

РАЗДЕЛ 3. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.3.08

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЕМКОСТИ САР-10.1

С.В. Мазиков, Г.В. Вавилова

Показаны функциональные возможности измерителя емкости САР-10.1, представлен его внешний вид. Предложена методика проведения первичной настройки измерителя емкости, заключающаяся в подборе коэффициентов функции преобразования сигнала измерительной информации в значение погонной емкости провода. Также предложена методика «рабочей» настройки, позволяющая, в случае необходимости, скорректировать результат измерения путем исключения систематической погрешности измерения. Для проведения первичной и «рабочей» настроек используются заранее подготовленные контрольные образцы провода с известным действительным значением погонной емкости.

Ключевые слова: первичная настройка, калибровка, рабочая настройка.

ВВЕДЕНИЕ

Измеритель емкости САР-10.1 предназначен для контроля емкости электрического провода непосредственно в процессе производства на стадии нанесения изоляции на токопроводящую жилу. Объектом контроля являются одножильный провод с наружным диаметром изоляции (0,5...12) мм и значением погонной емкости (50...500) пФ/м.

САР-10.1 обеспечивает измерение емкости с максимально допустимой погрешностью 2,5 % от номинального значения погонной емкости провода в условиях значительного изменения электропроводности воды, эквивалентной изменению концентрации NaCl в диапазоне (0...4) г/л.

САР-10.1 способен измерять текущее значение погонной емкости провода, осуществлять индикацию результата измерения и сравнение измеренного значения с предельно допустимыми значениями емкости [1]. В случае отклонения текущего значения емкости провода от допустимого значения производится световая и звуковая сигнализация.

Внешний вид измерителя емкости САР-10.1, состоящего из электроемкостного измерительного преобразователя (ЭЕИП) и пульта отображения информации и допускового контроля БИ-1, представлен на рисунке Рисунок 1.

Принцип действия измерителя емкости основан на измерении силы тока, по значению которой при известных амплитуде и час-

тоте приложенного напряжения можно судить о значении емкости провода.

Для реализации предложенного метода используется единственно возможный вариант [2, 3] реализации измерительного преобразователя, основанный на применении трубчатого электрода, погружаемого вместе с контролируемым проводом в охлаждающую ванну экструзионной линии, в которую помещается провод сразу после нанесения изоляции. Значение погонной емкости провода определяется по значению силы тока, протекающего через измерительный электрод ЭЕИП при известной амплитуде и частоте приложенного к электроду гармонического напряжения.

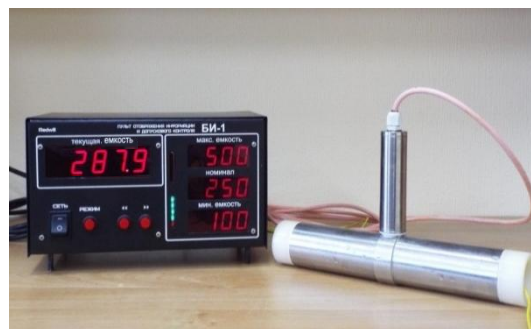


Рисунок 1 – Внешний вид прототипа измерителя емкости САР-10.1

Для обеспечения соответствия требованиям технической документации характеристик измерителя емкости САР-10.1 проводится

настройка прибора. В качестве контрольных образцов используются специально подготовленные отрезки одножильных проводов с изоляцией из различных материалов с известными значениями погонной емкости от 180 до 460 пФ/м в пределах диапазона измерения САР-10.1 [4]. Действительные значения емкости этих образцов определяются измерениями в соответствии с методикой, рекомендуемой ГОСТом 27893-88 «Кабели связи. Методы испытаний» [5].

ПЕРВИЧНАЯ НАСТРОЙКА

На этапе изготовления измерителя емкости САР-10.1 проводится первичная настройка прибора, которая заключается в определении коэффициентов функции преобразования выходного сигнала ЭИИП в значение емкости контролируемого провода.

Первичная настройка проводится в нормальных климатических условиях, регламентируемых стандартами [6], по методике, определяемой ГОСТом 27893-88 [5].

