

УДК 621.317.3

М.И. БАРАНОВ, А.А. КОРОБКО**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ В ЭМУЛЬСИИ ТИПА «ТРАНСФОРМАТОРНОЕ МАСЛО – ВОДА»**

Розглянуто вплив діелектричних втрат на метрологічні характеристики діелькометричного методу визначення вологовмісту у емульсії типу «трансформаторне масло – вода» в резонансному режимі. Проведено аналіз залежності систематичних похибок від резонансної частоти коливального контуру з ємнісним вимірювальним перетворювачем. Визначені величини систематичних похибок вимірювання вологовмісту у вказаній емульсії, що обумовлені впливом електропровідності чистого масла та емульсії. Наведено, що для спрощеної моделі емульсії інженерного типу в діапазоні вологовмісту 10^{-5} – 10^{-1} вплив діелектричних втрат у чистому маслі та емульсії є незначним.

Ключові слова: трансформаторне масло, вода, емульсія, вологовміст, діелькометричний метод, резонансний режим, діелектричні втрати, модель емульсії, ємнісний вимірювальний перетворювач.

Рассмотрено влияние диэлектрических потерь на метрологические характеристики диелькометрического метода определения влагосодержания в эмульсии типа «трансформаторное масло – вода» в резонансном режиме. Проведен анализ зависимости систематических погрешностей от резонансной частоты колебательного контура с емкостным измерительным преобразователем. Определены величины систематических погрешностей измерения влагосодержания в указанной эмульсии, которые обусловлены влиянием проводимостей обезвоженного масла и эмульсии. Показано, что для упрощенной модели эмульсии инженерного типа в диапазоне ее влагосодержания 10^{-5} – 10^{-1} влиянием диэлектрических потерь в обезвоженном масле и эмульсии можно пренебрегать.

Ключевые слова: трансформаторное масло, вода, эмульсия, влагосодержание, диелькометрический метод, резонансный режим, диэлектрические потери, модель эмульсии, емкостной измерительный преобразователь.

In article influence of dielectric losses on metrological characteristics dielcometric method of definition of the maintenance of water in emulsion of type «transformer oil – water» in a resonant mode is considered. The analysis of dependence of regular errors from resonant frequency of an oscillatory contour with the capacitor measuring converter is lead. Sizes of regular errors of definition of the maintenance of water in the indicated emulsion which are caused by influence of conductivity of oil of oil without water and a emulsion are determined. It is shown, that for the simplified model of a emulsion of engineering type in a range of the maintenance of water influence 10^{-5} – 10^{-1} of dielectric losses in clean oil and a emulsion can be neglected.

Key words: transformer oil, water, the emulsion, the maintenance of water, dielcometric method, a resonant mode, dielectric losses, model of the emulsion, capacitor the measuring converter.

Введение. Диелькометрический метод определения влагосодержания в эмульсиях типа «трансформаторное масло – вода» в резонансном режиме предполагает измерение резонансной частоты колебательного контура с использованием емкостного измерительного преобразователя (ИП). Значения резонансных частот такого контура связаны с величиной диэлектрической проницаемости исследуемого вещества (масла или эмульсии), что позволяет определять влагосодержание различных электрофизических моделей эмульсий [1]. В [2] была предложена упрощенная модель эмульсии инженерного типа, позволяющая достаточно просто решать задачу по определению ее влагосодержания на основе знания величин диэлектрических проницаемостей обезвоженного масла и исследуемой эмульсии. В данной идеализированной расчетной модели эмульсия представляла собой равномерно распределенные по объему идеального диэлектрика (масла) идеально проводящие сферы одинакового диаметра. В реальности же обезвоженное трансформаторное масло и эмульсия не являются идеальными диэлектриками, что приводит к уменьшению величины резонансных частот, обусловленных конечной проводимостью как масла, так и эмульсии.

Целью работы является анализ влияния диэлек-

трических потерь в расчетной модели эмульсии типа «трансформаторное масло – вода» на основные метрологические характеристики диелькометрического резонансного метода измерения влагосодержания в указанном жидком неполярном диэлектрике (масле).

