

интервале, например, от $+MPE$ до $(+MPE+MPE/3)$ при рассмотрении верхней границы поля допуска.

2) **Защищенная приемка.** В данном виде приемки риск принятия неверного (ложноположительного) решения для значений, расположенных достаточно близко к границам поля допуска, уменьшается за счет смещения границ приемочной области внутрь поля допуска на величину так называемой *защитной полосы* g (см. рисунок). И такой подход является оправданным для средств измерений, по результатам измерения с помощью которых принимаются важные решения, например, в торговле, в области охраны окружающей среды, в медицине и т. п. Вывод о соответствии/несоответствии делается на основании попадания значения E в приемочную или браковочную область. Величина g определяется разностью между границей поля допуска и соответствующей приемочной границей и вычисляется на основании умножения величины стандартной неопределенности $u(E)$ на коэффициент r , определяемый на основании вероятности принятия неверного решения, как правило составляющей 5 %, а также функции плотности вероятности, связанной с измеренным значением и обычно рассматриваемой, как подчиняющуюся нормальному закону. Если стандартная неопределенность $u(E)$ существенно меньше величины поля допуска ($2MPE/u(E) \geq 6$), то для обеспечения вероятности ложной приемки, равной 5 %, r

в соответствии с [4] принимается равным 1,65, т.е. $g = 1,65u(E)$.

Таким образом, на сегодняшний день в соответствии как с международными, так и с национальными требованиями оценка соответствия калибруемых средств измерений стала одной из важнейших задач, входящих в сферу ответственности аккредитованной калибровочной лаборатории и требующей от ее сотрудников определенных знаний в области теории вероятностей и теоретической метрологии.

Литература

1. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories : ISO/IEC 17025:2017.
2. Guidelines on decision rules and statements of conformity : ILAC-G8:09/2019.
3. Неопределенность измерений. Часть 4. Роль неопределенности измерений при оценке соответствия : СТБ ISO/IEC Guide 98-4:2019.
4. Технические требования к геометрическим параметрам продукции (GPS). Контроль посредством измерений деталей и измерительного оборудования. Часть 1. Правила принятия решений для проверки соответствия или несоответствия техническим требованиям : СТБ ISO 14253-1-2020.
5. Использование неопределенности измерений при осуществлении деятельности по оценке соответствия в области электротехники : СТБ IEC Guide 115:2019.
6. Государственная система обеспечения единства измерений. Гири классов точности E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} и M_3 . Часть 1. Метрологические и технические требования : ГОСТ OIML R 111-1-2009.

УДК 621.317.39.084.2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНДИКАТОРА КАЧЕСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАСЛА

Джежора А.А., Завацкий Ю.А., Коваленко А.В., Рубаник О.Е.

*Витебский государственный технологический университет
Витебск, Республика Беларусь*

Аннотация. Точное измерение относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r промышленных масел с использованием диэлектрометрических датчиков (IDS) является сложной задачей из-за паразитной емкости, вызванной пространственной структурой IDS. Структура IDS состоит из подложки, изолирующего слоя под электродами и маски припоя над электродами, имеющей периодичность r , экрана Фарадея. Эта структура была смоделирована для определения влияния на ожидаемые значения емкости C , чувствительности S и отклонения D (точности) для типичных значений ϵ_r для промышленных масел.

Ключевые слова: диэлектрометрический датчик (IDS), экран Фарадея, диэлектрическая проницаемость, гидравлическое масло.

MATHEMATICAL MODEL OF THE INDICATOR OF THE QUALITY OF LIQUID PETROLEUM PRODUCTS

Jezhora A., Zavatski Y., Kovalenko A., Rubanik O.

*Vitebsk State Technological University
Vitebsk, Belarus*

Abstract. An accurate measurement of the relative permittivity ϵ_r , of industrial oils using interdigitated dielectric sensors (IDS) is challenging due to the parasitic capacitance caused by the IDS spatial structure. IDS structure consists of a substrate, an insulating layer below the electrodes and a solder mask above the electrodes having a periodicity of r . This structure was simulated to determine the influence on the expected values of capacitance C , sensitivity S , and deviation D (accuracy) for typical values of ϵ_r for industrial oils.

Key words: dielectric sensor (IDS), Faraday shield, dielectric constant, hydraulic oil.