Значение погонной емкости провода C_n , пФ/м определяется по силе тока, протекающей через трубчатый электрод, и описывается линейной функцией преобразования вида:

$$C_n = C_0 + k \cdot I_x, \quad (1)$$

где C_0 , пФ/м и k , пФ/(м·А) – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности.

Коэффициенты функции преобразования (1) зависят от конструктивных параметров конкретного ЭИИП, поэтому значения коэффициентов для каждого типа измерителя емкости рассчитываются индивидуально на основе экспериментальных данных.

Экспериментальные исследования [7, 8] показывают значительную зависимость измеренного значения погонной емкости контролируемого провода от текущего значения электропроводности воды, в которую погружен ЭИИП. В ходе экспериментальных исследований [7] изменение электропроводности воды обеспечивалось изменением массовой концентрации соли $NaCl$ в диапазоне от 0 до 4 г/л. Анализ результатов данных исследований показал, что подобное изменение электропроводности воды приводит к появлению погрешности измерения емкости порядка 20 %.

Для устранения этого влияния на результат измерения емкости провода используется методика отстройки, основанная на косвенном измерении значения электропроводности воды. Текущее значение электро-

проводности может быть определено путем измерения фазы тока измерительного электрода, вернее соотношения $t = \frac{Re I_x}{Im I_x}$, равного $\operatorname{tg} \varphi$ (φ – угол между вектором тока и мнимой осью комплексной плоскости) [7] или измерения тока/генератора, нагруженного на измерительный и оба дополнительных электродов ЭИИП [9].

Отстройка от влияния мешающих факторов заключается в замене коэффициентов $C_0(\lambda)$, пФ/м и $k(\lambda)$, пФ/(м·А) в функции преобразования (1) на соответствующие коэффициенты $C_0(t)$, пФ/м и $k(t)$, пФ/(м·А) (2) или $C_0(I)$, пФ/м и $k(I)$, пФ/(м·А) (3):

$$C_n = C_{01}(t) + k_1(t) \cdot I_x \quad (2)$$

или

$$C_n = C_{01}(I) + k_1(I) \cdot I_x, \quad (3)$$

где функции $C_0(t)$, пФ/м, $k(t)$, пФ/(м·А), $C_0(I_1)$, пФ/м и $k(I_1)$, пФ/(м·А) с достаточной степенью приближения могут быть описаны полиномами второго порядка, коэффициенты которых определяются конструктивными параметрами используемого ЭИИП.

«РАБОЧАЯ» НАСТРОЙКА

Если при установке измерителя емкости САР-10.1 на технологической линии (впервые или после ремонта) обнаруживается повышение допустимой погрешности измерения емкости (2,5 %), то полученный результат можно скорректировать. Для реализации коррективы в приборе предусмотрена «рабочая» настройка, проводимая в автоматизированном режиме. «Рабочая» настройка необходима для исключения аддитивной и мультипликативной составляющих систематической погрешности. При проведении «рабочей» настройки измеритель емкости находится непосредственно на технологической линии в охлаждающей ванне, в которую помещается изготавливаемый провод сразу после экструдирования.

Задача «рабочей» настройки состоит в определении значения емкости ΔC , пФ/м, на которое необходимо скорректировать результат измерения емкости C_x , пФ/м для исключения систематической погрешности. Скорректированное значение погонной емкости C_x^* , пФ/м, для любого образца провода, рассчитывается по формуле:

$$C_x^* = C_x - \Delta C. \quad (4)$$

Алгоритм корректировки производится с помощью стандартной операции исключения систематической погрешности, приведенной на рисунке 2.