Постановка задачи. Для инженерного решения задачи по исследованию влияния влагосодержания W в указанной эмульсии на изменение ее проводимости γ , необходимо знать распределение электрического поля по объему данной эмульсии, включающей внутри себя сферы небольшого диаметра, образованные эмульгированной в эмульсии водой. Подобная модель эмульсии в таком представлении приведена на рис. 1.

Эмульсия в рассматриваемой модели представляет собой равномерно распределенные по объему масла с диэлектрической проницаемостью ϵ_m и проводимостью γ_m миниатюрные сферы одинакового размера из воды с диэлектрической проницаемостью ϵ_v и проводимостью γ_v . Прикладываемое к электродам ИП переменное напряжение измерительного генератора (ИГ) вызывает протекание как токов смещения, вызванных диэлектрическими свойствами эмульсии, так и токов проводимости, обусловленных отличием трансформаторного масла и воды от идеальных изоляторов. Точное решение данной полевой задачи являет-

ся довольно сложным, так как распределение электрического поля в такой системе будет зависеть не только от электрофизических характеристик воды и масла, но и от частоты действующего поля. Поэтому для решения поставленной задачи был использован упрощенный подход, который заключается в следующем.

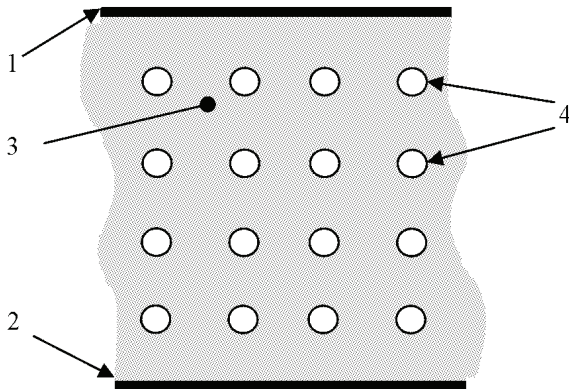


Рисунок 1 – Исходная модель исследуемой эмульсии (1,2 – электроды измерительного преобразователя; 3 – трансформаторное масло 4 – сферические включения воды)

1. Задача решается в квазистатическом приближении, когда электрофизические характеристики эмульсии и ее составных частей не зависят от частоты генерации напряжения ИГ, а распределение электрического поля по объему ИП соответствует указанному расчетному приближению.

2. Исходная модель эмульсии, представленная на рис. 1, заменяется на идеализированную расчетную модель. При этом в этой расчетной модели по аналогии с моделью эмульсии, предложенной в [2], эмульсия представляется в виде одинаковых идеально проводящих миниатюрных сфер, равномерно распределенных по объему масла с диэлектрической проницаемостью ϵ_m и проводимостью γ_m .

3. Решение задачи для идеализированной модели эмульсии, полученное для статического случая (частота ИГ равна нулю), распространяется на диапазон частот (0–1) ГГц, в котором значения диэлектрических проницаемостей трансформаторного масла и воды практически постоянны.

Решение поставленной задачи производится в два этапа. Первый этап – решение полевой задачи по определению зависимости проводимости γ_3 эмульсии от влагосодержания W в ее трансформаторном масле.

Второй этап – решение задачи по определению влияния сопротивления потерь, обусловленных неидеальностью рассматриваемых диэлектриков (масло и вода), в схеме замещения используемого RLC -контура сосредоточенного типа с емкостным ИП на резонансную частоту такого колебательного контура.

Основные расчетные соотношения. Для решения рассматриваемой задачи на первом этапе можно воспользоваться методом электростатической аналогии [3], устанавливающим связь между электрическим полем в проводящей среде и электростатическим полем в непроводящей (диэлектрической) среде с аналогичными геометрическими размерами, но с другими

физическими характеристиками. При этом проводимость γ_3 рассматриваемой эмульсии в виде непроводящей жидкости с равномерно распределенными в ней идеально проводящими сферами изменяется в зависимости от влагосодержания W точно также как и диэлектрическая проницаемость ϵ_3 эмульсии из идеально непроводящей жидкости с той же диэлектрической проницаемостью ϵ_3 и с теми же равномерно распределенными в ней идеально проводящими сферами.

