

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ

Д.В. Миляев, Г.В. Вавилова, Е.И. Шкляр

Приведены исследования первичного преобразователя измерителя емкости кабеля в процессе изготовления. Предложена эквивалентная схема замещения преобразователя, представленная в виде проводимостей различных участков преобразователя, включая электроды питания и электроды вывода информации. Конструкция представляет собой полую трубку, наполненную водой, и проходящий через неё кабель с жилой, но без изоляции. Определенные сопротивления участков преобразователя дают возможность корректировать конструкцию.

**Ключевые слова:** кабель, жила, измерение, емкость, электрод, изготовление кабеля, эквивалентная

### Введение

Передача информации – это неотъемлемая часть многих информационных и вычислительных систем. Для этого используются различные виды линий связи. Наиболее применяемой является проводная связь. При передаче сигнала посредством кабельных линий неизбежны потери. Они обусловлены как воздействием внешних полей, так и влиянием собственных параметров, в том числе и емкость кабельной цепи. Значение емкости необходимо для оптимального выбора кабеля, а также для определения области применения данного вида кабеля. Кроме того, определение емкости кабеля используется с целью определения толщины и других свойств изоляции кабеля.

Емкость в кабельной линии определяется как емкость соответствующего цилиндрического конденсатора, в котором роль обкладок выполняют жилы кабеля и экранирующий слой [1]. Величина емкости зависит от толщины изолирующего слоя и материала, из которого он выполнен.

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-9}}{18 \ln \frac{D}{d}},$$

где

$D$  – внешний диаметр изоляционного слоя;

$d$  – диаметр жилы;

$\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость изоляционного материала.

Наиболее целесообразным и экономически выгодным является измерение емкости еще в процессе производства кабеля, на стадии нанесения изоляции. Это дает возможность изначально задавать необходимую емкость и контролировать постоянство ее значения по всей длине кабеля.

В данной статье представлен емкостной преобразователь, позволяющий определять

емкость кабеля в процессе его производства, на стадии охлаждения кабеля после нанесения изоляционного слоя.

### Описание преобразователя

Поскольку, измерение емкости кабеля производится при отсутствии экранирующего слоя, в качестве второго электрода используется вода. В этом случае исключается возможность появления воздушных зазоров между кабелем и вторым электродом и, соответственно, уменьшается погрешность измерения. Контроль емкости проводится в охлаждающей ванне, куда помещается кабель после нанесения изоляционного слоя. Исходя из этого, предполагаемая конструкция емкостного преобразователя имеет вид, представленный на рисунке 1. Преобразователь выполнен, в виде полого цилиндра, и включает в себя два электрода: электрод питания (ЭП) – 1, состоящий из двух частей (на рисунке 1 показано два отрезка трубы по 10 см) и рабочий электрод (РЭ – 2 – центральная часть полого цилиндра, длиной 20 см). Оба электрода расположены на внутренней стороне первичного преобразователя. Электроды отделены между собой герметичной изоляционной перегородкой, шириной 5 мм.

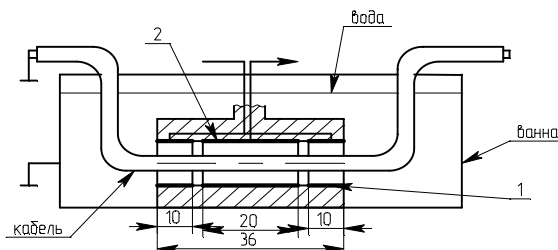


Рисунок 1 - Конструкция емкостного преобразователя

Переменное напряжение подается на электрод питания, выходной сигнал снима-

ется через информационный вывод (показан стрелкой) относительно металлического корпуса. Для проведения измерения, корпус ванны и корпус преобразователя, а также жила кабеля заземляются.

При подаче переменного напряжения на электрод питания на рабочем электроде возникает потенциал переменного тока. Так как расстояние между электродом питания и заземленным корпусом небольшое, то при достаточно большой площади электрода питания сопротивление переменному току в зоне электрода резко падает и становится близким к нулю на концах первичного преобразователя. Сопротивление между рабочим электродом и жилой кабеля практически постоянно вдоль всей его длины и определяется электрическими параметрами изоляции кабеля. Ток, протекающий от рабочего электрода, определяется свойствами изоляционного слоя кабеля, т.е. емкостью, на рабочем участке преобразователя. Этот ток и является информативным параметром преобразователя. Значение тока линейно зависит от емкости данного участка, равно длине РЭ, и соответствующей длине кабеля.

$$I = j \cdot U \cdot \omega \cdot C_x$$

Поскольку измерение проводится в воде, происходит распределение потенциала вдоль всей ванны. Расположение электродов в преобразователе согласно схеме на рисунке 1 уменьшает неравномерность распределения электрического поля внутри трубы. Некоторая неравномерность все же присутствует. Ее значение определяется токами утечки с рабочего электрода на землю через электрод питания, поскольку между ними есть небольшой зазор. Ток через РЭ и корпусом при отсутствии кабеля должен быть равен нулю. Учитывая все вышесказанное, предлагается электрическая схема замещения преобразователя на рисунке 2а.

Эквивалентная схема замещения представлена в виде активных сопротивлений, где R1 представляет электрическую цепь, через которую проходит ток от электрода питания. Это сопротивление определяется геометрическими размерами электрода и расстоянием до корпуса преобразователя и проводящими свойствами воды, омывающей электрод питания и корпус преобразователя. Сопротивление изоляции между корпусом и электродом не учитывается, поскольку оно несоизмеримо больше сопротивления водного участка цепи. Наличие этого сопротивления обеспечивает шунтирование рабочего участка на заданной длине. Кроме того, величина этого сопротивления определяет неоднород-

ность электрического поля в зоне измерения первичного преобразователя и величину тока в цепи измерения при отсутствии кабеля, а следовательно. Величину аддитивной погрешности. Определение оптимальной величины сопротивления R1 важно также при изменении температуры воды в полости преобразователя и при загрязнении воды в процессе изготовления.

