкости $C = 0$. В качестве нормирующего значения силы тока принималось значение для случая $C = 0$ и $\lambda \rightarrow 0$.

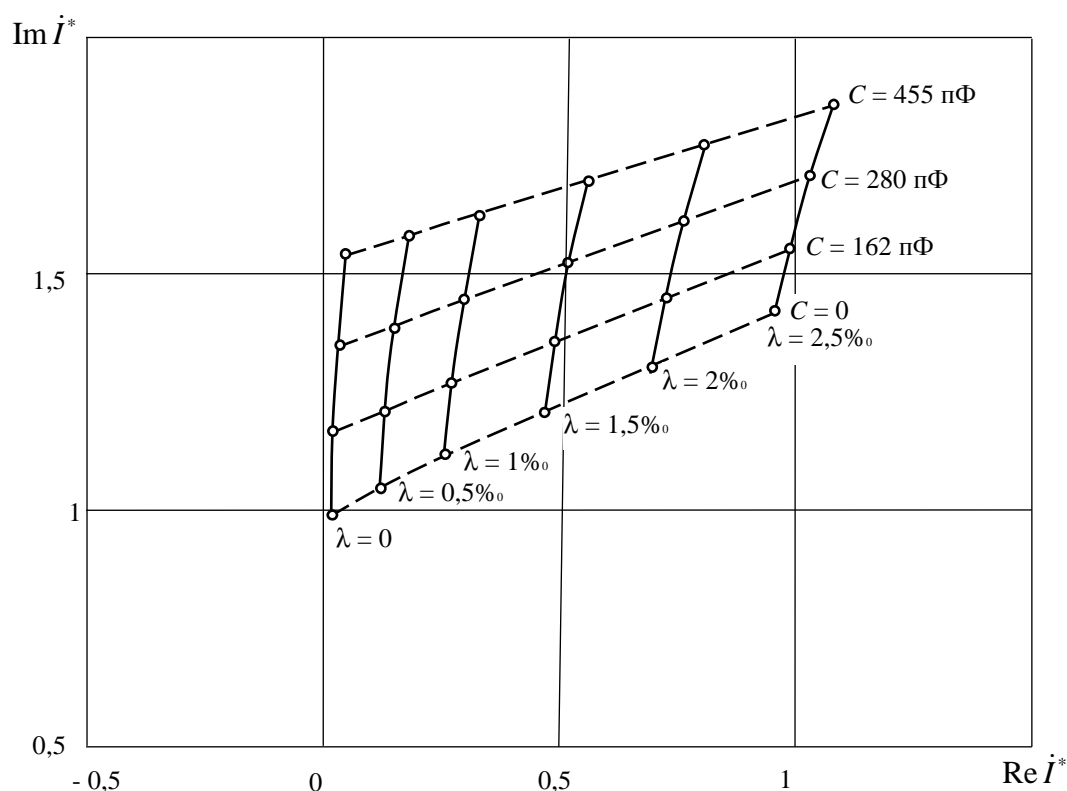


Рис. 3. Годографы сигнала электроемкостного преобразователя от изменения погонной емкости электрического кабеля C и солёности воды λ

Анализ зависимостей (рисунок 3) показывает, что в качестве информативного параметра выходного сигнала электроемкостного преобразователя при измерении погонной емкости кабеля целесообразно использовать амплитуду тока I^* , линейно возрастающую при увеличении погонной емкости кабеля.

Изменение электропроводности воды за счет изменения концентрации соли приводит к значительному увеличению амплитуды тока: от 35 % для больших значений емкости до 70 % для малых значений. Соответственно измерение погонной емкости без учета влияния электропроводности воды приведет к значительной погрешности результата измерения.

На рисунке 4 приведены зависимости измеренного амплитудного значения тока I^* от погонной емкости кабеля при различной весовой концентрации соли в воде, полученные опытным путем. На основе анализа этих данных можно найти функцию обратного преобразования значения тока в значение погонной емкости кабеля с учетом влияния электропроводности воды.

Анализ результатов, представленных на рисунке 4, показывает, что для определения погонной емкости можно использовать следующую линейную функцию преобразования вида

$$C = C_{01}(\lambda) + K_1(\lambda) \cdot I^*, \quad (1)$$

где $C_{01}(\lambda)$ и $K_1(\lambda)$ – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, являющиеся функциями солёности воды.

Функции $C_{01}(\lambda)$ и $K_1(\lambda)$ с достаточной степенью точности описываются полиномами второй степени, коэффициенты которых определяются конструктивными параметрами конкретного электроёмкостного преобразователя.

Значение солёности воды, необходимое для определения значений функций $C_{01}(\lambda)$ и $K_1(\lambda)$, может быть определено прямыми и косвенными измерениями. В данной работе исследован способ отстройки от влияния на результаты изменения солёности воды на основе косвенных измерений.

С возрастанием электропроводности (солёности) воды постепенно возрастает фазовый угол φ между вектором тока I^* и мнимой осью комплексной плоскости и, соответственно, возрастает отношение $t = \text{Re } I^* / \text{Im } I^*$, равное $\text{tg } \varphi$ (рис. 2). Это дает возможность использовать результаты измерения комплексных составляющих тока I^* для отстройки от изменения солёности воды.

