



УКРАЇНА

(19) UA (11) 93223 (13) C2

(51) МПК (2011.01)
G01N 1/44 (2011.01)
G01N 21/63 (2011.01)
G01N 21/01
G01N 21/81 (2006.01)
G01J 1/10

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ НАДЛИШКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ВОЛОГОСТІ ПАПЕРУ

1

2

(21) а200809031

(22) 10.07.2008

(24) 25.01.2011

(46) 25.01.2011, Бюл.№ 2, 2011 р.

(72) КОНДРАТОВ ВЛАДИСЛАВ ТИМОФІЙОВИЧ,
СОРОКІНА ЛЮДМИЛА ОЛЕКСАНДРІВНА

(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В.М. ГЛУШ-
КОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) Мухитдинов М., Мусаев Є.С. Оптические ме-
тоды у устройства контроля влажности. -М.: Энер-
гоатомиздат. 1986 - 96с: ил Б-ка по автоматике;
Вып. 662). - С.33-38

UA 86206, 25.09.2007, C2

UA 84589, 10.01.2008, C2

SU 1589164, 30.08.1990, A1

(57) Спосіб надлишкових вимірювань вологості паперу, що включає визначення значення вихідної напруги U_0 вимірювального каналу при нульовому значенні потужності потоку оптичного випромінювання, формування нормованого за значенням потужності потоку Φ_0 направленного оптичного випромінювання з заданою довжиною хвилі $\lambda_0 \pm \Delta\lambda_0$, на якій має місце поглинання потужності оптичного випромінювання як водою, так і папером і шириною спектра оптичного випромінювання $k_2\Delta\lambda_0$, де $k_2 = 2$, вимірювання потужності потоку оптичного випромінювання, що пройшов через вологий папір з невідомою концентрацією вологості, запам'ятовування одержаних значень напруг з наступним визначенням вологості паперу за відповідним рівнянням вимірювань, який відрізняється тим, що потік Φ_0 оптичного випромінювання пропускають через зразок паперу з нормованою за значенням концентрації C_{01} вологістю, перетворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу U_1 , вимірюють та запам'ятовують одержане значення напруги, потім пропускають потік Φ_0 оптичного випромінювання через зразок паперу з нормованою за значенням концентрації C_{02} вологістю, пе-

ретворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу U_2 , вимірюють та запам'ятовують одержане значення напруги, формують перший потік Φ'_{01} оптичного випромінювання, який пропускають через вимірювальний канал без паперу і перетворюють у напругу U_{01} , змінюють потужність потоку оптичного випромінювання до значення $\{\Phi_{01}\}$, при якому $\{U_{01}\} = \{U_1\} - \{U_0\}$, пропускають потік Φ_{01} оптичного випромінювання через досліджуваний папір з невідомою за значенням концентрації C_x вологістю, перетворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу U_3 , вимірюють та запам'ятовують одержане значення напруги, формують другий потік Φ'_{02} оптичного випромінювання, який пропускають через вимірювальний канал без паперу і перетворюють у напругу U_{02} , змінюють потужність потоку оптичного випромінювання до значення $\{\Phi_{02}\}$, при якому $\{U_{02}\} = \{U_2\} - \{U_0\}$, пропускають потік Φ_{01} оптичного випромінювання через досліджуваний папір з невідомою за значенням концентрації C_x вологістю, перетворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу U_4 , вимірюють та запам'ятовують одержане значення напруги, а дійсне значення концентрації вологості паперу визначають з рівняння надлишкових вимірювань:

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln((U_1 - U_0) \cdot (U_2 - U_0)) - \ln((U_3 - U_0) \cdot (U_4 - U_0))}{\ln \frac{U_1 - U_0}{U_2 - U_0}},$$

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln((U_4 - U_0) \cdot (U_3 - U_0)) - \ln((U_2 - U_0) \cdot (U_1 - U_0))}{\ln(U_2 - U_0) - \ln(U_1 - U_0)}$$

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln \frac{U_4 - U_0}{U_1 - U_0} + \ln \frac{U_3 - U_0}{U_2 - U_0}}{\ln \frac{U_2 - U_0}{U_1 - U_0}}.$$

(13) C2

(11) 93223

(19) UA

Винахід відноситься до оптичних методів вимірювання вологості паперу і може бути використаний для створення високоточних одноканальних цифрових вимірювачів вологості паперу, при його виробництві, зберіганні тощо.