Адрес для переписки: Джежора А.А, Московский пр-т, 72, г. Витебск 210038, Беларусь
e-mail: jezhora@mail.ru

Цель работы: построение математической модели сенсора, расчет параметров и оптимизация его конструкции.

Конструкция сенсора охвачена щитом Фарадея и показана на рис. 1.

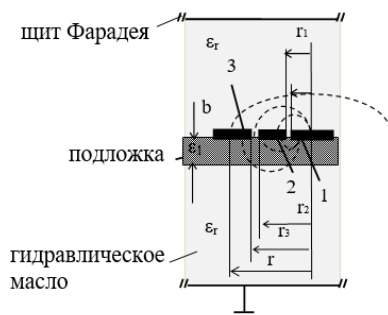


Рисунок 1 – Вид поперечного сечения секции IDS сенсора для математического моделирования

Параметры расчета включали в себя геометрические размеры высокопотенциального электрода 1, электрода охраны 2, низко потенциального чувствительного электрода 3, подложку толщиной b , толщину электродов d , а также диэлектрические характеристики контролируемого масла, окружающей среды и самой подложки.

Электрическое поле создается высокопотенциальным электродом 1 ($V_1 = 1$ В), замыкается на низко потенциальный электрод 3, электрод охраны 2 и заземленные экраны 4 щита Фарадея. Электроды охраны 2 имеют потенциал $V_2 = 0$ В. При этом потенциал земли 0 В, и земля электрически не связана с чувствительными электродами 3 и электродами охраны 2.

Для измерения относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r , контролируемого жидкого диэлектрика необходимо выбрать такие размеры конструкции сенсора, которые бы позволили проводить расчеты относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta_r$ с помощью классических выражений (1), (2) (с методической погрешностью не выше $\pm 0,03\%$).

$$\epsilon_r = C_1 / C_0, \text{ когда } \epsilon_0 = 1, \quad (1)$$

$$\text{tg}\delta_r = \text{tg}\delta_1 - \text{tg}\delta_0 C_0 / C_1, \quad (2)$$

где C_0 , $\text{tg}\delta_0$ – соответственно емкость и тангенс угла диэлектрических потерь сенсора с воздухом;

C_1 , $\text{tg}\delta_1$ – соответственно емкость и тангенс угла диэлектрических потерь сенсора, заполненного контролируемым диэлектриком.

Для построения математической модели сенсора использовался метод зеркально-симметричных схем чувствительных элементов преобразо-

вателей [1]. Расчеты проводились с позиций электростатики.

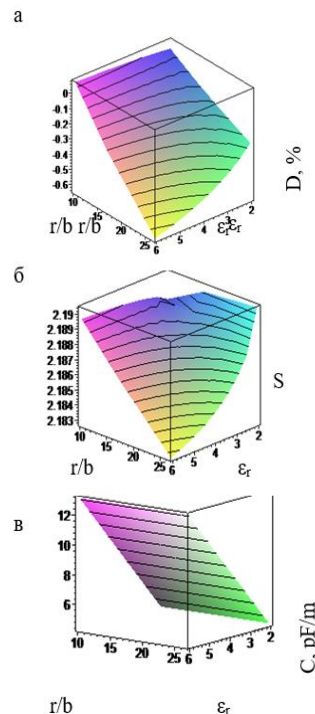


Рисунок 2 – Ожидаемые значения отклонения диэлектрической проницаемости D в %, чувствительности S и емкости C (пФ/м) на единицу длины электродов от ϵ_r для металлизации сенсоров, при различных размерах секции r (8 мм, 5 мм и 3 мм) при равных зазорах $r_1-r_0 = r_3-r_2$ и электродах $r-r_3 = r_0$, когда $b = 0,3$ мм

Поверхностная плотность зарядов $\sigma_{\theta_i}(t)$ на электродах обозначалась двумя индексами. Первый индекс соответствовал номеру электрода на рис. 1, а второй стороне поверхности: 1 – соответствует поверхностной плотности заряда, на стороне электрода обращенной к контролируемому материалу, 2 – на стороне электрода обращенной к подложке.

Наведенные на границе раздела слоев связанные заряды учитывались с помощью метода зеркальных отображений. Они заменялись сосредоточенными зарядами, отраженными от границы раздела двух слоев с коэффициентами пропускания β_{12} , β_{21} и коэффициентами отражения λ_{12} , λ_{21} [1].