По аналогии с (1) уравнение обратного преобразования значения амплитуды тока в значение погонной ёмкости описывается линейной зависимостью

$$C = C_{02}(\lambda) + K_2(\lambda) \cdot I^*, \quad (2)$$

где $C_{02}(\lambda)$ и $K_2(\lambda)$ постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, являющиеся функциями, отражающими электропроводность (солёность) воды.

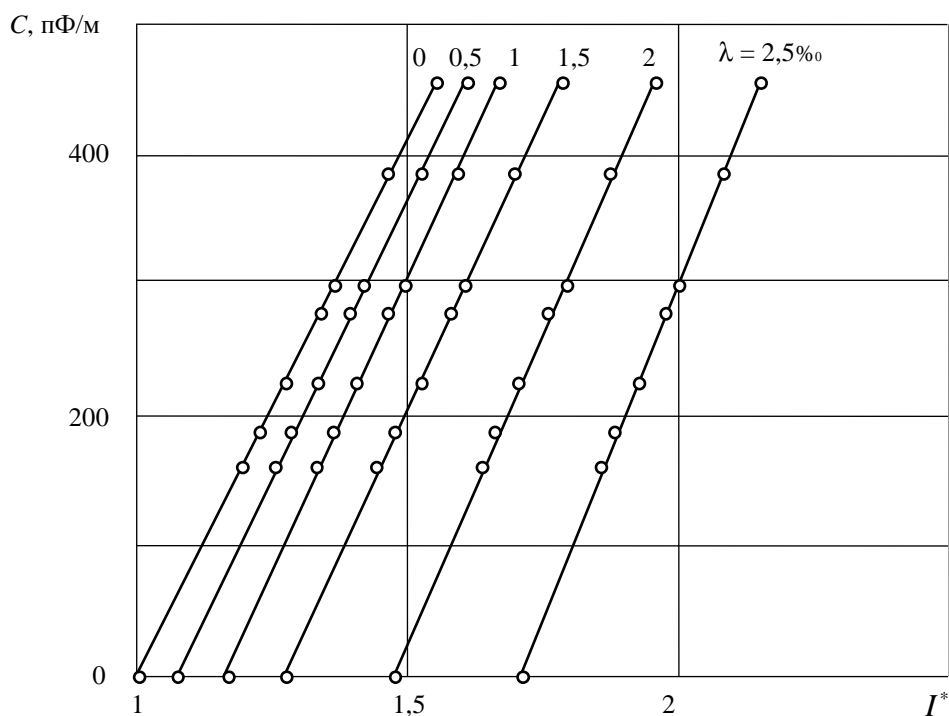


Рис. 4. Зависимость относительного амплитудного значения тока I^* от погонной емкости кабеля C и солёности воды λ

Функции $C_{02}(\lambda)$ и $K_2(\lambda)$ так же, как и функции $C_{01}(\lambda)$ и $K_1(\lambda)$, с достаточной степенью приближения могут быть описаны полиномами второй степени, коэффициенты которых определяются конструктивными параметрами используемого электроемкостного преобразователя.

Численный эксперимент по обработке массива эмпирических данных, полученных для одножильных кабелей со значением погонной емкости в диапазоне (160...460)пФ/м при изменении солёности воды в диапазоне (0...2,5)% показал отличие рассчитанных по формуле (2) значений погонной емкости от действительных значений не более чем на 5 %.

При уменьшении диапазона изменения электропроводности воды указанная погрешность измерения погонной емкости может быть кратно уменьшена.

Заключение

Таким образом, показано, что изменение удельной электропроводности воды, в которую погружен электроемкостной преобразователь, оказывает существенное влияние на результат технологического контроля погонной емкости кабеля. Изменение удельной электропроводности воды может быть следствием изменения ее солёности, температуры или химического состава примесей. Предложен способ отстройки от влияния указанных факторов на результаты контроля, основанный на косвенном измерении удельной электропроводности и введении соответствующей поправки в функцию преобразования. Показано, что предложенный способ отстройки позволяет уменьшить погрешность измерения в несколько раз.

Список литературы

1. Абрамов К. К. Расчет электрических емкостей многожильного кабеля с комбинированной изоляцией // Наука и техника. – 2009. – № 3. – С. 3–7.
2. ГОСТ 11326.0–78. Кабели радиочастотные. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 1981–01–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
3. ГОСТ 27893-88 Кабель связи. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 1990–01–01. – М. : СТАНДАРТТНФОРМ, 2010.
4. Миляев Д.В., Вавилова Г.В., Шкляр Е.И. Исследование первичного преобразователя измерителя емкости кабеля // Ползуновский вестник. – 2012. – №.2/1. – С. 168–170.
5. Теоретические основы электрических кабелей [Электронный ресурс]: URL: <http://proelectro.ru/lib/kabel/3.html>

Рецензенты:

Агафонников В.Ф., д.т.н., профессор кафедры конструирования узлов и деталей РЭС
Томского университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск;

Ким В.Л., д.т.н., профессор кафедры вычислительной техники Национального
исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск.