



УКРАЇНА

(19) UA (11) 28453 (13) U
(51) МПК (2006)
G01R 31/02МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ТЕРМОШУМОВИЙ СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

1

2

(21) u200708680

(22) 27.07.2007

(24) 10.12.2007

(72) КОЛОСНІЧЕНКО МАРИНА ВІКТОРІВНА, UA,
СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA, ПОЛЬКА
ТЕТЯНА ОЛЕКСІЇВНА, UA, КОЛОСНІЧЕНКО
ОЛЕНА ВОЛОДИМИРІВНА, UA(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, UA

(56)

(57) Термошумовий спосіб контролю якості діелектричних матеріалів, який полягає в тому, що з матеріалу, що досліджується, знімають шумову напругу, посилюють її в смузі частот теплових флюктуацій, квадратуєть миттєві значення шумової напруги разом з власними шумами посилюючого тракту, усереднюють квадратовану напругу і виділяють постійну складову напруги U_1 , який **відрізняється** тим, що отриману постійну складову напругу U_1 запам'ятовують, переривають шумову напругу матеріалу, що досліджується, після квадратування миттєвого значення шумової напруги посилюючого тракту, усереднюють квадратовану напругу, виділяють

постійну складову напруги U_2 , яку запам'ятовують, перетворюють шумовий струм матеріалу, що досліджується, в другу шумову напругу, яку посилюють в тій самій смузі частот теплових флюктуацій, квадратуєть миттєві значення посиленої напруги, усереднюють його і виділяють постійну складову U_3 , яку запам'ятовують, закорочують шумовий струм, квадратуєть миттєве значення напруги власних шумів перетворення і посилення, усереднюють квадратовану напругу, виділяють постійну складову U_4 , яку запам'ятовують, а після цього визначають активну складову повного опору матеріалу за формулою

$$\operatorname{Re} Z = S \sqrt{\frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4}},$$

де S - крутість перетворення шумового струму матеріалу в напругу,

$\operatorname{Re} Z$ - активна складова повного опору Z матеріалу, яку порівнюють з допустимим значенням $\operatorname{Re} Z_0$ зразкового матеріалу.

Корисна модель відноситься до області випробування матеріалів за їх електричними властивостями і може бути використана для оцінки якості діелектричних матеріалів, зокрема, текстильних матеріалів, шкіри, полімерних плівок тощо, за рівнем їх теплових шумів.

Відомо, що ідеальні діелектрики не поглинають і не розсіюють електричну енергію. Завдяки цій властивості діелектричні матеріали широко використовуються в якості захисних і ізоляційних матеріалів. На практиці будь-якому діелектричному матеріалу через порушення його структури або наявності домішок властиві дисипативні втрати, що виникають в процесі поляризації. Наявність дисипативних втрат обумовлює поглинання та розсіювання електричної енергії. Чим менші питомі втрати в діелектричному матеріалі, тим вища його якість.

Теплові електричні флюктуації або тепловий шум в діелектричному матеріалі обумовлені наявністю термозбуджених поляризуємих молекул, що утворюють елементарні флюктуруючі диполі [Ван-дер-Зил А. Шум. Источники, описание, измерение. Пер. с англ. -М.: Советское радио. - 1973. -с.27-30]. Рівень теплових шумів є пропорційним активній складовій повного опору матеріалу, тобто визначається його дисипативними втратами. Тому за рівнем теплових шумів можна оцінювати якість того чи іншого діелектричного матеріалу. Такий контроль зручний тим, що тепловий шум можна вимірювати в матеріалі незалежно від того чи знаходиться контрольований об'єкт у робочому стані, наприклад, під напругою, чи в режимі зберігання. Це обумовлено тим, що рівень теплового шуму не залежить від зовнішньої електричної напруги або струму.

(13) U

(11) 28453

(19) UA

Відомий термошумовий спосіб контролю якості діелектричних матеріалів [Саватеев А.В. Шумовая термометрия. -Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отделение. -1987.- с.80-82], при якому з матеріалу, що досліджується, який нагрітий за рахунок діелектричних втрат, знімають шумову напругу теплових флюктуацій, вимірюють середній квадрат шумової напруги, визначають внутрішню температуру за дисперсією теплових шумів, а про якість матеріалу судять за перевищенням температури матеріалу відносно навколишнього середовища.

У високоякісних матеріалах дисипативні втрати невеликі, саме тому і перевищення температури є невеликим, особливо при роботі матеріалу в слабких електричних полях. Оцінка якості діелектричних матеріалів в таких умовах стає малодостовірною [Подорольський А.Н. Чувствительность и погрешность термофлюктуационного метода измерения интегральной по толщине температуры диэлектрика //Измерительная техника -1972.-№2.- с.37-40].