Відомий спосіб надлишкових вимірювань вологості паперу (А.С. RU 2012868 А МПК G01N21/61. Однолучевой многоканальный анализатор /Козубовский В.Р., Повхан Т.И. Бюл. № 9, 1994), оснований на формуванні нормованого за значенням потужності потоку направлено оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль, на яких має місце поглинання потужності оптичного випромінювання як водою, так й папером (до певних меж його товщини), вимірюванні потужностей потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір з невідомою концентрацією вологості, визначенні вихідної напруги вимірювального каналу при нульовому значенні потужності потоку оптичного випромінювання, запам'ятовуванні отриманих значень напруг з наступним визначенням вологості паперу за відповідними рівняннями вимірювань.

Відомий спосіб не забезпечує високу точність вимірювання. Це обумовлено використанням двох довжин хвиль і нерівномірністю спектральної характеристики фотоприймача на вибраних частотах. Нерівномірність спектральної характеристики фотоприймача вносить додаткову похибку вимірювання. Часова та температурна нестабільність параметрів функцій перетворення фотоприймача обмежує отримання високої точності вимірювання.

Відомий спосіб надлишкових вимірювань вологості паперу (А.С. СССР № 972341 МПК³, кл. G01N21/27, Фотометр /Е.П. Попечителев, Б.И. Чигирев. Бюл. № 41, 1982), оснований на формуванні нормованого за значенням потужності потоку направлено оптичного випромінювання з заданою довжиною хвилі, на якій має місце поглинання потужності оптичного випромінювання як водою, так й папером, вимірюванні потужності потоку оптичного випромінювання, що пройшов через еталонний та досліджуваний папір з невідомою концентрацією вологи, визначенні та запам'ятовуванні отриманих значень напруг з наступним визначенням вологості паперу за відповідними рівняннями вимірювань.

Відомий спосіб не дозволяє забезпечити високу точність вимірювання по причині залежності результатів вимірювання від нестабільності функції перетворення вимірювального каналу. Обмежена швидкодія обумовлена використанням зворотного зв'язку.

Найбільш близьким за своєю технічною суттю є спосіб надлишкових вимірювань вологості паперу (див. наприклад, Мухитдинов М., Мусаев Е.С. Оптические методы у устройства контроля влажности. -М.: Энергоатомиздат. 1986- 96 с: ил. - (Б-ка по автоматике; Вып. 662). -С. 33-38), який оснований на формуванні нормованого за значенням потужності потоку Φ_0 направлено оптичного випромінювання з заданою довжиною хвилі, на якій має місце поглинання потужності оптичного випромінювання як водою, так й папером (до певних

меж його товщини), вимірюванні потужності потоку оптичного випромінювання, що пройшов через вологий папір з невідомою за значенням концентрації вологості, визначенні вихідної напруги вимірювального каналу при нульовому значенні потужності потоку оптичного випромінювання, запам'ятовуванні отриманих значень напруг з наступним визначенням вологості паперу за відповідними рівняннями вимірювань.

Відомому способу притаманна недостатня точність вимірювання, яка обумовлена тим, що у відомому способі результати вимірювання вологості паперу залежать від нестабільності та нелінійності функції перетворення вимірювального каналу, у тому числі коефіцієнта підсилення, нестабільності функції аналогового логарифмування, наявності похибки апроксимації логарифмічної функції тощо. У відомому способу не виключений вплив на результат вимірювання коефіцієнтів поглинання вологи та паперу на вибраній довжині хвилі, а також коефіцієнта розсіювання. Все це обумовлює недостатню точність вимірювання.

В основу винаходу покладена технічна задача створення такого способу надлишкових вимірювань вологості паперу, у якому, шляхом введення заданої кількості, умов та послідовності виконання операцій, забезпечувалося б:

лінійна залежність кінцевого результату вимірювання від вологості паперу;

виключення адитивної та мультиплікативної складових систематичної похибки вимірювання за рахунок обробки результатів проміжних вимірювань згідно з відповідним рівнянням надлишкових вимірювань;

підвищення точності вимірювання при часової та температурної нестабільності параметрів функції перетворення вимірювального каналу;

виключення впливу на результат вимірювання коефіцієнтів поглинання вологи та паперу на вибраній довжині хвилі;

виключення впливу на результат вимірювання коефіцієнта розсіювання.

