УДК 658.562:678.620.19

ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОБ'ЄМНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Д.М. Ахонченко

Київський національний університет технологій та дизайну

У статті розглянуто питання побудови діелькометричного пристрою контролю об'ємної щільності нетканих матеріалів. Розроблений метод підвищення точності вимірювання об'ємної щільності. Запропонована структурна схема пристрою контролю об'ємної щільності нетканих матеріалів.

Ключові слова: *неткані синтетичні матеріали, об'ємна щільність, пристрій автоматичного контролю, діелькометричний датчик.*

У виробництві нетканих матеріалів з синтетичних волокон після операцій холстоутворення, голкопробивання, термоусадки необхідно отримання поточної інформації про значення об'ємної щільності матеріалу. Аналіз існуючих засобів неруйнівного контролю матеріалів [1, 2, 4] показує, що найбільш доцільним є використання пристрою, який реалізує діелькометричний метод контролю. Достатньо розповсюджені резонансні методи вимірювання електричної ємності. Для зменшення похибок вимірювання, пов'язаних з нестабільністю частоти та амплітуди напруги генератора накачки та нестабільністю параметрів коливального контуру використовують диференціальний метод вимірювання малих ємностей на боковій гілці резонансної кривої [3, 4]. Відомі пристрої [5, 6] не забезпечують високу точність вимірювання при зміні об'ємної щільності матеріалу після операцій голкопробивання та термоусадки. Крім того, нестабільність елементів схеми викликає додаткові похибки.

Постановка завдання

Завданням дослідження була розробка принципу дії та структурної схеми пристрою контролю об'ємної щільності нетканого матеріалу з підвищеною точністю вимірювання за рахунок збудження резонансного контуру одним генератором.

Об'єкт та методи досліджень

Об'єктом дослідження обрано діелькометричний пристрій контролю об'ємної щільності нетканих матеріалів. При вирішенні поставленої задачі були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що будуються на теорії електричних ланцюгів постійного та змінного струмів та основних положеннях інформаційно-вимірювальної техніки.

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2012

Результати досліджень та їх обговорення

Для виключення впливу нестійкості та неідентичності двох генераторів, що збуджують коливальний контур на двох резонансних частотах було запропоновано структурну схему пристрою, яка подана на рис.1.

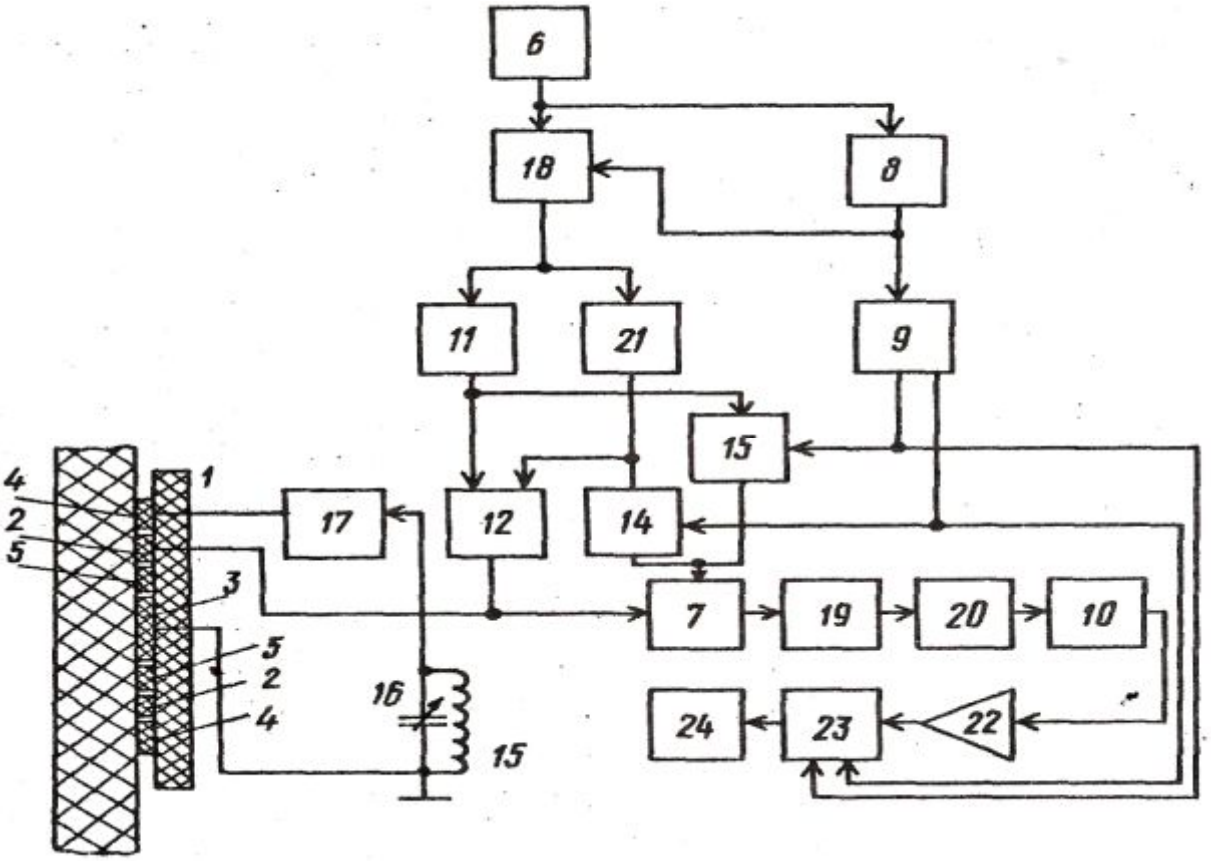

Рис. 1. **Структурна схема пристрою контролю об'ємної щільності нетканих матеріалів**

У системі датчика, що складається з діелектричної підстави 1 з високопотенціальним 2 та низькопотенціальним 3 електродами створюється електричне поле, у якому знаходиться матеріал з контрольованою об'ємною щільністю. У такій системі ємність датчика пропорційна діелектричної проникності матеріалу й залежить від його щільності [3, 4]

$$C(\rho) \approx A\left(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \frac{e^{Bh} - q}{e^{Bh} - q}\right), \qquad (1)$$

де ε_1 – відносна діелектрична проникність підстави датчика;

ε_2 – відносна діелектрична проникність контрольованого матеріалу, при незмінному складі останнього, яка пропорційна його об'ємній щільності;

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2012

$q = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\varepsilon_{2+}\varepsilon_3}$ – коефіцієнт, що відображає розходження в діелектричних властивостях контрольованого матеріалу й навколишнього середовища;

ε_3 – відносна діелектрична проникність навколишнього середовища (повітря);

A, B – постійні коефіцієнти, які обумовлені площею конденсатора датчика, шириною електродів і зазорів між ними;

h – товщина контрольованого матеріалу.

Електричне поле датчика створюється за допомогою сигналу генератора 6 частотою $\omega = \omega_0$

$$U_6 = U_{m6}\cos(\omega_0 t + \varphi_1)\ , \tag{2}$$

де ω_0 - резонансна частота резонансного контуру.

Сигнал U_6 перемножується в блоці 18 із сигналом низької частоти Ω

$$U_8 = U_{m8}\cos(\omega_0 t + \varphi_8), \tag{3}$$

який формується дільником частоти 8 з коефіцієнтом розподілу n_1. Значення низької частоти $\Omega \approx \Delta\omega/2 = \omega_0/n_1$ вибирають приблизно рівним половині ширини резонансній кривій $\Delta\omega$ на рівні відповідному точкам максимальної крутизні резонансної кривої коливального контуру, тобто частота

$$\Omega \approx \Delta\omega/2 = \omega_0/n_1 \tag{4}$$

У результаті перемноження сигналів від генератора 6 і дільника 8 у блоці 18 формується двохчастотний сигнал з подавленою резонансною частотою ω_0 і бічними частотами виду $\omega_0 \pm \Omega$

$$U_{18} = k_n' U_{m1} U_{m8}\left\{\cos\left[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_1 - \varphi_8\right] + \cos\left[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_1 + \varphi_8\right]\right\} \tag{5}$$

де k_n' – масштабний коефіцієнт перетворення блоку 18.