Зависимость диэлектрической проницаемости ϵ_3 эмульсии от величины абсолютного объемного влагосодержания W была определена ранее в виде [2]:

$$\epsilon_3 = \epsilon_m(1 + 3W). \quad (1)$$

Используя соотношение (1) и заменяя в нем указанные диэлектрические проницаемости на проводимости (с учетом метода электростатической аналогии), получаем зависимость проводимости γ_3 исследуемой эмульсии от ее влагосодержания W для идеализированной расчетной модели следующего вида:

$$\gamma_3 = \gamma_m(1 + 3W). \quad (2)$$

Для решения исследуемой задачи на втором этапе была проведена оценка влияния изменения влагосодержания W на величину проводимости γ_3 эмульсии и на частоту генерации ИГ. При этом была использована эквивалентная схема замещения колебательного RLC -контура параллельного типа с ИП, показанная на рис. 2. В данном контуре элементы C_3 и R_3 характеризуют соответствующую электрическую емкость и сопротивление потерь ИП емкостного типа, применяемого для практической реализации диэлькометрии в резонансном режиме [1,2]. Отметим, что в указанной схеме R_3 – сопротивление потерь на постоянном токе, измеренное между электродами ИП (см. рис. 1).

Принимая во внимание, что величина проводимости среды обратно пропорциональна величине ее электрического сопротивления, искомый параметр R_3 для эмульсии определяется следующим выражением:

$$R_3 = \frac{1}{\gamma_m(1 + 3W)} = \frac{R_m}{1 + 3W}, \quad (3)$$

где R_m и γ_m – сопротивление и проводимость обезвоженного масла между электродами ИП (см. рис. 1).

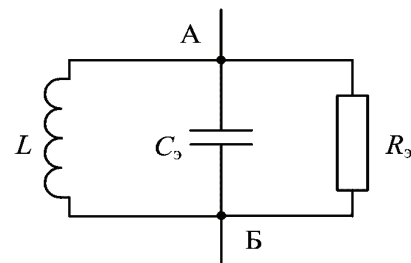


Рисунок 2 – Схема замещения резонансного контура с ИП для определения влияния влагосодержания W на величину проводимости эмульсии γ_3

Как известно, величина R_m определяется в виде:

$$R_m = \rho_m \frac{\Delta h}{S}, \quad (4)$$

где ρ_m – удельное электрическое сопротивление обезвоженного масла; Δh и S – соответственно расстояние

между электродами ИП и их площадь (для случая выполнения ИП в виде плоского конденсатора).

В нашем случае для определения величины ρ_m можно воспользоваться расчетным соотношением, связывающим диэлектрические потери в обезвоженной жидкости (масле) с ее диэлектрической проницаемостью на той же частоте генерации ИГ [4]:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\rho_m \varepsilon_m \varepsilon_0 \omega}, \quad (5)$$

где δ – угол диэлектрических потерь на циклической частоте ω ; $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Подставляя в выражение (5) для обезвоженного масла соответствующие усредненные значения $\varepsilon_m = 2,2$ и $\operatorname{tg} \delta = 10^{-3}$ на частоте 50 Гц [4], можно получить искоемое численное значение $\rho_m = 1,6 \cdot 10^{11}$ Ом·м. Далее, используя допущения, что для циклических частот ω значением до $\sim 10^{11}$ с⁻¹ величины $\operatorname{tg} \delta$ и ε_m для неполярных диэлектриков слабо зависят от частоты [4,5], можно использовать полученное для частоты 50 Гц значение ρ_m и для расчета величины R_m при любой другой частоте применительно к используемому нами ИП емкостного типа. Так как величины ρ_m для разных частот будут разными, то величина ρ_m на частоте f будет определяться выражением следующего вида:

$$\rho_{mf} = \rho_m \cdot \frac{50}{f}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что при $\rho_m = 1,6 \cdot 10^{11}$ Ом·м для нижнего диапазона рассматриваемых частот f , равных $\sim 0,1$ МГц и используемых в ИП, величина $\rho_{m,0,1} = 8 \cdot 10^7$ Ом·м, а для верхнего диапазона указанных частот ~ 100 МГц величина $\rho_{m,100} = 8 \cdot 10^4$ Ом·м.

Полученные значения ρ_{mf} позволяют с помощью (3) и (4) определить величину R_3 для конкретных значений Δh и S . Для определения изменения величины R_3 под действием влаги (в функции влагосодержания W) необходимо определить изменение резонансной частоты RLC -контура, представленного на рис. 2, в зависимости от влагосодержания W . Для этого схему на рис. 2 с параллельным включением резистора R_3 , характеризующего проводимость исследуемой эмульсии, преобразуем на рис. 3 в эквивалентную схему с последовательным включением сопротивления r_3 .

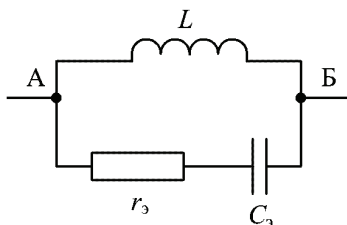


Рисунок 3 – Эквивалентная схема замещения резонансного RLC - контура с ИП для определения влияния величины r_3 на резонансную частоту контура АБ

В соответствии с [6] при малых значениях $\operatorname{tg} \delta$ для сопротивления r_3 имеем следующее соотношение:

$$r_3 = \frac{R_3}{\operatorname{tg}^2 \delta}. \quad (7)$$

Для данного RLC - контура, приведенного на рис. 3, величина резонансной частоты F_3 определяется следующим расчетным соотношением [7]:

$$F_3 = F_0 \sqrt{\frac{z_0^2}{z_0^2 - \frac{r_3^2}{z_0^2}}}, \quad (8)$$

где $z_0^2 = \frac{L}{C_3}$, $F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_3}}$.

Для случая идеальных ИП и ИГ (с нулевыми паразитными электрическими параметрами) и для рассматриваемой идеализированной модели эмульсии [2] определяемая с помощью диэлькометрии в резонансном режиме объемная абсолютная величина влагосодержания W (с размерностью м³/м³) будет равна [1,2]:

$$W = \frac{2B}{3}, \quad (9)$$

где $B = \frac{\Delta F_\varepsilon}{F_{cm}}$ – относительная девиация частоты генерации ИГ; ΔF_ε – абсолютная девиация частоты ИГ (разность резонансных частот генерации ИГ) при последовательном заполнении ИП обезвоженным маслом и исследуемой эмульсией.

Из (9) следует, что величину B находим как:

$$B = \frac{3W}{2}. \quad (10)$$

Важно отметить, что величина B характеризует девиацию резонансных частот ИГ, обусловленную исключительно влиянием влагосодержания W на резонансную частоту генерации применяемого нами ИГ.

Влияние диэлектрических потерь на частоту ИГ характеризует величина A – относительная девиация резонансной частоты ИГ за счет диэлектрических потерь. В рассмотренном случае величина A определяется как отношение абсолютной девиации частоты, обусловленной влиянием диэлектрических потерь, к «невозможному» значению резонансной частоты F_m ИГ, характерной для обезвоженного масла в ИП.

В соответствии с выражением (9) величины измеренных диэлькометрическим резонансным методом влагосодержаний W и систематических погрешностей их определения будут зависеть линейно от относительных девиаций B и A соответственно.