Поставлена технічна задача вирішується завдяки тому, що у способі надлишкових вимірювань вологості паперу, який оснований на визначенні значення вихідної напруги U_0 вимірювального каналу при нульовому значенні потужності потоку оптичного випромінювання, формуванні нормованого за значенням потужності потоку Φ_0 направлено оптичного випромінювання з заданою довжиною хвилі $\lambda_0 \pm \Delta\lambda_0$, де $k_2\Delta\lambda_0$ - ширина спектру оптичного випромінювання, $k_2=2$, на якій має місце поглинання потужності оптичного випромінювання як водою, так і папером, вимірюванні потужності потоку оптичного випромінювання, що пройшов через вологий папір з невідомою за значенням концентрації вологості, запам'ятовуванні отриманих значень на пруг з наступним визначенням вологості паперу за відповідним рівнянням вимірювань.

Від відомих відрізняється тим, що спочатку пропускають потік Φ_0 оптичного випромінювання через зразок паперу з нормованою за значенням

концентрації C_{01} вологістю, перетворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу U_1 , вимірюють та запам'ятовують отримане значення напруги, потім пропускають потік Φ_0 оптичного випромінювання через зразок паперу з нормованою за значенням концентрації C_{02} вологістю, перетворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу U_2 , вимірюють та запам'ятовують отримане значення напруги, формують перший потік Φ'_{01} оптичного випромінювання, який пропускають через вимірювальний канал без паперу і перетворюють у напругу U_{01} , змінюють потужність потоку оптичного випромінювання до значення $\{\Phi_{01}\}$ при якому $\{U_{01}\} = \{U_1\} - \{U_0\}$, пропускають потік Φ_{01} оптичного випромінювання через досліджуваний папір з невідомою за значенням концентрації C_x вологістю, перетворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу U_3 , вимірюють та запам'ятовують отримане значення напруги, формують другий потік Φ'_{02} оптичного випромінювання, який пропускають через вимірювальний канал без паперу і перетворюють у напругу U_{02} , змінюють потужність потоку оптичного випромінювання до значення $\{\Phi_{02}\}$, при якому $\{U_{02}\} = \{U_2\} - \{U_0\}$, пропускають потік Φ_{01} оптичного випромінювання через досліджуваний папір з невідомою за значенням концентрації C_x вологістю, перетворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу U_4 , вимірюють та запам'ятовують отримане значення напруги, а про дійсне значення концентрації вологості паперу судять згідно з рівняннями надлишкових вимірювань

$$C_x = \{\Delta C_0\} \cdot \frac{\ln((U_1 - U_0) \cdot (U_2 - U_0)) - \ln((U_3 - U_0) \cdot (U_4 - U_0))}{\ln \frac{U_1 - U_0}{U_2 - U_0}},$$

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln((U_4 - U_0) \cdot (U_3 - U_0)) - \ln((U_2 - U_0) \cdot (U_1 - U_0))}{\ln(U_2 - U_0) - \ln(U_1 - U_0)}$$

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln \frac{U_4 - U_0}{U_1 - U_0} + \ln \frac{U_3 - U_0}{U_2 - U_0}}{\ln \frac{U_2 - U_0}{U_1 - U_0}}.$$

Нижче на кресленні (Фіг.) зображена структурна схема цифрового вимірювача вологості паперу, який реалізує запропонований спосіб, де 1 - цифровий генератор оптичного випромінювання; 2 - передавальне оптичне волокно, що підводить потік оптичного випромінювання до паперу; 3 - приймальне оптичне волокно, що відводить послаблений потік оптичного випромінювання, що пройшов через папір, до фотоприймача; 4 - джерело живлення; 5 - зразок вологого паперу; 6 - лінза; 7 - світлодіод; 8 - об'єктивний диск; 9 - синхродвигун; 10 - фотодіод; 11 - фотоприймач; 12 - селективний підсилювач; 13 - синхронний детектор з вбудованим інтегратором; 14 - аналого-цифровий перетворювач; 15 - підсилювач-формуєць синхроімпульсів; 16 - мікроконтролер з блоками оперативної та перепрограмованої постійної пам'яті; 17 - цифровий відліковий пристрій; 18 - загальна шина.