Складова резонансної частоти $\omega_p = \omega_0 - \Omega$ являє собою сигнал нижньої бічної частоти резонансної кривої, а складова сумарної частоти $\omega_c = \omega_0 + \Omega$ – сигнал верхньої бічної частоти щодо резонансної.

Із двохчастотного сигналу (5) виділяють роздільно фільтрами 10 й 21 сигнали різницевої та сумарної частот

$$U_{21} = k_n' k_p U_{m1} U_{m8}\cos(\omega_p t + \varphi_1 - \varphi_8), \tag{6}$$

$$U_{11} = k_n' k_p U_{m1} U_{m8}\cos(\omega_c t + \varphi_1 + \varphi_8), \tag{7}$$

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2012

де k_p та k_c – коефіцієнти фільтрації на частотах ω_p та ω_c.

Сигнали різницевої (6) і сумарної (7) частот складаються в суматорі 12 і збуджують первинну обмотку автотрансформатора 15, до вторинної обмотки якого підключені підстроєчний конденсатор 16 та ємність електродної системи; вимірювальний електрод 2 – контрольований електрод 3, на нижній (різницевій) і верхній (сумарній) бічних частотах.

Комплексний коефіцієнт передачі резонансного контуру, утвореного автотрансформатором 15, підстроєчним конденсатором 16, електродами 2 та 3, при малих розстройках визначається виразом

$$k(\omega) = \frac{U_2(\omega)}{U_1(\omega)} = \frac{Q}{j}\frac{1}{1 + j\lambda Q}, \tag{8}$$

де $\omega_0 = \sqrt{1/LC}$ – резонансна частота контуру;

C – ємність, яка утворена електродною системою 2 та 3 і підрядковим конденсатором 16, що виходить у резонансний контур, при відсутності контрольованого матеріалу;

L – індуктивність контуру, що обумовлена автотрансформатором 15;

$Q = \omega_0 L / r$ – добротність резонансного контуру з опором втрат r;

$\lambda = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{2\Delta\omega}{\omega_0}$ – відносна розстройка контуру;

$\Delta\omega$ – абсолютна розстройка контуру.

При цьому модуль коефіцієнта передачі контуру

$$|k| = \frac{Q}{\sqrt{1 + (\lambda Q)^2}}, \tag{9}$$

а аргумент коефіцієнта передачі

$$\varphi = arctg\,\lambda Q, \tag{10}$$

Напруга на резонансному контуру з урахуванням амплітуд і начальних фаз гармонійних складових бокових частот визначається виразом:

$$U_{15} = k_n' k_p U_{m1} U_{m8} \cos\left(\omega_p t + \varphi_1 - \varphi_8 + \right) + k_p' k_c U_{m8} \cos\left(\omega_c t + \varphi_1 + \varphi_8 + \varphi_c\right), \tag{11}$$

де k' та k_c' – коефіцієнт передачі резонансного контуру на частоті ω_p і ω_c, відповідно;

φ_p та φ_c – фазові зсуви, які внесені розстроєним контуром на частотах ω_p та ω_c, відповідно.

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2012

Параметри резонансного контуру підібрані таким чином, що для частоти ω_p кривій ненавантаженого датчика, що відповідає максимальній крутості АЧХ ($\lambda = -0{,}83$), а для частоти ω_c – на аналогічній точці правої гілки резонансної кривої ($\lambda = +0{,}83$). Коефіцієнт передачі резонансного контуру на частоті ω_p визначається його розстройкою на цій частоті

$$k_p = \frac{Q}{\sqrt{1+\left(\lambda_p Q\right)^2}}\ , \tag{12}$$

на частоті ω_c, відповідно

$$k_c = \frac{Q}{\sqrt{\mathbf{1}+\left(\lambda_c Q\right)^{\mathbf{2}}}}\ , \tag{13}$$

а фазові зрушення гармонійних складові напруги U_{15} стосовно відповідних складових на виході суматора 12 визначаються виразами:

$$\begin{aligned} \varphi_p &= arctg\lambda_p Q \\ \varphi_c &= arctg\lambda_c Q \end{aligned} \tag{14}$$

де $\lambda_p = \frac{\omega_p}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_p}$ – відносна розстройка контуру на частоті ω_p;

$\lambda_c = \frac{\omega_c}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_c}$ - відносна розстройка контуру на частоті ω_c.