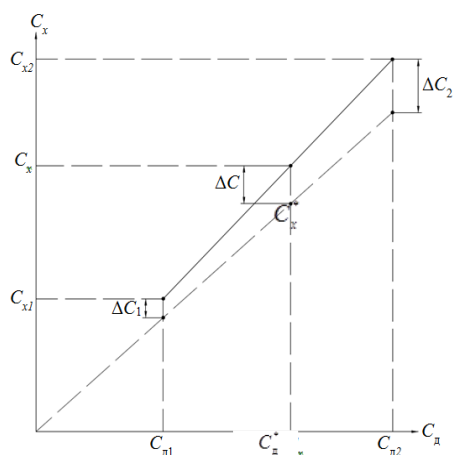


Рисунок 2 – Алгоритм корректировки измеренного значения погонной емкости

Значения емкости ΔC , пФ/м рассчитывается по формуле:

$$\Delta C = \Delta C_1 + \frac{\Delta C_2 - \Delta C_1}{C_{x2} - C_{x1}} (C_x - C_{x1}) \quad (5)$$

Проверка качества выполненной «рабочей» настройки проводится при использовании контрольного образца провода с известным действительным значением емкости $C_{д}$, пФ/м.

При успешном завершении «рабочей» настройки абсолютная разница $\Delta C_{к}$ между скорректированным $C_{к}^*$ и действительным $C_{дк}$ значениями емкости для контрольного образца провода не должна превышать заявленной погрешности измерителя емкости САР-10.1 (2,5 %), в противном случае процедуру «рабочей» настройки необходимо повторить.

При проведении «рабочей» настройки необходимо знать точное значение температуры воды охлаждающей ванны, где установлен измеритель емкости. Это связано с тем, что некоторые материалы изоляции имеют значительную зависимость диэлектрической проницаемости от изменения температуры.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВАННЫ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ

Температурные режимы охлаждения изоляции провода в технологическом процессе

значительно отличаются от нормальных условий, регламентируемых ГОСТом 27893-88, в которых обычно настраиваются и калибруются приборы.

Температура охлаждения изоляции провода в процессе экструзии во многом зависит от материала изоляции [10, 11]. Известно, что полиэтилен низкой плотности не деформируется при температуре – (60...80) °С, для ПВХ пластикат – (60...90) °С, фторопласт – (110...200) °С. В реальных условиях производства изоляция провода охлаждается до (40...50) °С, что необходимо исходя из требований безопасности [12, 13].

В измерителе емкости САР-10.1 реализуется отстройка от изменения электропроводности воды, в том числе и за счет изменения температуры воды. Но указанной температурой обладает не только вода охлаждающей ванны, но и изоляция провода. В [4] показано, что изменение температуры воды (а, значит, и температуры изоляции провода) в диапазоне от 30 до 95 °С приводит к изменению значения емкости образца провода с изоляцией из полиэтилена приблизительно на 5 %, а для образца провода с изоляцией из ПВХ-пластиката это изменение составляет приблизительно 60 %.

Учитывая это, необходимо знать действительное значение емкости образца провода, используемого для проведения «рабочей» настройки, при конкретной температуре технологического процесса [10, 11]. Именно это значение и сравнивается с результатом изменения емкости, выполненное прибором САР-10.1. Следовательно, контрольный образец провода должен иметь паспорт, в котором указаны действительные значения емкости при различных температурах изоляции. Только в этом случае их можно использовать для проведения «рабочей» настройки.

ВЫВОДЫ

1. Для проведения первичной и «рабочей» настроек измерителя емкости САР-10.1 используются контрольные образцы проводов с известными действительными значениями емкости, как в нормальных условиях, так и при различных температурных условиях, соответствующих технологическому процессу охлаждения изоляции провода.

2. Разработана методика проведения первичной настройки измерителя емкости САР-10.1, позволяющая получить коэффициенты функции преобразования выходного сигнала ЭЕИП в значение погонной емкости контролируемого провода, с использованием

отстройки от мешающих факторов на основе измерения фазы тока измерительного электрода и на основе измерения тока генератора, нагруженного на все электроды ЭЭИП.

3. Предложена методика автоматизированного проведения «рабочей» настройки, позволяющая скорректировать показания измерителя емкости CAP-10.1 за счет исключения мультипликативной и аддитивной составляющих погрешностей измерения при измерении емкости провода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн, А. Е. Измеритель погонной емкости одножильного провода для технологического контроля / А. Е. Гольдштейн, Г. В. Вавилова // Ползуновский вестник. – 2015. – № 3. – С. 38–42.