Частичная межэлектродная рабочая емкость определялась выражением

$$C_{12} = \frac{L}{(V_1 - V_2)} \left(\sum_{i=n_1+1}^{n_1+n_2} \sigma_{21}(x_i) l_i + \sum_{i=n_1+\dots+n_4+1}^{n_4+\dots+n_5} \sigma_{22}(x_i) l_i \right),$$

где $l_i = \beta_j - \alpha_j$.

Программы для моделирования полей сенсора были написаны с использованием системы компьютерной математики MAPLE.

В имитационных расчетах диэлектрическая проницаемость ϵ_r варьировались от 2 до 5, что соответствует стандартным типичным маслам. Результаты моделирования сенсора изображены в виде 3D-рисунков (рис. 2).

На рис. 2, а представлено отклонения относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r с уменьшением относительного размера секции r/b . Из рисунка видно, что отклонение D линейно уменьшается с уменьшением относительного размера секции r/b и остается практически равными нулю при $r/b=10$ в диапазоне изменений диэлектрической проницаемости ϵ_r от 2 до 5. Это крайне важно для минимизации размеров сенсора. В это время чувствительность сенсора S линейно возрастает с уменьшением размера секции r/b (рис. 2, б). Емкость сенсора C линейно уменьшается с уменьшением диэлектрической проницаемости ϵ_r и практически остается постоянной во всем диапазоне изменений относительного размера секции r/b (рис. 2, в).

Сенсоры IDS обладают рядом достоинств [2, 3]. Во-первых, позволяют определять ϵ_r согласно классическому выражению для плоского конденсатора Maxwell, во вторых, за счет охраняемых электродов и щита Фарадея снизить соотношение сигнал-шум, убрать паразитные емкости, в третьих, минимизировать размеры индикаторов качества масел и осуществлять их удаленный мониторинг.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ, ООО «Дом АВТО», № ГР 20211061 подпрограммы «Техническая диагностика».

Литература

1. Математическая модель сенсора с открытой областью пространства / А. А. Джебора [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2020. – № 11. – С. 22–32.
2. A 3D Faraday shield for interdigitated dielectrometry sensors and its effect on capacitance: a review / A. Risos [et al.] // Sensors. – 2017. – Vol. 17, iss. 1. – P. 77.
3. Risos, A. Interdigitated Sensors: The Next Generation “Sensing Permittivity and Conductivity of Oils-Unaffected by Temperature”: a review / A. Risos // IEEE Sensors Journal. – 2018. – Vol. 18, iss. 9. – P. 3661–3669.

УДК 681.785

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СЛИЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ ЕДИНИЦ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МОДОВОЙ ДИСПЕРСИИ В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

Длугунович В.А., Жумарь А.Ю., Механиков А.В.

*ГНУ «Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В рамках КОOMET в области «Фотометрия и радиометрия» проходят дополнительные сличения эталонов единицы поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне. В международных сличениях принимают участие национальные эталоны поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне Российской Федерации и Республики Беларусь.

Ключевые слова: дополнительные сличения, мощность лазерного излучения, Национальный эталон.

INTERNATIONAL COMPARISONS OF NATIONAL STANDARDS OF THE UNIT OF POLARIZATION MODE DISPERSION IN OPTICAL FIBER

Dlugunovich V., Zhumar A., Mekhanikov A.

*B.I. Stepanov Institute of Physics of the NAS of Belarus
Minsk, Belarus*

Abstract. Within the framework of COOMET in the field of the «Photometry and Radiometry» the supplementary comparisons of the standards of the unit of polarization mode dispersion in optical fiber are underway. National standards of polarization mode dispersion in optical fiber of the Russian Federation and the Republic of Belarus take part in international comparisons.

Key words: supplementary comparison, polarization mode dispersion in optical fiber, National Standard.

*Адрес для переписки: Механиков А.В., пр. Независимости, 68-2, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: a.mekhanikov@ifanbel.bas-net.by*

В 2019 г. Институтом физики НАН Беларуси был создан и введен в эксплуатацию Национальный эталон единиц поляризационной модовой дисперсии (ПМД) в оптическом волокне (ОВ).

Диапазоны воспроизведения и передачи единицы ПМД эталонам низшего звена, калибровочным (поверочным) установкам и рабочим средствам измерений (СИ) ПМД в ОВ размера