Напруга U_{15} надходить на перший вхід блоку 7, на другий вхід якої по черзі впливають напруги від фільтра 10 й 21 через ключі 13 й 14, які періодично перемикаються вихідною напругою дільника 9 частоти з коефіцієнтом розподілу n_2. При замкнутому ключі 13 і розімкнутому ключі 14 вихідна напруга множної схеми 18 визначається добутком напруг:

$$U_7' = k_n'' U_{15} U_{11}\,, \tag{15}$$

де $k_n^{''}$ – масштабний коефіцієнт перетворення множної схеми 18.

Складова резонансної частоти $\omega_c - \omega_p = 2\Omega$ підсилюється виборчим підсилювачем 19, який настроєний на подвоєне значення вихідний частоти дільника 8:

$$U_{19}' = \frac{k_n^2}{2} k_p' k_p k_c U_{m1}^2 U_{m8}^2 \cos\left(2\Omega t + 2\varphi_8 - \varphi_p\right), \tag{16}$$

При замкнутому ключі 14 і розімкнутому 13 вихідна напруга множної схеми 18 визначається добутком:

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2012

$$U_7' = k_n'' U_{15} U_{21}, \tag{17}$$

Тоді вихідна напруга виборчого підсилювача 19 має вигляд

$$U_{19}'' = \frac{k_n^2}{2} k_p' k_c k_c U_{m1}^2 U_{m8}^2 \cos\left(2\Omega t + 2\varphi_8 + \varphi_c\right), \tag{18}$$

При періодичній роботі ключів 13 й 14 із частотою $\Omega_k = \Omega / n_2$ вихідна напруга виборчого підсилювача 19 складається з пакетів напруг частоти 2Ω, що детектується амплітудним детектором 20. Постійні складові продетектованих напруг виділяються фільтром 10 нижньої частоти й по черзі із частотою переключення ключів 13 й 14 впливають на вхід підсилювача 22 низької частоти з коефіцієнтом підсилення k_y.

Змінна складова напруг (16) і (18) підсилюється й з амплітудою

$$U_{22} = k_y \frac{U_{19}' - U_{19}''}{2} = \frac{k_y}{4} k_c k_p k'_n k_n'' U_1^2 U_{m8}^2 \left(k_p' - k_c'\right), \tag{19}$$

випрямляється керованим із частотою комутації Ω_k випрямлячем 23 і фіксується реєстратором 24.

При ненавантаженому датчику коефіцієнти передач резонансного контуру на бічних частотах ω_p та ω_c рівні $(k_p^{/} - k_c^{/})$. Тому змінна складова напруги $U_{22} = 0$.

При контакті електродів 2-3 датчика з контрольованим матеріалом залежно від значення його об'ємної щільності відбувається розстройка резонансного контуру щодо частоти ω

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{LC}} - \frac{1}{\sqrt{1(C + \Delta C)}}, \tag{20}$$

де ΔC – внесена контрольованим матеріалом ємність, яка пропорційна об'ємної щільності матеріалу ρ.

У випадку контакту електродів датчика з контрольованим матеріалом складова $A\varepsilon_1$ з виразу (1) постійна і тоді цей вираз щодо збільшення ємності ΔC від зміни об'ємної щільності контрольованого матеріалу ρ здобуває вид:

$$C(\rho) \approx A\varepsilon_2 \frac{e^{Bh} - q}{e^{Bh} + q}, \tag{21}$$

З виразу (21) витікає, що при незмінній геометрії датчика, діелектричних властивостях навколишнього середовища(ε_3) і постійній товщині контрольованого

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2012

матеріалу (h), збільшення ємності ΔC пропорційно зміні об'ємної щільності ρ контрольованого матеріалу.

