

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Миляев Д.В., Нгуен Данг Куанг

Научный руководитель: Миляев Д.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [kqh1215@gmail.com](mailto:kqh1215@gmail.com)

### Введение

Передача информации – это неотъемлемая часть многих информационных и вычислительных систем. Для этого часто используются проводные связи. При передаче информации происходят неизбежные потери искажения полезного сигнала. К причинам этого относятся влияния внешних полей, и параметры самой линии связи. В число таких параметров входит емкость кабеля. Значение емкости необходимо для оптимального выбора кабеля, а также для определения области применения данного вида кабеля.

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.

Поскольку, измерение емкости кабеля производится при отсутствии экранирующего слоя, в качестве второго электрода используется вода. Контроль емкости производится в охлаждающей ванне, куда помещается кабель после нанесения изоляционного слоя.

Структурная схема представлена ниже.

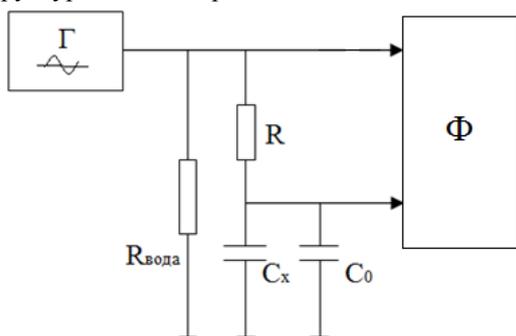


Рис 2. Структурная схема преобразователя: Г- Генератор; Ф- Фазометр.

При отсутствии кабеля в воде, в преобразователе измеряется  $R_{\text{вода}}$  - сопротивления воды между корпусом и электродом питания,  $C_0$ -собственная емкость преобразователя, т.е емкость датчик без кабеля,  $R$ -сопротивление которое включаем между ЭП и РЭ. При присутствии выбираемое сопротивление  $R$ , то в преобразователе создается RC-цепочка первого порядка. Эта цепочка будет менять амплитуд, напряжение и фаз.

При отсутствии кабеля, бывает  $RC_0$ -цепочка первого порядка, фазовый сдвиг  $\varphi_0 =$

Предполагаемая принципиальная схема емкостного преобразователя имеет вид, представленный на рис.1.

Преобразователь выполнен в виде полоого цилиндра и включает в себя два электрода: электрод питания (ЭП), состоящий из двух частей 1, и рабочий электрод (РЭ) 2, расположенный между ЭП, ввод 3 для подачи напряжения питания, вывод 4, корпус 5. В процессе измерения, корпус ванны, корпус 5, а также жила кабеля заземляются.

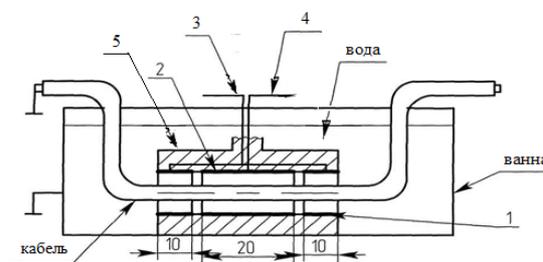


Рис. 1. Принципиальная схема емкостного преобразователя

$\arctg(\omega \cdot R \cdot C_0)$ . Этот фаз измеряется с использованием фазометр. При присутствии кабеля, в преобразователе возникает емкости кабеля, значения емкость RC-цепочка меняется на  $(C_x + C_0)$ , тогда фазовый сдвиг тоже меняется и равно  $\varphi_x = \arctg(\omega \cdot R \cdot (C_0 + C_x))$ . Измерить разность фаз  $\Delta\varphi_x = \varphi_x - \varphi_0$  для двух случаи, можно определить емкости кабеля. Используем фазометр для измерения это значения. И он будет прямо пропорциональный с значением емкости кабеля.

$$\begin{aligned} tg\varphi_0 &= \omega \cdot R \cdot C_0 = a \\ tg\varphi_x &= \omega \cdot R \cdot (C_0 + C_x) = a + b \cdot C_x \\ \text{Где } a &= \omega \cdot R \cdot C_0, \quad b = \omega \cdot R \\ tg\Delta\varphi_x &= \frac{tg\varphi_x - tg\varphi_0}{1 + tg\varphi_x \cdot tg\varphi_0} = \frac{b \cdot C_x}{1 + a(a + b \cdot C_x)} \\ \rightarrow C_x &= \frac{tg\Delta\varphi_x \cdot (1 + a^2)}{b \cdot (1 - a \cdot tg\Delta\varphi_x)} = \frac{(1 + a^2)}{b \left( \frac{1}{tg\Delta\varphi_x} - a \right)} \end{aligned}$$

Сначала, нам надо определить чувствительность измерения сдвиг фаз между входным и выходным RC-цепи первого порядка. Благодаря этому, можно выбрать самые оптимальные частота, которые проводится эксперимент. Результат измерения представлены