Для контролю якості діелектричних матеріалів використовується спосіб, оснований на резонансному виділенні теплових шумів матеріалу і додатковому вимірюванні добротності резонансності контуру з матеріалом, що досліджується, та без нього [Карба Л.П. Измерение коэффициента шума и активного сопротивления двухполюсников на радиочастотах //Известия ЛЭТИ им. В.Н. Ульянова (Ленина). - 1969. -выпуск 80 -с.57-60]. Критерієм якості в цьому випадку є значення активного опору діелектрика, яке характеризує рівень дисипативних втрат.

Визначення активного опору матеріалу за дисперсією теплових шумів, що виділяються резонансним контуром, пов'язано із рядом складностей (врахування значень коефіцієнта посилення в реальній смузі частот, похибки вимірювання добротності, температури всередині діелектрика, рівня власних шумів вимірювальної схеми тощо). Саме тому точність оцінки якості діелектричного матеріалу стає низькою.

Відомий також термошумовий спосіб контролю якості діелектричних матеріалів [Скрипник Ю.О., Шевченко К.Л. Радиотепловий метод неруйнівного контролю діелектричних матеріалів і виробів //Вісник київського національного університету технологій та дизайну. -2005. -№5(25).- с.30-36], який полягає в тому, що з матеріалу, що досліджується, знімають шумову напругу, посилюють її в смузі частот теплових флюктуацій, квадратують миттєві значення шумової напруги разом з власними шумами посилюючого тракту, усереднюють квадратовану напругу і виділяють постійну складову напруги U_1 .

Крім того у відомому способі вимірюють відокремлену постійну складову напруги, що пропорційна дисперсії теплових шумів. Активну складову повного опору матеріалу, що досліджується, вираховують за виміряними значеннями дисперсії, температури матеріалу, смуги частот шумової напруги, що посилюється, коефіцієнту посилення та іншим параметрам, що

входять до рівняння вимірювального перетворення.

Реальна нестабільність посилення, смуги пропускання частот, крутизни квадратичного перетворення інших параметрів вимірювального перетворення, непостійність температури матеріалу і навколишнього середовища, вплив власних шумів посилювального тракту не дозволяють отримати високу точність вимірювання активної складової повного опору діелектричного матеріалу і тим самим забезпечити підвищення достовірної оцінки його якості.

В основу корисної моделі покладена задача створення такого термошумового способу контролю якості діелектричних матеріалів, в якому шляхом введення нових операцій було б забезпечено підвищення достовірної оцінки якості діелектричних матеріалів.

Поставлена задача досягається тим, що в термошумовий спосіб контролю якості діелектричних матеріалів, який полягає в тому, що з матеріалу, що досліджується, знімають шумову напругу, посилюють її в смузі частот теплових флюктуацій, квадратують миттєві значення шумової напруги разом з власними шумами посилюючого тракту, усереднюють квадратовану напругу і виділяють постійну складову напруги U_1 згідно корисної моделі, отриману постійну складову напруги запам'ятовують, переривають шумову напругу матеріалу, що досліджується, після квадратування миттєвого значення шумової напруги посилюючого тракту та усереднення квадратованої напруги, виділяють постійну складову напруги U_2 , яку запам'ятовують, перетворюють шумовий струм матеріалу, що досліджується, в другу шумову напругу, яку посилюють в тій самій смузі частот теплових флюктуацій, квадратують миттєві значення посиленої напруги, усереднюють його і виділяють постійну складову U_3 , яку запам'ятовують, закорочують шумовий струм, квадратують миттєве значення напруги власних шумів перетворення і посилення, усереднюють квадратовану напругу, виділяють постійну складову U_4 , яку запам'ятовують, а після цього визначають активну складову повного опору матеріалу за формулою

$$\operatorname{Re} Z = S \sqrt{\frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4}},$$

де S - крутизна перетворення шумового струму матеріалу в напругу,

$\operatorname{Re} Z$ - активна складова повного опору Z матеріала.

Введення в термошумовий спосіб контролю якості діелектричних матеріалів нових операцій по запам'ятовуванню трьох додаткових постійних напруг, одна з яких пропорційна дисперсії напруги власних шумів, друга - пропорційна дисперсії шумового струму об'єкта, що досліджується і третя - пропорційна дисперсії власних шумових струмів і напруг, наступне додавання різниці першої та другої напруги, різниці третьої і четвертої напруги, ділення першої різниці напруги на другу різницю, вирахування кореня квадратного із частинного від ділення зазначених напруг і отримання результату вирахування активної складової повного опору

матеріалу з урахуванням крутизни перетворення шумового струму матеріалу, що досліджується, в напругу дозволяє виключити вплив дестабілізуючих факторів і власних шумів посилювально-перетворювальних елементів на точність вимірювання активної складової повного опору матеріалу, що досліджується, що забезпечує підвищення достовірності оцінки якості діелектричних матеріалів.