2. Пат. № 20030128038 US, МПК G01R 27/26. Capacitance monitoring systems [Электронный ресурс] / Patrick Fleming, Lee Robert Coleman. – № 10/182766; заявл. 25.01.2001; опубл. 10.07.2003. – Режим доступа: URL: http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20030710&CC=US&NR=2003128038A1&KC=A1, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 17.04.2016).

3. Goldshtein, A. E. An electro-capacitive measuring transducer for the process inspection of the cable capacitance per unit length in the process of production / A. E. Goldshtein, G. V. Vavilova, V. Yu. Belyankov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – Т. 51, Вып. 2. – С. 35–43.

4. Мазиков, С. В. Определение действительного значения погонной емкости образцов провода [Электронный ресурс] / С. В. Мазиков, Г. В. Вавилова // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов IV Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых в 3 т. – 2015. – Т. 1. – Томск: Изд-во ТПУ. – С. 131–135. – Режим доступа: URL: http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/resurs/proceedings/Сборник%20трудов'15%20Т.1_3.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 25.11.2015).

5. ГОСТ 27893-88 (СТ СЭВ 1101–87). Кабели связи. Методы испытаний [Электронный ресурс]. – Введ. 1990.01.01. – с измен. 2015-01-16. – Режим доступа: URL: <http://meganorm.ru/In dex/11/11797.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 01.02.2016).

6. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. [Электронный ресурс]. – Введ. 1982.01.01. – с измен. 2015.01.16. – Режим доступа: URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/30125/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 01.08.2015).

7. Гольдштейн, А. Е. Отстройка от влияния изменения электропроводности воды на результаты технологического контроля погонной емкости электрического кабеля / А. Е. Гольдштейн, Г. В. Вавилова // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 146–150.

8. Starikova, N. S. Control of Cable Insulation Quality by Changing of Electrical Capacitance Per Unit During High Voltage Testing [Электронный ресурс] / N. S. Starikova, V. V. Redko, G. V. Vavilova // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Т. 671. – С. 1–4. Режим доступа: URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/671/1/012056/pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 01.03.2016).

9. Пат. № 2578658 RU МПК G01R27/26. Способ измерения погонной емкости одножильного электрического провода / Гольдштейн А. Е., Вавилова Г. В., Редько В. В.; заявл. 29.12.2014; опубл. 27.03.2016. – Режим доступа: URL: http://www1.fips.ru/fips_serv/fips_servlet. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 17.04.2016).

10. Притулов, А. М. Влияние степени компактирования порошковой смеси реагентов на твердофазный синтез пентаферрита лития / А. М. Притулов, Р. У. Усманов, О. В. Гальцева, А. А. Кондратьев, В. Безуглов, В. И. Сербин // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2007. – Т. 50, № 2. – С. 82–86.

11. Galtseva, O. V. The separation process of methane-butane fraction from natural gas before transport / O. V. Galtseva, S. V. Bordunov // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Сер. "International Scientific Conference on "Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials", RTEP 2014". – 2015. – с. 012062.

12. Балашов, А. И. Кабели и провода. Основы кабельной техники / А. И. Балашов, М. А. Боев, А. С. Воронцов и др.; под редакцией И. Б. Пешкова. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 470 с.

13. Канискин, В. А. Основы кабельной техники: учебное пособие / В. А. Канискин, Б. И. Сажин. – Ленинград: Изд-во Ленинградского технологического ин-та, 1990. – 86 с.

Мазиков С.В., магистрант кафедры Физических методов и приборов контроля качества Томского политехнического университета, тел.: 8-953-922-48-45, e-mail: s-mazikov@mail.ru.

Вавилова Г.В., старший преподаватель кафедры Физических методов и приборов контроля качества Томского политехнического университета, тел.: 8-906-947-19-37, e-mail: wgw@tpu.ru.