УДК 665.7.03 (045)

І. В. Морозова

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЮ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАФТОПРОДУКТІВ

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: iramoro@mail.ru

Розглянуто можливість підвищення ефективності контролю якості вуглеводневих рідин шляхом вимірювання діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних утрат нафтопродуктів за зниженої частоти і малої напруги на ємнісному вимірювальному перетворювачі.

Ключові слова: діелектрична проникність, тангенс кута діелектричних втрат, мостовий метод вимірювання, вуглеводнева рідина.

Вступ. Одним з важливих фізичних параметрів вуглеводневих рідин є діелектрична проникність ε і тангенс кута діелектричних втрат tgδ, які пов'язані з різного роду молекулярними перетвореннями й енергетичними взаємодіями, що відбуваються в рідкій системі. У цьому сенсі діелектрична проникність і діелектричні втрати за своєю чутливістю значно перевершують такі властивості, що широко застосовуються у фізико-хімічному аналізі, як густина, в'язкість, показник заломлення та ін.

Зв'язок між діелектричною проникністю і структурою речовини є встановленим і тому вимірювання ε з великою точністю після можливих фізичних або хімічних впливів на речовину дозволяє глибше зрозуміти процеси, що відбуваються в досліджуваному об'єкті.

Існує багато методів вимірювання електроємності, проте мостовий метод є найбільш поширеним, простим, надійним і досить точним. Для вимірювання електроємності використовують різні мостові схеми [1]. Найбільшу стійкість проти впливу зовнішніх факторів у процесі експлуатації приладу мають трансформаторні мости з тісним індуктивним зв'язком між плечовими елементами [2].

Ефективність застосування трансформаторних мостів для вимірювання неелектричних величин випливає з можливості застосування як вимірювального перетворювача трьохелектродного конденсатора. Основною перевагою трьохелектродного конденсатора є те, що його пряма ємність залежить тільки від діелектричних властивостей середовища між вимірювальними електродами і не залежить від інших часткових ємностей та ємності з'єднувального кабелю. Втрати прямої ємності визначаються тільки втратами, що відбуваються у контрольованому діелектрику.

Постановка завдання. Попередні дослідження [3] застосування методу ємнісного методу вимірювання діелектричної проникності ε і тангенса кута діелектричних втрат tgδ авіапалив для визначення смолянистих сполук і схильності цих рідин до окиснення показали, що ємнісний метод становить певний інтерес для подібних досліджень. Надалі доцільно проводити дослідження tgδ на низьких частотах і за малої напруги. За малої живильної напруги зменшується напруженість поля у вимірювальній комірці і знижується роль електронної поляризовності (зміщення електронних оболонок), яка властива неполярним вуглеводневим рідинам, що становлять основу авіапалив. Одночасно підвищується роль дипольно-орієнтаційної поляризації, властивої молекулам полярних речовин, якими є зокрема смолянисті й сірчисті речовини, що входять до складу палив. Зі зменшенням енергії індуктованого диполя роль дипольно-орієнтаційної поляризації з підвищенням температури зростає. У разі підвищення температури полярні молекули отримують теплову енергію і дістають можливість орієнтуватися в електричному полі, що приводить до максимуму в температурному ході tgδ.

Вимірювати tgδ за низьких частот і малої напруги складно, оскільки потрібна унікальна вимірювальна мостова схема з високою чутливістю і достатньою роздільною здатністю.

Серед вітчизняних низькочастотних вимірювачів *R, L, C* єдиним придатним для цих цілей приладом є міст змінного струму типу Р5084, який використовувався в подальших дослідженнях. У приладі застосоване оригінальне вимірювальне коло, що дозволило істотно розширити діапазон вимірювання в області високих імпедансів і досягти високої точності під час вимірювання tgδ на низькій робочій частоті. Якщо ємність перетворювача не більша за 100 *pF*, цей міст дозволяє за робочої частоти 100 Гц вимірювати tgδ з похибкою близько 0,0003–0,0005. Крім того, в приладі Р5084 є режим роботи з пониженням (до100 мВ) напруги на об'єкті вимірювання, що в розглядуваному випадку має принципове значення. Досягнуті в приладі Р5084 технічні характеристики в області високих імпедансів близькі до гранично досяжних з використанням відомих принципів побудови вимірювальних кіл.