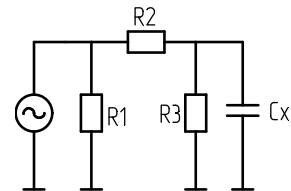


Рисунок 2а – Электрическая схема замещения емкостного преобразователя

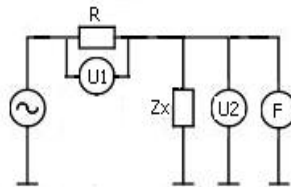


Рисунок 2б – Схема определения параметров преобразователя

Сопротивление R2 определяется физическими и геометрическими параметрами в зоне, отделяющей электрод питания и рабочий электрод. На этом отрезке преобразователя происходит скачек напряжения от нулевого потенциала на конце преобразователя до напряжения питания от генератора переменного тока. Размеры зазора, а с ним и сопротивление R2, имеют также оптимальное значение, которое с одной стороны определяют передачу напряжения питания на рабочий электрод, с другой стороны определяют нелинейность преобразования за счет неоднородности поля в зоне измерения под рабочим электродом. Сопротивление R3 в эквивалентной схеме характеризует остаточный ток в измерительной цепи при отсутствии кабеля. Величина сопротивления R3 колеблется от несколько сот кОм до нескольких десятков МОм, но резко изменяется от температуры и загрязнения воды. Поэтому емкостное сопротивление Cx должно быть меньше R3 для худшего случая.

Измеряемый ток (протекающий через емкость Cx) и остаточный ток (протекающий через R3) различны по своему характеру и имеют сдвиг между собой, близкий к 90 градусам. Этот факт дает возможность на практике осуществлять отстройку от остаточного

## РАЗДЕЛ V. ИЗМЕРЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

тока, используя амплитудно-фазовый метод измерения емкости.

Предполагаемая емкость, регистрируемая преобразователем, составляет десятки пФ для радиочастотного кабеля с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом. Следовательно, собственная емкость преобразователя должна быть незначительной, чтобы не влиять на результат измерения.

Наличие собственной емкости неизбежно, поскольку прибор работает на переменном токе и сопротивления преобразователя: R1, R2, R3 (рисунок 2а), имеют емкостную составляющую. Для выбора оптимальных условий контроля необходимо знать соотношение полезных и мешающих факторов. Для получения этих соотношений проведены экспериментальные исследования.

Определение величины собственной емкости проводилось согласно схеме, представленной на рисунке 3.

$$I = \frac{U1}{R1}$$

Таблица 1

d кабеля/d жилы	f, кГц	10	20	30	40	50	60	100
2.2/0.75	Ur, мВ	17,5	37	55	70	85	100	150
	C, пФ	93	98,3	97,4	93	90,4	88,7	80,1
1.9/1.1	Ur, мВ	17	37,5	57,5	75	93	108	170
	C, пФ	90,2	99,6	102	99,7	99,1	95,4	90,7
3.4/1.9	Ur, мВ	8,25	17,5	26,5	35	42,5	51	85
	C, пФ	43,8	46,5	47	46,5	45,2	45,2	45,2

Таблица 2

	f, кГц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
без кабеля	U2, В	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	Io, мкА	1	2,5	4	5,5	7	8,5	10	11	12,3	15,5
с кабелем	U2, В	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,4	2,4	2,4	2,4	2,35
	Io, мкА	1	2,25	3,5	5	6,5	8	9,5	10,8	12,5	13,5

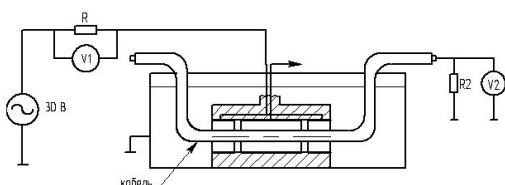


Рисунок 3 – Схема измерения емкости кабеля

### Выводы

Результаты этих измерений показывают, что собственная емкость данного преобразователя мала. Одним из наиболее важных параметров является характер зависимости

$$Z_x = \frac{U2}{I}$$

где ZX - емкостное сопротивление.

Преобразователь рассматривался, как некоторое сопротивление переменному току Zx. Измерения проводились в диапазоне частот 10 – 100 кГц при действующем значении входного напряжения 30 В. Ток в цепи поддерживался постоянным с помощью образцового резистора R1 и вольтметра V1. Зная комплексное сопротивление преобразователя, можно определить емкость. Результаты измерения представлены таблицей 1. Измеряемый емкостной ток растет с увеличением частоты, но с ростом частоты увеличивается остаточный ток и, соответственно, погрешность измерения. В таблице 1 приведены результаты измерения емкости нескольких видов кабелей на разных частотах, а в таблицу 2 занесены значения остаточных токов на этих же частотах с кабелем и без кабеля. С ростом частоты остаточный ток увеличивается, но мало изменяется при внесении кабеля.

выходного сигнала от измеряемой величины. Выходной величиной данного преобразователя является ток. Уравнение преобразования показывает, что зависимость должна быть линейной.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гроднев, И.И. Основы теории и производство кабелей связи [Текст]. / И.И. Гроднев. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1956. - 480 с.:ил.

Доцент **Миляев Д.В.**, старший преподаватель **Вавилова Г.В.**, ассистент **Шкляр Е.И.** – каф. Информационно-измерительной техники Национального исследовательского Томского политехнического университета, тел.(3822)-41-89-11, webmaster@iit.b10.tpu.edu.ru

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2/1, 2012