

## Прикладні аспекти: електричні та магнітні вимірювання

УДК 389.14:621.3

Ю.Л. Анохин, Р.В. Вендичанский, В.В. Копшин

ГП «Всеукраинский государственный научно-производственный центр стандартизации, метрологии, сертификации и защиты прав потребителей» (ГП «Укрметрстандарт»)

### КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ

*Статья посвящена калибровке измерителей параметров изоляции, которые применяют для измерения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости высоковольтной изоляции при обслуживании, ремонте, наладке, испытаниях различных энергетических объектов. Предложена процедура калибровки измерителей параметров изоляции с использованием мер емкости. Приведена обработка результатов измерений. Рассмотрены основные источники неопределенности результатов измерений при калибровке.*

**Ключевые слова:** емкость, тангенс угла диэлектрических потерь, высоковольтная изоляция, измеритель, мост переменного тока, конденсатор, погрешность, неопределенность измерений.

#### Введение

**Постановка проблемы.** При техническом обслуживании, ремонте, наладке, испытаниях различных энергетических объектов как на месте установки, так и в условиях лабораторий, а также определения параметров различных электроизоляционных материалов применяются средства измерения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости высоковольтной изоляции.

Основными потребителями измерителя являются предприятия и организации электроэнергетики и других отраслей промышленности, связанные с проведением указанных выше работ.

Калибровку измерителей параметров изоляции осуществляет ГП «Укрметрстандарт».

**Цель статьи.** Особенности оценки неопределенности измерений при калибровке измерителя параметров изоляции ИПИ-10.

#### Процедура калибровки ИС

Калибровку измерителя параметров изоляции ИПИ-10 проводят в два этапа: 1) калибровка меры емкости и тангенса угла диэлектрических потерь (далее – мера) с помощью моста переменного тока СА7100 и эталонного конденсатора МСР600; 2) калибровка измерителя параметров изоляции ИПИ-10 с помощью меры.

Калибровку измерителя параметров изоляции ИПИ-10 проводят при значении испытательного напряжения 5 кВ и 10 кВ в пяти точках динамического диапазона измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь:

$$C_{\text{нач}}; 0,2 \cdot C_{\text{кон}}; 0,5 \cdot C_{\text{кон}}; 0,8 \cdot C_{\text{кон}} \text{ и } C_{\text{кон}}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{нач}}$  – начальное значение диапазона измерения емкости;  $C_{\text{кон}}$  – конечное значение диапазона измерения емкости;

$$T_{нач}; 0,2 \cdot T_{кон}; 0,5 \cdot T_{кон}; 0,8 \cdot T_{кон} \text{ и } T_{кон}, \quad (2)$$

где  $T_{нач}$  – начальное значение диапазона измерения тангенса угла диэлектрических потерь;  $T_{кон}$  – конечное значение диапазона измерения тангенса угла диэлектрических потерь.

Схема включения меры при калибровке приведена на рис. 1.

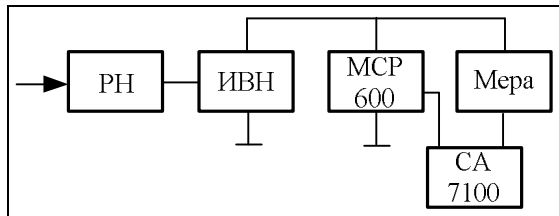


Рис. 1. Схема калибровки меры

Расшифровка обозначений, приведенных на рис. 1: РН – регулятор напряжения; ИВН – источник высокого напряжения; МСР600 – конденсатор эталонный МСР600; Мера – меры емкости и тангенса угла диэлектрических потерь  $M_0$ ; СА7100 – мост переменного тока СА7100.

Для каждого значения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь при калибровке измерителя параметров изоляции ИПИ-10 подбирается соответствующая мера емкости и тангенса угла диэлектрических потерь.

Для каждой меры находят:

- среднее значение емкости меры,  $\bar{C}_M$ , определяют по формуле:

$$\bar{C}_M = \sum_{i=1}^n \frac{C_{i,M}}{n}, \quad (3)$$

где  $C_{i,M}$  – значение емкости меры, измеренное мостом переменного тока СА7100 при  $i$ -том наблюдении;  $n = 10$  – количество наблюдений;

- среднее значение тангенса угла диэлектрических потерь меры,  $\bar{T}_M$ , определяют по формуле:

$$\bar{T}_M = \sum_{i=1}^n \frac{T_{i,M}}{n}, \quad (4)$$

где  $T_{i,M}$  – значение тангенса угла диэлектрических потерь меры, измеренное мостом переменного тока СА7100 при  $i$ -том наблюдении.