Основні труднощі в подальшому підвищенні чутливості й точності вимірювальних перетворювачів параметрів ємнісних датчиків полягають у такому. По-перше, за низької робочої частоти імпеданс датчика виявляється дуже великим, близько 100 МОм, а струм, що протікає через датчик, украй малим. За прийнятної робочої напруги близько 1 В він становить 10^{-8}–10^{-9}. У цих умовах на точність вимірювань істотно впливають електричні наведення на перетворювач і з'єднувальні дроти, на вимірювальне коло, а також струми витікання на елементах конструкції. Усе це вимагає ретельного й досить складного захисту вимірювального кола. При цьому необхідно враховувати, що поля завад у діапазоні низьких (промислових) частот дуже великі.

По-друге, вимірювання з високою точністю tgδ вимагає виділення відповідного інформативного параметра датчика – квадратичною основному сигналу складової його вихідного струму в умовах, коли ця складова на декілька порядків менша від другої складової. Для цього потрібне створення вимірювальних кіл з дуже стабільними фазовими характеристиками і зразкових заходів з високою добротністю.

З урахуванням малого рівня вимірювальних сигналів і високого імпедансу перетворювача (а отже, і високого імпедансу вживаних зразкових заходів) це є дуже складним завданням. Нарешті, перетворювач підключається до вимірювача за допомогою кабелів і комутаційних пристроїв, паразитні параметри яких у декілька разів можуть перевищувати значення вимірювальних величин. Тому потрібні спеціальні заходи щодо нейтралізації впливу цих параметрів.

Результати досліджень. Методика експерименту з визначення тангенса кута діелектричних втрат була така ж, як і в попередніх дослідженнях [3]. Досліджуване паливо в кількості 100 мл заливали у вимірювальну комірку, що являє собою ємнісний перетворювач, підключений до експериментального вимірювального моста змінного струму типу Р5084 за чотиризатискальною схемою. Напруженість поля у вимірювальній комірці становила близько E = 50 В/м. Комірку нагрівали до температури 130 °С. У процесі неперервного нагрівання проводили реєстрацію температури й показань приладу, тобто зміну ємності перетворювача C і тангенса кута діелектричних втрат tgδ. Результати досліджень наведено в табл. 1 і 2. Дослідження проводили з вихідними й опроміненими зразками палива РТ, яке зберігалося протягом 12 місяців, а також і свіжим.

Оцінка збіжності результатів показала, що для зразків вихідного палива відхилення результатів кількаразових вимірювань від середнього значення не перевищували 1 %.

Як видно з табл. 1, 2 у температурному ході спостерігається стрибкоподібна зміна, у той час, як у попередніх експериментах зміна tgδ за напруженості понад E = 2500 В/м залежно від температури має експоненціальний закон з максимумом за певної температури. Це може бути пов'язано з тим, що в міру звільнення молекул дипольно-орієнтаційна поляризація зростає з підвищенням температури, що зумовлює за зниженої напруги

живлення різке збільшення tgδ. Потім, коли всі молекули дістали можливість орієнтації в електричному полі, дипольно-орієнтаційна поляризація майже стабілізувалася.

Таблиця 1

Результати вимірювань tgδ і ε для зразків товарного палива РТ (термін зберігання палива 12 місяців у лабораторних умовах)

t,°C	Зразок 1		Зразок 2		Зразок 3	
	tgδ, 10^{-4}	ε	tgδ, 10^{-4}	ε	tgδ, 10^{-4}	ε
20	81	2,0970	81	2,0799	81	2,0857
30	81	2,0795	81	2,0653	81	2,07038
40	82	2,0614	81	2,0493	82	2,0548
50	83	2,0493	82	2,0313	83	2,0393
60	83	2,0253	83	2,0132	83	2,0244
70	84	2,0132	83	1,9951	84	2,0092
80	85	2.0012	84	1,9831	85	1,9937
90	85	1,9831	85	1,9698	85	1,9784
95	135	1,9771	133	1,9570	134	1,9707
100	135	1,9650	134	1,9518	135	1,9631
110	135	1,9530	135	1,9433	135	1,9478
115	185	1,9409	185	1,9349	186	1,9401
120	186	1,9289	186	1,9228	187	1,9325
130	187	1,9228	187	1,9108	188	1,9179

Таблиця 2

Результати вимірювань tgδ і ε зразків опроміненого товарного палива РТ після зберігання

t,°C	Час експозиції			
	5 хв		10 хв	
	tgδ, 10^{-4}	ε	tgδ, 10^{-4}	ε
20	80	2,0966	81	2,0966
30	81	2,0794	81	2,0785
40	82	2,0623	82	2,0603
50	83	2,0483	82	2,0483
60	83	2,0311	131	2,0301
70	84	2,0145	132	2,0150
80	132	1,9939	133	1,9999
90	132	1,9767	134	1,9648
100	133	1,9586	134	1,9698
110	134	1,9423	135	1,9577
120	135	1,9254	137	1,9426

Стрибкоподібна зміна tgδ для свіжого палива сталася за значно вищої температури, ніж для того, що зберігалося протягом 12 місяців, а отже, можна припустити, що це пов'язано з меншим умістом полярних і смолистих речовин у свіжому паливі, ніж у тому, що зберігалося.