Ці збільшення ΔC приводять до зсуву робочих точок на правої та лівої гілках резонансної кривої контуру. Коефіцієнт передачі контуру на частоті ω_p збільшується до значення

$$k_p'' = \frac{Q''}{\sqrt{1+\left(Q''\frac{2(\Delta\omega-\delta\omega)}{\omega_0}\right)^2}}, \qquad (22)$$

а коефіцієнт передачі контуру на частоті ω_c зменшиться до значення

$$k_c'' = \frac{Q''}{\sqrt{1+\left(Q''\frac{2(\Delta\omega+\delta\omega)}{\omega_0}\right)^2}}, \qquad (23)$$

де Q'' – добротність контуру зі збільшенням додаткових втрат, що виникають у матеріалі 5.

При цьому виникає нерівність амплітуд $(U_{19}' \neq U_{19}'')$ пакетів напруг на вході підсилювача 22. Підсилювачем 22 підсилюється змінна складова із частотою переключення ключів 13 й 14, яка пропорційна різниці амплітуд високочастотних напруг ω_p та ω_c на виході резонансного контуру. Посилена напруга надходить на керований випрямляч 23 і фіксується реєстратором 24, шкала якого градуюється в одиницях об'ємної щільності.

Висновки

На підставі проведеного аналізу існуючих діелькометричних пристроїв контролю об'ємної щільності нетканих матеріалів та їх похибок вимірювання запропонована структурна схема пристрою, яка дозволяє підвищити точність вимірювання за рахунок виключення нестабільності двох незалежних генераторів. Наведене математичне обґрунтування підвищення точності вимірювання за рахунок збудження резонансного контуру одним генератором.

ЛІТЕРАТУРА

1. Клюев В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий Т.1 / В.В. Клюев – М.: Машиностроение, 1985. – 285 с.
2. Клюев В.В. Приборы для не разрушающего контроля материалов и изделий Т.2 / В.В. Клюев – М.: Машиностроение, 1985. – 351 с.

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2012

3. Бугров А.В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества / А.В. Бугров – М.: Машиностроение, 1982. – 94 с.
4. Матис И.Г. Электроемкостные преобразователи для неразрушающего контроля / И.Г. Матис – Рига.: Зинтарис, 1982. – 302 с.
5. А.с. № 1597343 СССР, МПК^5 G 01 R27/28. Устройство для измерения резонансной частоты электрической цепи / Ю.А. Скрипник, А.Н. Дыков, А.В. Алексашин, Д.Н. Ахонченко, В.А.. Фролов (СССР). – № 4456518; заявл. 7.07.88; опубл. 08.06.90.
6. А.с. № 1784904 СССР, МПК^5 G 01 N27/22. Устройство для контроля объемной плотности диєлектрических материалов / Ю.А. Скрипник, А.Н. Дыков, Д.Н. Ахонченко (СССР). – № 4848313; заявл. 9.07.90; опубл. 01.09.92.

Д.Н. Ахонченко

Устройство для контроля объёмной плотности диэлектрических материалов.

В статье рассмотрены вопросы построения диэлькометрического устройства контроля объёмной плотности нетканых материалов. Разработан метод повышения точности измерения объёмной плотности. Предложена структурная схема устройства контроля объёмной плотности нетканых материалов.

Ключевые слова: *нетканые синтетические материалы, объёмная плотность, устройство автоматического контроля, диэлькометрический датчик*

D.N. Akhonchenko

Device for control of volumetric density of dielectric materials.

In article considered a question of constraction control dielcometric device of volume density of nonwoven materials. The developed method of increase accuracy of measurement. The request structural scheme control dielcometric device of volume density of nonwoven materials.

Keywords: *non-woven synthetic material, bulk density, the automatic control sensor dielcometric*

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2012