Среднее квадратическое отклонение измерения емкости меры определяют по формуле:

$$S_{(\Delta)C}^{\circ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{i,M} - \bar{C}_M)^2}{n(n-1)}}, \quad (5)$$

Среднее квадратическое отклонение измерения тангенса угла диэлектрических потерь меры определяют по формуле:

$$S_{(\Delta)T}^{\circ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{i,M} - \bar{T}_M)^2}{n(n-1)}}. \quad (6)$$

Источники неопределенности при измерении меры мостом переменного тока СА7100 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Источники неопределенности

Обозначение	Принятое распределение
$\delta_{СА7100,tg}$	Равномерное
$\delta_{СА7100,C}$	Равномерное
$S_{(\Delta)C}^{\circ}$	—
$S_{(\Delta)T}^{\circ}$	—

Расшифровка обозначений, приведенных в табл. 1:  $\delta_{СА7100,tg}$  – предел допускаемой абсолютной погрешности при измерении тангенса угла диэлектрических потерь мостом переменного тока СА7100 при использовании внешнего эталонного конденсатора;  $\delta_{СА7100,C}$  – предел допускаемой абсолютной погрешности при измерении емкости мостом переменного тока СА7100 при использовании внешнего эталонного конденсатора.

Расширенную неопределенность измерения емкости меры мостом переменного тока СА7100 определяют по формуле:

$$U_{P,M,C} = 2 \cdot \sqrt{\frac{U_{P,МСР,C}^2}{4} + \frac{\delta_{СА7100,C}^2}{3} + S_{(\Delta)C}^2}, \quad (7)$$

где  $U_{P,МСР,C}$  – расширенная неопределенность измерений при калибровке по емкости конденсатора эталонного МСР600.

Расширенную неопределенность измерений тангенса угла диэлектрических потерь меры мостом переменного тока СА7100 определяют по формуле:

$$U_{P,M,tg} = 2 \cdot \sqrt{\frac{U_{P,МСР,tg}^2}{4} + \frac{\delta_{СА7100,tg}^2}{3} + S_{(\Delta)tg}^2}, \quad (8)$$

где  $U_{P,МСР,tg}$  – расширенная неопределенность измерений при калибровке по тангенсу угла диэлектрических потерь конденсатора эталонного МСР600.

Схема включения измерителя параметров изоляции ИПИ-10 при калибровке с помощью меры  $M_0$  приведена на рис. 2.

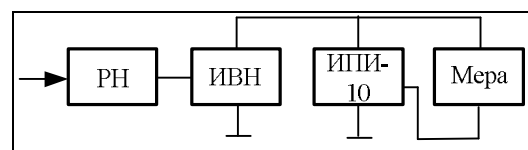


Рис. 2. Схема включения ИПИ-10

Расшифровка обозначений, приведенных на рис. 2: ИПИ-10 – измеритель параметров изоляции ИПИ-10.

Среднее значение емкости меры,  $\bar{C}_{м,и}$ , измеренное измерителем параметров изоляции ИПИ-10 определяют по формуле:

$$\bar{C}_{м,и} = \sum_{l=1}^k \frac{C_{l,м,и}}{k}, \quad (9)$$

где  $C_{l,м,и}$  – значение емкости меры измеренное измерителем параметров изоляции ИПИ-10 при  $l$ -том наблюдении;  $k = 10$  – количество наблюдений.

Среднее значение тангенса угла диэлектрических потерь меры  $\bar{T}_{м,и}$  измерителем параметров изоляции ИПИ-10 определяют по формуле:

$$\bar{T}_{м,и} = \sum_{l=1}^k \frac{T_{l,м,и}}{k}, \quad (10)$$

где  $T_{l,м,и}$  – значение тангенса угла диэлектрических потерь меры измеренное измерителем параметров изоляции ИПИ-10 при  $l$ -м наблюдении.