Аналогичным образом в соответствии с выражением (9) соотносятся и абсолютные погрешности определения абсолютного влагосодержания. Укажем, что абсолютная погрешность определения абсолютного влагосодержания W данным методом складывается из суммы погрешностей определения резонансных частот генерации ИГ для обезвоженного трансформаторного масла и эмульсии в ИП. Что касается относительной систематической погрешности определения абсолютного влагосодержания W , то она определяется как отношение суммы абсолютных погрешностей к величине измеряемого абсолютного влагосодержания.

Используя выражения (3), (4), (6) – (8) и (10) для конкретных типов ИП, работающих в диапазоне резонансных частот от 0,1 МГц ($S_{0,1} = 6,21 \cdot 10^{-3}$ м²; $\Delta h_{0,1} = 1,07 \cdot 10^{-3}$ м; $z_{0,1} = 31,6 \cdot 10^3$ Ом) [1] до 100 МГц

($S_{100} = 5,08 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; $\Delta h_{100} = 0,95 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $z_{100} = 17,7 \text{ Ом}$) [8], были определены значения параметров A и B для величин абсолютных влагосодержаний $W = 0$ и $W = 0,1$ (относительные девиации A_0, B_0 – для значений $W = 0$; относительные девиации $A_{0,1}, B_{0,1}$ – для значений $W = 0,1$). Численные результаты данных приближенных расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Систематические погрешности определения резонансных частот генерации ИГ и абсолютного влагосодержания W с учетом диэлектрических потерь в эмульсии

№ п/п	Величина	Частота генерации ИГ, МГц	
		0,1	100
1	A_0 Относительная девиация частоты генерации ИГ, обусловленная учетом влияния диэлектрических потерь в обезвоженном трансформаторном масле (для $W = 0$).	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$
2	$A_{0,1}$ Относительная девиация частоты генерации ИГ, обусловленная учетом влияния диэлектрических потерь в эмульсии (для $W = 0,1$).	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
3	B_0 Относительная девиация частоты генерации ИГ, обусловленная наличием влаги в эмульсии без учета диэлектрических потерь (для обезвоженного трансформаторного масла с $W = 0$).	0	0
4	$B_{0,1}$ Относительная девиация частоты генерации ИГ, обусловленная наличием влаги в эмульсии без учета диэлектрических потерь (для эмульсии с $W = 0,1$).	0,15	0,15
5	$\frac{2}{3} \cdot A_0, \text{ м}^3/\text{м}^3$ Абсолютная систематическая погрешность определения абсолютного влагосодержания в обезвоженном трансформаторном масле, обусловленная учетом влияния диэлектрических потерь (для масла с $W = 0$).	$1,46 \cdot 10^{-5}$	$0,53 \cdot 10^{-6}$
6	$\frac{2}{3} \cdot A_{0,1}, \text{ м}^3/\text{м}^3$ Абсолютная систематическая погрешность определения абсолютного влагосодержания эмульсии, обусловленная учетом влияния диэлектрических потерь в эмульсии (для $W = 0,1$).	$2,53 \cdot 10^{-5}$	$0,93 \cdot 10^{-6}$
7	$2/0,3 \cdot (A_0 + A_{0,1})$ Относительная систематическая погрешность определения абсолютного влагосодержания эмульсии $W = 0,1$, обусловленная суммарным влиянием диэлектрических потерь в обезвоженном масле и в эмульсии.	$4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Выводы

1. С ростом рабочей резонансной частоты генерации ИГ величины относительных девиаций частоты ИГ, обусловленные учетом влияния проводимости масла и эмульсии, уменьшаются. Так для резонансных частот 0,1 МГц и 100 МГц относительные девиации частот генерации ИГ за счет диэлектрических потерь в обезвоженном масле численно составляют значения $2,2 \cdot 10^{-5}$ и $0,8 \cdot 10^{-6}$ соответственно.

2. Для влагосодержания $W = 0,1$ относительная девиация резонансной частоты генерации ИГ, обусловленная уменьшением этой частоты за счет проводимости обезвоженного масла и эмульсии, не превышает значения $3,8 \cdot 10^{-5}$ для частоты ИГ 0,1 МГц.