Залежність діелектричної проникненості від температури залишається лінійною, тобто з підвищенням температури відбувається лінійне зменшення значення ε палива зі швидкістю $\Delta\varepsilon = 0{,}014 – 0{,}016$ на кожні $\Delta 10$ °C.

Опромінення зразків палива (після зберігання) за допомогою ртутно-кварцової лампи СВД-120А потужністю 120 Вт на відстані 0,12 м протягом деякого часу призводить до

стрибкоподібної зміни tgδ за нижчої температури (див. табл. 1). Так, за експозиції зразка палива протягом 5 хв. зміна tgδ відбувається за температури 73–74°С, а за експозиції 10 хв – 67– 68 °С, тобто стрибок tgδ палива після опромінення зрушується в бік нижчих температур, а саме: в першому випадку Δt_1 = 20 °С і в другому Δt_2 = 28 °С відносно вихідного зразка (див. табл. 1).

Висновок. Із проведених досліджень випливає, що метод вимірювання тангенса кута діелектричних втрат з пониженим живленням вимірювального перетворювача становить інтерес для розроблення методу оцінювання здатності авіапалив до смолоутворення. Однак подальше поліпшення метрологічних характеристик вимірювача tgδ так само, як і створення простого, потребує проведення ґрунтовних досліджень із вдосконалення принципів побудови вимірювальних кіл.

Список літератури

1. *Карандеев К. Б.* Мостовые методы измерений / К. Б. Карандеев – К.: Гостехиздат, 1958. – 247 с.
2. *Гриневич Ф. Б.* Трансформаторные измерительные мосты / Ф. Б. Гриневич, А. Л. Грохольский – М.: Энергия, 1970. – 280 с.
3. *Морозов В. И.* Влияние примесей дизельного топлива и бензина на диэлектрические потери топлива РТ / В. И. Морозов, И. М. Третьяков // Исследование процессов подготовки, применения и контроля качества ГСМ и спец жидкостей: сб. научн. тр. – К: КИИГА, 1988. – С. 40 – 43.
4. *Хиппель А. Р.* Диэлектрики и волны / А. Р. Хиппель – М.: Иностр. лит., 1960. – 438 с.
5. *Богородицкий Н. П.* Теория диэлектриков / Н. П. Богородицкий, Ю. М. Волокобинский – М.: Энергия, 1965. – 341 с.
6. *Морозов В. И.* Измерение малых изменений диэлектрической проницаемости углеводородных жидкостей / В. И. Морозов, С. Т. Усатенко, В. Н. Ляшенко // ЭОМ, – 1978. – №4 (82). – С. 68 – 70.
7. *Богородицкий Н. П.* Теория диэлектриков / Н. П. Богородицкий, Ю. М. Волокобинский – М.: Энергия, 1965. – 341 с.
8. *Шахпаронова М. И.* Жидкие углеводороды и нефтепродукты / М. И. Шахпаронова – М.: Энергия, 1989. – 193 с.
9. *Чельцов А. В.* Измерительные устройства для контроля качества нефтепродуктов / А. В. Чельцов – М.: Наука, 1981. – 264 с.
10. *Ханов Н. И.* Измерения количества и качества нефти и нефтепродуктов при сборе, транспортировке, переработке и коммерческом учете / Н. И. Ханов – М.: Наука, 2000. –270 с.

И. В. Морозова

Повышение эффективности контроля диэлектрических свойств нефтепродуктов

Рассмотрена возможность повышения эффективности контроля качества углеводородных жидкостей путём измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь нефтепродуктов при пониженной частоте и малом напряжении на ёмкостном измерительном преобразователе.

I. V. Morozova

Dielectric properties verification efficiency improvement for mineral oil

Possibility for quality verification efficiency improvement of hydrocarbon liquids is considered using measurements of dielectric permittivity and the loss angle of mineral oil at the lowered frequency and small voltage on the capacitor measuring converter.