Среднее квадратическое отклонение измерения емкости меры измерителем параметров изоляции ИПИ-10 определяют по формуле:

$$S_{(\Delta)C,и} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^k (C_{l,м,и} - \bar{C}_{м,и})^2}{k(k-1)}}. \quad (11)$$

Среднее квадратическое отклонение при измерении тангенса угла диэлектрических потерь меры измерителем параметров изоляции ИПИ-10, определяют по формуле:

$$S_{(\Delta)T,и} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^k (T_{l,м,и} - \bar{T}_{м,и})^2}{k(k-1)}}. \quad (12)$$

Разность между результатами измерения емкости меры с помощью моста переменного тока СА7100 и измерителя параметров изоляции ИПИ-10 определяют по формуле:

$$\Delta_c = \bar{C}_{м,и} - \bar{C}_м. \quad (13)$$

Разность между результатами измерения тангенса угла диэлектрических потерь меры с помощью моста переменного тока СА7100 и измерителя параметров изоляции ИПИ-10 определяют по формуле:

$$\Delta_T = \bar{T}_{м,и} - \bar{T}_м. \quad (14)$$

## Оценивание неопределенности измерений

Оценивание неопределенности измерений выполнено согласно рекомендациям [1].

Источники неопределенности при калибровке приведены в табл. 2.

Таблица 2

Источники неопределенности

Обозначение	Принятое распределение
$\Delta_c$	Равномерное
$\Delta_T$	Равномерное
$S_{(\Delta)C,и}$	—
$S_{(\Delta)T,и}$	—

Расширенную неопределенность измерения емкости меры измерителем параметров изоляции ИПИ-10 определяют по формуле:

$$U_{P,и,C} = 2 \cdot \sqrt{\frac{U_{P,м,C}^2}{4} + \frac{\Delta_c^2}{3} + S_{(\Delta)C,и}^2}. \quad (15)$$

Расширенную неопределенность измерения тангенса угла диэлектрических потерь меры измерителем параметров изоляции ИПИ-10 определяют как

$$U_{P,и,tg} = 2 \cdot \sqrt{\frac{U_{P,м,tg}^2}{4} + \frac{\Delta_T^2}{3} + S_{(\Delta)T,и}^2}. \quad (16)$$

Результаты калибровки при измерении емкости и тангенса угла диэлектрических потерь представляют в виде:

$$\bar{C}_{м,и} \pm U_{P,и,C}. \quad (17)$$

$$\bar{T}_{м,и} \pm U_{P,и,tg}. \quad (18)$$

## Выводы

Приведена процедура калибровки измерителя параметров изоляции ИПИ-10. Выполнена оценка неопределенности измерений при калибровке измерителя параметров изоляции ИПИ-10.

## Список литературы

1 ДСТУ РМГ 43:2006. ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».

Поступила в редколлегию 7.04.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Сидоренко, Институт радиофизики и электроники НАН Украины, Харьков.

## КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЧА ПАРАМЕТРІВ ІЗОЛЯЦІЇ

Ю.Л. Анохін, Р.В. Вендичанський, В.В.Копшин

Стаття присвячена калібруванню вимірювачів параметрів ізоляції, які застосовують для вимірювання тангенса кута діелектричних втрат і ємності високовольтної ізоляції при обслуговуванні, ремонті, налагоді, випробуваннях різних енергетичних об'єктів. Запропоновано процедуру калібрування вимірювачів параметрів ізоляції з використанням мір ємності. Наведено обробка результатів вимірювань. Розглянуто основні джерела невизначеності результатів вимірювань при калібруванні.

**Ключові слова:** ємність, тангенс кута діелектричних втрат, високовольтна ізоляція, вимірювач, міст змінного струму, конденсатор, похибка, невизначеність вимірювань.

### **CALIBRATION MEASURER ISOLATION PARAMETERS**

Y.L. Anokhin, R.V. Vendichanskiy, V.V. Kopshyn

*The article is devoted calibration measurer insulation parameters, which are used to measure the dielectric loss tangent and capacity of high insulation with maintenance, repair, commissioning, testing of various power project. A procedure for calibration parameter measurer with insulation measures of capacitance. Shows the processing of measurement results. Examined the main sources of uncertainty in the calibration measurements.*

**Keywords:** *capacity, dielectric loss tangent, high voltage insulation, measurer, bridge AC, capacitor, accuracy, measurement uncertainty.*