3. Для влагосодержания $W = 0,1$ относительная девиация резонансной частоты генерации ИГ, обусловленная уменьшением данной частоты за счет проводимости обезвоженного масла и эмульсии, не превышает значения $1,4 \cdot 10^{-6}$ для частоты ИГ 100 МГц.

4. Абсолютная систематическая погрешность определения абсолютного влагосодержания W , обусловленная учетом влияния диэлектрических потерь в эмульсии (для $W = 0,1$), не превосходит численного значения $2,53 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{м}^3$ для частоты ИГ 0,1 МГц.

5. Абсолютная систематическая погрешность определения абсолютного влагосодержания W , обусловленная учетом влияния диэлектрических потерь в эмульсии (для $W = 0,1$), не превышает численного значения $0,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^3$ для частоты ИГ 100 МГц.

6. Для частоты генерации ИГ 0,1 МГц диэлькометрический метод измерения влагосодержания в резонансном режиме позволяет выполнять измерение абсолютного влагосодержания W по формуле (9) без учета диэлектрических потерь до значения W порядка $10^{-4} \text{ м}^3/\text{м}^3$.

7. Для частоты ИГ 100 МГц диэлькометрический резонансный метод измерения влагосодержания позволяет производить измерение абсолютного влагосодержания W по формуле (9) без учета диэлектрических потерь до значения W порядка $3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^3$.

8. При проведении измерений влагосодержания в эмульсии, меньших, чем указано в п.п. 4,5, необходимо учитывать указанные в них систематические погрешности аппаратным или программным путем.

9. Полученные данные по величинам систематических погрешностей, обусловленных влиянием диэлектрических потерь в обезвоженном масле и в эмульсии типа «трансформаторное масло – вода», позволяют определять соответствующие систематические погрешности диэлькометрического резонансного метода измерения влагосодержания W на любых резонансных частотах включительно до 1 ГГц.

10. Полученные результаты позволяют выбирать конструкцию ИП и резонансную частоту ИГ в соответствии с заданными требованиями по диапазону измерения влагосодержания W и требованиями по обеспечению достоверности их измерений.

Список литературы:

1. Рудаков В.В. Повышение чувствительности измерений содержания влаги в трансформаторном масле диэлькометрическим методом в резонансном режиме / В.В. Рудаков,

А.А. Коробко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 50 (1092). – С. 143-149.

2. Рудаков В.В., Электрофизическая модель эмульсии типа минеральное масло – вода инженерного типа / В.В. Рудаков, А.И. Коробко, А.А. Коробко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2009. – № 39. – С. 158-161.

3. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Том 3. – 4-е изд. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. – СПб.: Питер, 2003. – 377 с.

4. Липштейн Р.А. Трансформаторное масло. 3 изд. / Р.А. Липштейн, М.И. Шахнович. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.

5. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (Область слабых полей) / Г.И. Сканава. – М.: Гос. издат., 1942. – 501 с.

6. Эпштейн С.Л. Измерения характеристик конденсаторов. 2-е изд. / С.Л. Эпштейн. – М.: Энергия, 1971. – 220 с.

7. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи / Г.И. Атабеков. – СПб.: Питер, 2009. – 592 с.

8. Рудаков В.В. Высокочувствительный СВЧ измеритель влагосодержания в неполярных диэлектрических жидкостях на основе ступенчатого неоднородного коаксиального резонатора / В.В. Рудаков, А.А. Коробко // Электротехника і електромеханіка – 2016. – №5. – С. 51-56. – doi: 20998/2-74-272X.2016.5.08

References (transliterated):

1. Rudakov V.V., Korobko A.A. Povushenie chustvivelnosti izmerenii vlagosoderzaniya v transformatornom masle dielekmetrichesk kim metodom v rezonansnom regume [Increasing the sensitivity of the moisture content measurements in transformer oil dielectric method in resonant mode]. Visnyk NTU «KhPI» Bulletin of NTU «KhPI». 2014. no. 50 (1092), pp. 143-

149. (Rus).

