

УДК 621.317.39.084.2

## ПРИМЕНЕНИЕ СЕНСОРОВ ОТКРЫТОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСЕЛ

А. А. ДЖЕЖОРА, Ю. А. ЗАВАЦКИЙ, В. А. КОВАЛЕНКО  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

С течением времени масла теряют свои физико-механические и химические свойства.

Значения относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_r$  масел с течением времени обслуживания увеличивается. Процедура измерения  $\epsilon_r$  для контроля состояния масел определена ГОСТ 6581–75. Измерения  $\epsilon_r$  проводятся посредством плоскопараллельной конденсаторной ячейки

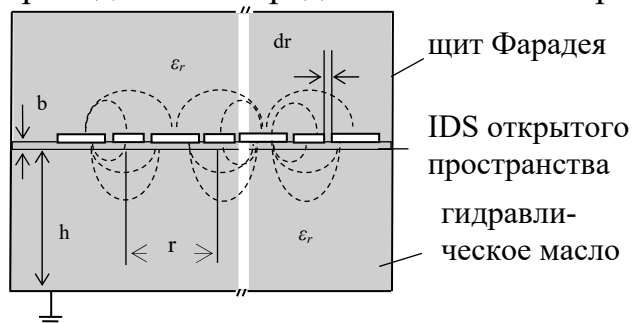


Рис. 1. Сечение IDS открытого пространства со щитом Фарадея

(Maxwell). Для определения начала старения масел были предприняты попытки разработки точных и надежных емкостных сенсоров, выполненных по технологиям изготовления печатных плат не ниже четвертого класса точности на одной подложке. Материал подложки должен обладать низким

температурным коэффициентом расширения, не адсорбировать масла и влагу. Для этого были разработаны конструкции гребенчатых диэлектрических сенсоров (interdigitated dielectrometry sensors (IDS)), выполненных на стеклотекстолите FR-4. Одна из конструкций представлена на рис. 1. Конструкция представляет собой систему чередующихся высокопотенциальных и низкопотенциальных ленточных электродов, разделенных охранными электродами. Такая конструкция сенсора устраняет паразитные внешние наводки электромагнитных полей, максимально использует соотношение сигнал – шум. Емкость IDS зависит от десятка параметров: ширины и длины электродов, их толщины, межэлектродных зазоров, толщины материала подложки, её относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_s$ , диэлектрических свойств контролируемых масел, расстояния до заземленных экранов, числа секций, образующих сенсор. Для измерения диэлектрической проницаемости  $\epsilon_r$  контролируемого масла была поставлена задача определения такой конструкции сенсора, которая бы позволила проводить расчеты относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_r$  с помощью классической формулы для плоского конденсатора с погрешностью не более 0,3 %. Для решения поставленной задачи было проведено численное моделирование

конструкции IDS, представленной на рис. 1. Математическое моделирование осуществлялось посредством метода зеркальных отображений, метода интегральных отображений, зеркально симметричных схем в среде MAPLE. Результаты моделирования для определения оптимальных размеров сенсора приведены на рис. 2.

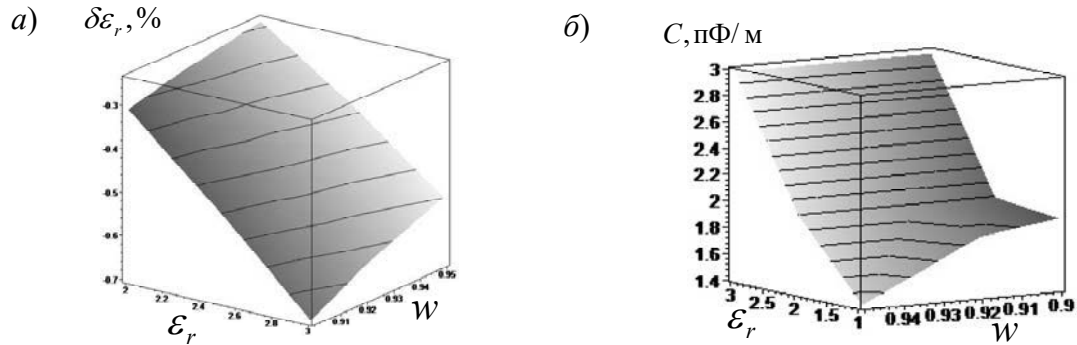


Рис. 2. Зависимости относительной ошибки  $\delta\epsilon_r, \%$  (а), и емкости на единицу длины электродов  $C, \text{ пФ/м}$  (б), для IDS открытого пространства со щитом Фарадея от величины  $\epsilon_r$  и металлизации сенсора  $w$  при  $r/b = 5/0,3$ ,  $h/r = 4$

Чувствительность, точность, емкость сенсора зависят от правильного выбора соотношения  $r/b$ , металлизации поверхности сенсора, диапазона контролируемых масел [1]. Эти соотношения будут изменяться с изменением материала подложки. Изменения диэлектрической проницаемости подложки приводят к новым соотношениям для  $r/b$ , при которых достигается максимально возможная точность определения диэлектрической проницаемости  $\epsilon_r$  контролируемого масла.

Оптимальное соотношение для подложки из FR-4  $r/b = 50/3$ , металлизация сенсора  $w = 0,92$ .

Измерения значений относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_r$  масел проводилось на частоте 500 Гц посредством иммитанса E7-20. Установлено, что в течение срока службы масел увеличение  $\epsilon_r$  составляет от +5 до +10 %, а именно: для промышленного масла марки И-40А  $\epsilon_r = 2,1$ , а для отработанного масла марки И-40А  $\epsilon_r = 2,25$ .

Сенсоры IDS обладают рядом достоинств. Во-первых, позволяют определять  $\epsilon_r$  согласно классическому выражению для плоского конденсатора Махвелл, во-вторых, за счет охранных электродов и щита Фарадея дают возможности снизить соотношение сигнал–шум, убрать паразитные емкости, в-третьих, минимизировать размеры индикаторов качества масел и осуществлять удаленный мониторинг.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Interdigitated sensors: A design principle for accurately measuring the permittivity of industrial oils / A. Risos, N. Long, A. Hunze, G. Gouws // IEEE Sensors Journal. – 2017. – Vol. 17, № 19. – P. 6232–6239.