ниже: Эксперимент проводится:  $R=330\text{Ом}$ ,  $C_0=100\text{нФ}$ ,  $\Delta C = 1\%C = 1\text{нФ}$

f(кГц)	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	30
$\varphi_0$	11.69	22.40	31.63	39.33	45.61	50.76	54.96	58.47	63.83	70.14	82.32
$\varphi_x$	11.78	22.57	31.84	39.56	45.87	51.01	55.19	58.70	64.01	70.27	82.39
$\Delta\varphi$	0.09	0.17	0.21	0.23	0.26	0.25	0.23	0.22	0.18	0.13	0.07
$S=\Delta\varphi/\Delta C$	0.09	0.17	0.21	0.23	0.26	0.25	0.23	0.22	0.18	0.13	0.07

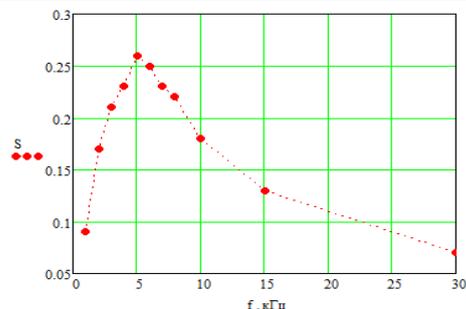


Рис 3. Зависимость чувствительности от частоты RC-цепи первого порядка.

Таблица 2.

Результат исследования выше показывает что, самая большая чувствительность достигается при частоте примерно 5кГц. Эта частота близко к частоте среза (1/RC), можно делать вывод. Что при измерении сдвиг фаз в частоте среза получает оптимальные значение. Емкость кабеля измеряется путем определить разность фаз между входным и выходным RC-цепи первого порядка.

Эксперимент проводится :  $R=300\text{кОм}$ ,  $C_0=100\text{пФ}$ ,  $f=5\text{кГц}$ . Результат измерения представлены на таблице 2.

$C_{\text{обр}}$ (пФ)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta\varphi_x 1(^{\circ})$	2.79	5.16	7.34	9.43	11.66	13.49	15.12	16.69	18.23	19.31
$C_{\text{изм}1}$ (пФ)	10.25	19.77	29.4	39.45	51.3	61.7	71.6	81.7	92.2	102.8
$\Delta C/C$ (%)	2.5	1.15	2	1.38	2.56	2.83	2.3	2.13	2.4	2.8

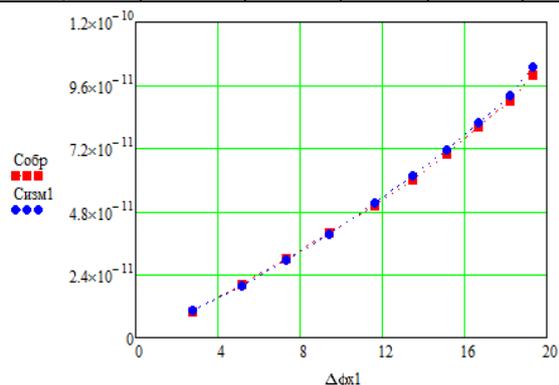


Рис 4. График зависимости значения разности фаз от емкости при  $R=300\text{кОм}$ ,  $C_0=100\text{пФ}$ .

Эксперимент проводится :  $R=30\text{кОм}$ ,  $C_0=1\text{нФ}$ ,  $f=5\text{кГц}$ . Результат измерения представлены на таблице 3.

$C_{\text{обр}}$ (пФ)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta\varphi_x 2(^{\circ})$	0.3	0.59	0.86	1.16	1.47	1.74	2.02	2.3	2.57	2.84
$C_{\text{изм}2}$ (пФ)	10.42	20.77	30.6	41.45	52.7	62.8	73.1	83.5	93.9	104.3
$\Delta C/C$ (%)	4.2	3.85	2	3.63	5.4	4.67	4.43	4.38	4.33	4.3

Результат измерения показывают, что измеряемая емкость пропорционален значения разности фаз. Эксперимент проводится в частоте среза для получить самый оптимальный результат. Из рисунка 4 и 5 заметим, что значения разности фаз  $\Delta\varphi_x$  зависит от собственной емкости  $C_0$ . Поэтому нам надо выбрать выгодную собственную емкостью  $C_0$  для уменьшается погрешность измерения разности фаз  $\Delta\varphi_x$  а так же емкость кабеля разности фаз  $C_x$ . Кроме того,

можно использовать RC-цепи 2-ого или 3-ого порядка при измерения сдвига фаз.

#### Список литературы

1. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: учебное пособие для студ. Вузов. –М.:Мыш. шк., 1989. -384 с.
2. Белорусов И.И. Электрические кабели и провода, М.: Связьдат 1971-456 с.
3. Нгуен Д.К. Исследование первичного преобразователя измерителя емкости кабеля. – Томск: СТТ, 2013.