На кресленні представлена схема, що дозволяє здійснити спосіб, що пропонується.

Позицією 1 позначено матеріал, що досліджується, шумову напругу і струм якого знімають за допомогою електродів 2 і 3. Перемикач 4 і ключі 5, 6 використовуються для почергового підключення перетворювача напруги 7 і перетворювача струму 8 до електродів матеріалу, що досліджується. Смуговий посилювач 9 і аналого-цифровий перетворювач 10 пов'язують виходи перетворювачів напруги і струму з мікроЕОМ 11, до виходу якого підключено дисплей 12. Перемикач 4, ключі 5 та 6 керуються сигналами з мікроЕОМ 11.

Термошумовий спосіб контролю якості діелектричних матеріалів здійснюється наступним чином.

В матеріалі, що досліджується 1 внаслідок теплових флюктуацій електричних зарядів (електронів, іонів, диполів) в речовині генерується шумова напруга. Середнє квадратичне (ефективне) значення цієї напруги згідно з формулою Найквіста визначається виразом

$$U_{n1} = \sqrt{4kT\Delta f \operatorname{Re} Z}, \quad (1)$$

де k - постійна Больцмана;

T - термодинамічна температура матеріалу;

Δf - смуга частот, в якій вимірюється шумова напруга;

Z - електричний повний опір матеріалу;

$\operatorname{Re} Z$ - активна (дисипативна) складова повного опору.

При паралельній схемі заміщення електронної системи 2-3 активна складова повного опору

$$\operatorname{Re} Z = \left[\frac{\operatorname{tg} \delta}{\omega \cdot c (1 + \operatorname{tg}^2 \delta)} \right], \quad (2)$$

де $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кута діелектричних втрат матеріалу;

c - ємність електродної системи.

З формули (2) витікає, що в ідеальному діелектрику, коли $\operatorname{tg} \delta = 0$ флюктуації, а відповідно і шум відсутній. В електродах з матеріалу, що є гарним провідником ($\operatorname{tg} \delta = \infty$) тепловий шум також майже відсутній. В реальному діелектричному матеріалі тепловий шум є пропорційним дисипативним втратам ($\operatorname{tg} \delta > 0$).

По командам мікро ЕОМ 11 перемикач 4 встановлюється у верхньому положенні, а ключі 5 і 6 замикаються. При цьому шумова напруга матеріалу (1) через високоомний перетворювач напруги (повторювач напруги) 7 потрапляє на смуговий посилювач 9, де посилюється, в смузі частот Δf теплових флюктуацій до значення

$$U_{n3} = K_1 \cdot (U_{n1} + U_{n2}), \quad (3)$$

де K_1 - коефіцієнт посилення смугового посилювача;

K_{n2} - середнє квадратичне значення власних шумів перетворювача 7 і посилювача 9.

Миттєві значення посиленої напруги (3) перетворюються в аналогово-цифровому перетворювачі 10 у цифрові сигнали, що потрапляють у мікроЕОМ 11. Цифрові сигнали згідно способу квадратується та усереднюються у процесорі мікроЕОМ. З усередненої напруги виділяється постійна складова напруги

$$U_1 = K_1^2 \left(\overline{U_{n1} + U_{n2}} \right)^2. \quad (4)$$

У виразі (4) шумові напруги U_{n1} і U_{n2} між собою неконтрольовані, так як є шумами двох незалежних джерел. Саме цьому їх усереднений добуток

$$\left(\overline{U_{n1} \cdot U_{n2}} \right) = 0. \quad (5)$$

З урахуванням (5) постійна напруга (4) буде мати вигляд

$$U_1 = K_1^2 \cdot \left(\overline{U_{n1}^2} + \overline{U_{n2}^2} \right), \quad (6)$$

де $\overline{U_{n1}^2}$ і $\overline{U_{n2}^2}$ - дисперсії шумових напруг.

Отримане значення постійної напруги U_1 запам'ятовують.

Далі переривають шумову напругу матеріалу, що досліджується. Для цього розмикають ключі 5 та квадратуєть миттєве значення напруги власних шумів посилюючого тракту, що включає повторювач напруги 7, перетворювач струму 8 та смуговий посилювач 9. В мікроЕОМ 11 квадратуєть миттєве значення шумової напруги посилюючого тракту, усереднюють квадратовану напругу, виділяють постійну складову напруги.

$$U_2 = K_1^2 \overline{U_{n2}^2}, \quad (7)$$

яку також запам'ятовують.