Припустимо, що функція перетворення вимірювального каналу з фотоприймачем описується лінійним рівнянням величин

$$U_x = S'_n \Phi_x + \Delta U_{3m}, \quad (1)$$

де Φ_x - світловий потік, що поступає на фотоприймач; U_x - вихідна напруга фотоприймача; ΔU_{3m} - напруга зміщення фотоприймача; $S'_n = S_n (1 + \gamma_n)$ - крутизна функції перетворення фотоприймача, що враховує вплив на фотоприймач дестабілізуючих факторів, а також їх зміну у часі; S_n - номінальна за значенням крутизна функції перетворення фотоприймача; γ_n - відхилення крутизни функції перетворення фотоприймача від номінальних значень, що викликані впливом на фотоприймач дестабілізуючих факторів та їх зміною у часі.

Оскільки поглинання потужності потоку оптичного випромінювання здійснюється згідно з законом Ламберта-Бугера-Бера, то функція перетворення може бути записана наступним чином

$$U_x = S'_n \Phi_0 e^{-(\alpha_b C_x + \alpha_c (1 - C_x) + k_p) l_e} + \Delta U_{3m}, \quad (2)$$

де Φ_0 - нормований за значенням потужності потік оптичного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda_0 \pm \Delta \lambda_0$, який поступає на вологий папір; α_b - коефіцієнт поглинання вологи на довжині хвилі λ_0 ; α_c - коефіцієнт поглинання паперу на довжині хвилі λ_0 ; C_x - невідоме значення концентрації вологи; k_p - коефіцієнт розсіювання; l_e - ефективна товщина зразків паперу із невідомим та нормованим значеннями вологості.

Запропонований спосіб надлишкових вимірювань вологості паперу оснований на проведенні п'яти тактів вимірювання значень напруг, у які перетворенні послаблені потоки оптичного випромінювання та одному такті визначення дійсного значення вологості паперу за певним рівнянням надлишкових вимірювань.

У першому такті вимірювань визначається значення вихідної напруги U_0 вимірювального каналу при нульовому значенні потужності потоку Φ_{00} оптичного випромінювання

$$U_0 = S'_n \Phi_{00} + \Delta U_{3m} = \Delta U_{3m}, \quad (3)$$

вимірюють та запам'ятовують отримане значення напруги (3).

У другому такті вимірювань формують нормований за значенням потужності потік Φ_0 направленного оптичного випромінювання з заданою довжиною хвилі $\lambda_0 \pm \Delta \lambda_0$, де $k_2 \Delta \lambda_0$ - ширина спектру оптичного випромінювання, $k_2 = 2$, на який має місце поглинання потужності оптичного випромінювання як водою, так і папером (до певних меж його товщини), пропускають сформований потік Φ_0 оптичного випромінювання через встановлений у вимірювальний канал зразок паперу з нормованою за значенням концентрації C_{01} вологістю, перетворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу

$$U_1 = S'_n \Phi_0 e^{-(\alpha_b C_{01} + \alpha_c (1 - C_{01}) + k_p) l_e} + \Delta U_{3m}, \quad (4)$$

вимірюють та запам'ятовують отримане значення напруги (4).

У третьому такті вимірювань у вимірювальний канал замість зразка з паперу з нормованою за значенням концентрації C_{01} вологістю встановлюється зразок паперу з нормованою за значенням концентрації C_{02} вологості, через який пропускають сформований нормований за значенням потужності потік Φ_0 оптичного випромінювання. Пе-

ретворюють потужність послабленого потоку оптичного випромінювання у відповідну напругу U_2

$$U_2 = S'_n \Phi_0 e^{-(\alpha_b C_{02} + \alpha_u (1 - C_{02}) + k_p) l_e} + \Delta U_{3M}, \quad (5)$$

вимірюють та запам'ятовують отримане значення напруги (5).

У четвертому такті вимірювань вимірювальний канал звільняють від зразка паперу з нормованою за значенням концентрації C_{02} вологості. Формують потік Φ_{01} оптичного випромінювання, який пропускають через вимірювальний канал без паперу і перетворюють у напругу U_{01} , змінюють значення потужності потоку оптичного випромінювання до $\{\Phi_{01}\}$, при якому $\{U_{01}\} = \{U_1\} - \{U_0\}$. У вимірювальний канал встановлюється папір з невідомою за значенням концентрації C_x вологості,

через який пропускають потік Φ_{01} оптичного випромінювання, перетворюють потужність послабленого потоку у відповідну напругу U_3

$$U_3 = S'_n \Phi_{01} e^{-(\alpha_b C_x + \alpha_u (1 - C_x) + k_p) l_e} + \Delta U_{3M}, \quad (6)$$

вимірюють та запам'ятовують отримане значення напруги (6).

