

## 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.

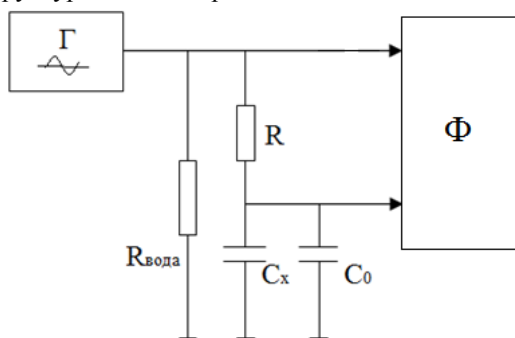


Рис 2. Структурная схема преобразователя: Г- Генератор; Ф- Фазометр.

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.

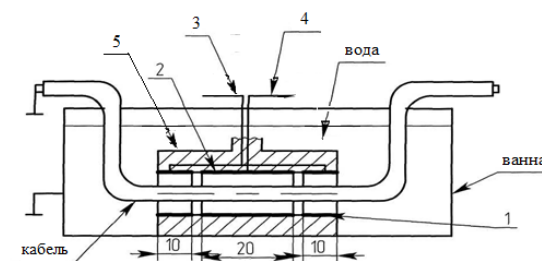


Рис. 1. Принципиальная схема емкостного преобразователя

$\arctg(\omega \cdot R \cdot C_0)$ . 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.

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

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  |

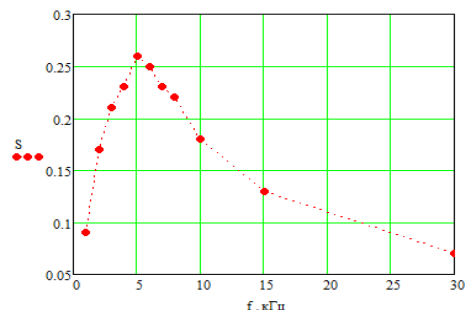


Рис 3. Зависимость чувствительности от частоты RC-цепи первого порядка.

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   |

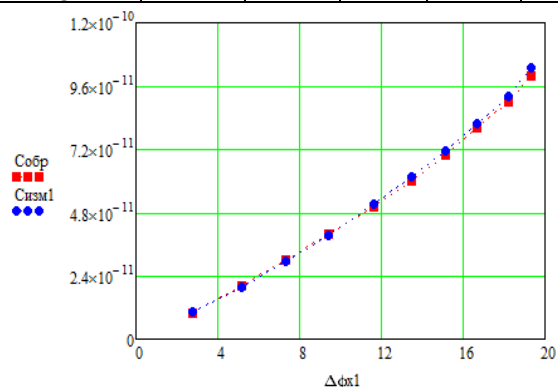


Рис 4. График зависимости значения разности фаз от емкости при  $R=300\text{кОм}$ ,  $C_0=100\text{пФ}$ .

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.