За командою мікроЕОМ 11 перемикач 4 переводиться в нижнє положення, а ключ 6 роз'єднується. При цьому шумовий струм матеріалу, що досліджується, потрапляє на низькоомний вхід перетворювача струму 8, в якому перетворюється в другу шумову напругу.

$$U_{n4} = S \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{\operatorname{Re} Z}}, \quad (8)$$

де S - крутизна перетворення шумового току матеріалу в напругу.

Шумову напругу (8) посилюють в тій самій смузі частот теплових флюктуацій смуговим посилювачем 9. Квадратуєть миттєве значення посиленої напруги, усереднюють його і виділяють постійну складову напруги в мікроЕОМ 11. Значення постійної складової напруги з урахуванням власних шумів U_{n5} .

$$U_3 = K_1^2 \cdot \left(\overline{U_{n4}^2} + \overline{U_{n5}^2} \right), \quad (9)$$

запам'ятовують в мікроЕОМ. Другий член виразу (9) відображає власні шуми перетворення струму в перетворювачі струму 8 і посилення в смуговому посилювачі 9.

За командою мікроЕОМ замикають ключ 6. В результаті цього закорочують шумовий струм матеріалу, що досліджується. Квадратуєть миттєві значення напруги власних шумів перетворювача струму і його посилювання. Усереднюють

квадратовану напругу і виділяють постійну складову напруги.

$$U_4 = K_1^2 U_{n5}^2, \quad (10)$$

Постійну напругу U_4 також запам'ятовують.

В процесорі мікроЕОМ із запам'ятованих напруг (6) і (7) підсумовують різницю

$$U_1 - U_2 = K_1^2 U_{n1}^2, \quad (11)$$

а з напруг (9) і (10) - різницю

$$U_3 - U_4 = K_1^2 U_{n4}^2. \quad (12)$$

Далі різницю (11) у процесорі ділять на різницю (12), отримуючи

$$\frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4} = \frac{U_{n1}^2}{U_{n4}^2}. \quad (13)$$

Підставляючи у вираз (13) значення дисперсії шумових напруг (1) і (8), отримаємо

$$\frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4} = \frac{(ReZ)^2}{S^2}. \quad (14)$$

Добувають корінь квадратний з лівої і правої частин рівняння (14):

$$\sqrt{\frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4}} = \frac{ReZ}{S}, \quad (15)$$

з виразу (15) визначають значення активної складової повного опору матеріалу

$$ReZ = S \sqrt{\frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4}}, \quad (16)$$

Таким чином, визначене значення ReZ не залежить від рівня власних шумів вимірювальних перетворювачів напруги і струму та посилювача (U_{n2} і U_{n5}), нестабільності коефіцієнта посилення (K_1), смуги його пропускання (Δf) і температури матеріалу, що досліджується (T). Завдяки цьому досягається задача забезпечення високої точності вимірювання активної складової повного опору матеріалу, що досліджується.

В мікроЕОМ порівнюються отримані значення ReZ з допустимим значенням ReZ_0 зразкового матеріалу, яке внесено в пам'ять мікроЕОМ, і на дисплеї 12 виводиться результат контролю. За рахунок виключення впливу нестабільності параметрів вимірювально-обчислювальної схеми забезпечується висока достовірність контролю якості матеріалу.

Більшість споживчих матеріалів (папір, текстиль, шкіра, харчові продукти, горючі і змащувальні матеріали, пиломатеріали тощо) за своїми електричними властивостями є діелектричними. Їх якість можна контролювати за їх тепловим шумом без прикладання зовнішньої напруги або струму, що виключає електрохімічний розпад або небажану поляризацію. Це забезпечує безпеку термшумового контролю і його не руйнуючі властивості.

Комп'ютерне моделювання запропонованого способу показало можливість контролю якості діелектричних матеріалів при зміні $\tan \delta$ діелектричних втрат в діапазоні від 10^{-5} до 1, в смузі пропускання $\Delta f = 100$ кГц на частоті теплових флюктуацій $f = 0,5$ МГц. При цьому температура довкілля може змінюватись від 285K до 373K за

шкалою Кельвіна. Відносна похибка визначення активної складової повного опору за шумами не перевищує $\pm 1\%$, а достовірність контролю з урахуванням випадкових похибок можна підвищити до 0,98. При цьому час усереднення квадратичної напруги не перевищує 3-5с.