Пропускання потоку Φ_{01} оптичного випромінювання через папір з невідомою за значенням концентрації C_x вологості є еквівалентним пропусканню потоку Φ_0 оптичного випромінювання через зразок з нормованою за значенням концентрації C_{01} вологості та папір з невідомою за значенням концентрації C_x вологості одночасно. Математично це можна записати наступним чином

$$U_3 = S'_n \Phi_{01} e^{-(\alpha_b C_x + \alpha_u (1 - C_x) + k_p) l_e} + \Delta U_{3M} = S'_n \Phi_0 e^{-(\alpha_b (C_{01} + C_x) + \alpha_u (1 - (C_{01} + C_x)) + k_p) l_e} + \Delta U_{3M}.$$

У п'ятому такті вимірювань вимірювальний канал звільняють від паперу з невідомою за значенням концентрації C_x вологості. Формують другий потік Φ_{02} оптичного випромінювання, який пропускають через вимірювальний канал без паперу і перетворюють у напругу U_{02} , змінюють потужність потоку оптичного випромінювання до значення $\{\Phi_{02}\}$, при якому $\{U_{02}\} = \{U_2\} - \{U_0\}$. У вимірювальний канал встановлюють папір з невідомою за значенням концентрації C_x вологості і пропускають через нього потік Φ_{02} оптичного випромінювання. Перетворюють потужність послабленого потоку оптичного випромінювання у напругу U_4

$$U_4 = S'_n \Phi_{02} e^{-(\alpha_b C_x + \alpha_u (1 - C_x) + k_p) l_e} + \Delta U_{3M}, \quad (7)$$

вимірюють та запам'ятовують отримане значення напруги (7).

Пропускання потоку Φ_{02} оптичного випромінювання через папір з невідомою за значенням концентрації C_x вологості є еквівалентним пропусканню потоку Φ_0 оптичного випромінювання через зразок з нормованою за значенням концентрації C_{02} вологості та папір із невідомою за значенням концентрації C_x вологості одночасно. Математично це можна записати наступним чином

$$U_4 = S'_n \Phi_{02} e^{-(\alpha_b C_x + \alpha_u (1 - C_x) + k_p) l_e} + \Delta U_{3M} = S'_n \Phi_0 e^{-(\alpha_b (C_{02} + C_x) + \alpha_u (1 - (C_{02} + C_x)) + k_p) l_e} + \Delta U_{3M}.$$

Про дійсне значення концентрації вологості паперу судять згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln((U_1 - U_0) \cdot (U_2 - U_0)) - \ln((U_3 - U_0) \cdot (U_4 - U_0))}{\ln \frac{U_1 - U_0}{U_2 - U_0}}, \quad (8)$$

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln((U_4 - U_0) \cdot (U_3 - U_0)) - \ln((U_2 - U_0) \cdot (U_1 - U_0))}{\ln \frac{U_2 - U_0}{U_1 - U_0}}, \quad (9)$$

або

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln \frac{U_4 - U_0}{U_1 - U_0} + \ln \frac{U_3 - U_0}{U_2 - U_0}}{\ln \frac{U_2 - U_0}{U_1 - U_0}}. \quad (10)$$

$$\Delta C_0 = \frac{|C_{01} - C_{02}|}{2},$$

або за рівнянням числових значень

де ΔC_0 - напіврізниця між нормованими значеннями концентрації C_{01} та C_{02} вологості зразків паперу

$$N_{Cx} = \{C_x\} = \{\Delta C_0\} \cdot \frac{\ln((N_1 - N_0) \cdot (N_2 - N_0)) - \ln((N_3 - N_0) \cdot (N_4 - N_0))}{\ln \frac{N_1 - N_0}{N_2 - N_0}}, \quad (11)$$

$$N_{Cx} = \{C_x\} = \{\Delta C_0\} \cdot \frac{\ln((N_4 - N_0) \cdot (N_3 - N_0)) - \ln((N_2 - N_0) \cdot (N_1 - N_0))}{\ln \frac{N_2 - N_0}{N_1 - N_0}}, \quad (12)$$

$$N_{cx} = \{C_x\} = \{\Delta C_0\} \cdot \frac{\ln \frac{N_4 - N_0}{N_1 - N_0} + \ln \frac{N_3 - N_0}{N_2 - N_0}}{\ln \frac{N_2 - N_0}{N_1 - N_0}}. \quad (13)$$

де $\{\Delta C_0\}$ - напіврізниця між нормованими значеннями концентрацій C_{01} та C_{02}

$$\{\Delta C_0\} = \frac{|C_{01} - C_{02}|}{2} = \Delta N_0,$$

N_0, N_1, N_2, N_3, N_4 - коди чисел, які відповідають значенням напруг U_0 (3), U_1 (4), U_2 (5), U_3 (6), U_4 (7) відповідно.