2. Rudakov V.V., Korobko A.I., Korobko A.A. Elektrofizicheskaaj model velsii tipa mineralnoe maslo – voda ingenernogo tipa [Electrophysical model of behavior emulsion mineral oil – water engineering type]. Visnyk NTU «KhPI» Bulletin of NTU «KhPI». 2009. no. 39, pp. 158-161. (Rus).

3. Demirchyan K.S., Neyman L.R., Korovkin N.V., Chechurin V.L. Teoreticheskie osnovy elektrotehniki [Theoretical bases electrical engineering]. SPb., Piter Publ., 2003. 377 p.

4. Lipshteyn R.A., Shakhnovich M.I. Transformatornoe maslo [The transformer oil]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 296 p.

5. Skanavi G.I. Fizika dielektrikov (Oblast slabykh poley) [Physics of dielektrik (Area of weak fields)]. Moscow, Gos. izdat. Publ., 1942. 501 p.

6. Epshteyn S.L. Izmereniya kharakteristik kondensatorov [Measurement of characteristics of condensers]. Moscow, Energiya Publ., 1971. 220 p.

7. Atabekov G.I. Teoreticheskie osnovy elektrotehniki. Lineynye elektricheskie tsepi [Theoretical of a basis electrical engineering. Linear electric circuits]. SPb., Piter Publ., 2009. 592 p.

8. Rudakov V.V., Korobko A.A. Vvisokochuvstvitelnyy SVCh izmeritel vlagosoderzhaniya v nepolyarnyih daelektricheskikh zhidkostyakh na osnove stupenchatogo neodnorodnogo koaksialnogo rezonatora [High-sensitivity of the MICROWAVE a measuring instrument the maintenance of water in not polar dielectric liquids on the basis of the step non-uniform coaxial resonator]. Elektrotehnika i elektromehaniка-Electrical engineering & electromechanics, 2016, no.5, pp.51-56. (rus). doi:20998/2-74-272X.2016.5.08

Postynula (received) 15.03.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналіз впливу діелектричних втрат на метрологічні характеристики діелектричного резонансного методу визначення вологовмісту в емульсії типу «трансформаторне масло – вода» / М.І. Баранов, О.А. Коробко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 15 (1237). – С. 12-16. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0740.

Анализ влияния диэлектрических потерь на метрологические характеристики диэлектрического резонансного метода определения влагосодержания в эмульсии типа «трансформаторное масло – вода» / М.И. Баранов, А.А. Коробко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 15 (1237). – С. 12-16. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0740.

Analysis of the effect of dielectric losses on the metrological characteristics of the dielectric-resonance method for determining moisture content in an emulsion of the type «transformer oil – water» / M.I. Baranov, A.A. Korobko / Bulletin of NTU «KhPI». Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 15 (1237). – С. 12-16. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-0740.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Баранов Михайло Іванович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник НДПКИ «Молнія» НТУ «ХПІ»; тел.: (057) 707-68-41; e-mail: eft@kpi.kharkov.ua.

Баранов Михаил Иванович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник НИПКИ «Молния» НТУ «ХПІ»; тел.: (057) 707-68-41; e-mail: eft@kpi.kharkov.ua.

Baranov Michail Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Main Researcher Research & Design Institute «Molniya» of NTU «KPI»; tel.: (057) 707-68-41, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua.

Коробко Олександр Анатолійович – аспірант кафедри Інженерної електрофізики, НТУ «ХПІ»; тел.: +38 (093) 650-80-88; e-mail: andarleks@gmail.com

Коробко Александр Анатольевич – аспирант кафедры Инженерной электрофизики, НТУ «ХПІ»; тел.: +38 (093) 650-80-88; e-mail: andarleks@gmail.com

Korobko Aleksandr Anatolevych – graduate student of the Department of Engineering Electrophysics, NTU «KPI»; phone:+38 (093) 650-80-88; e-mail: andarleks@gmail.com.