Представлений спосіб визначення вологості паперу може бути реалізований за допомогою цифрового вимірювача вологості паперу, структурна схема якого представлена на (Fig.). Розглянемо його роботу.

За сигналом з мікроконтролера 16 на виході генератора 1 оптичного випромінювання формується потік оптичного випромінювання з певним значенням потужності. Сформований потік оптичного випромінювання через передавальні оптичні волокна 2 сенсора вологості підводиться до паперу. Послаблений потік оптичного випромінювання за допомогою приймальних оптичних волокон 3 відводиться до фотоприймача 11, перед чим модулюється за допомогою об'єктиваторного диску 8, який жорстко закріплений із синхродвигуном 9. Частота слідування промодульованих імпульсів визначається частотою обертання об'єктиваторного диску 8 та розміром і кількістю отворів. Перетворені оптичні імпульси у електричні з виходу фотоприймача 11 поступають на селективний підсилювач 12, яким підсилюються і передаються на сигнальний вхід синхронного детектора 13. На вхід синхронного детектора з формувача синхроімпульсів подаються синхроімпульси з заданою частотою слідування. Синхроімпульси формуються по команді з мікроконтролера 16 на джерело 4 оптичного випромінювання, з якого сигнал подається на світлодіод 7. Сформований потік оптичного випромінювання модулюється додатковими отворами у об'єктиваторному диску 8. Імпульси потрапляють на фотоприймач 10 формувача синхроімпульсів, перетворюються у електричний сигнал, підсилюються підсилювачем 15 і подаються на вхід синхронного детектора 13. Після синхронного детектування отримуємо напругу, яка містить у собі відомості про вологість паперу. Аналого-цифровим перетворювачем 14 напруга перетворюється у код числа і запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера 16.

За результатами проміжних вимірювань за рівнянням (9) надлишкових вимірювань визначається дійсне значення вологості паперу і виводиться на дисплей цифрового відлікового пристрою 17.

Завдяки використанню мікроконтролера забезпечується автоматизація процесів вимірювання значень напруг, у які перетворені послаблені потоки оптичного випромінювання, автоматична зміна нормованих за значенням потужностей на виході генератора оптичного випромінювання, управління роботою синхронного детектора та процесом модуляції потоку оптичного випромінювання, обчис-

лення дійсного значення вологості паперу. Використання синхронного детектора з вбудованим інтегратором забезпечує зменшення й випадкових складових похибки результату вимірювання.

Таким чином обробка результатів проміжних вимірювань ((3)-(7)) за рівняннями надлишкових вимірювань (8) чи (9), забезпечує лінійну залежність кінцевого результату вимірювання від вологості паперу; виключення адитивної та мультиплікативної складових систематичної похибки вимірювання за рахунок обробки результатів проміжних вимірювань згідно з відповідним рівнянням надлишкових вимірювань; підвищення точності вимірювання при часовій та температурній нестабільності параметрів функції перетворення вимірювального каналу; виключення впливу на результат вимірювання коефіцієнтів поглинання води та паперу на вибраній довжині хвилі; виключення впливу на результат вимірювання коефіцієнта розсіювання.

Це легко довести, якщо у рівняння надлишкових вимірювань (8) підставити аналітичні вирази для напруг (3)-(7) та зробити відповідні спрощення.

Вище зазначені переваги можна перевірити за допомогою наступного прикладу, у якому наведено порівняння вимірювання вологості паперу прямим методом та за допомогою методу надлишкових вимірювань.

Як зазначалось вище, поглинання потоку оптичного випромінювання, що пройшов через зразок матеріалу із невідомою за значенням вологості, відбувається за законом Ламберта-Бугера-Бера (2). Значення C_x визначатиметься наступним чином

$$C_x = \frac{\ln \frac{U_x - \Delta U_{зм}}{S'_n \Phi_0} + (k_p + \alpha_c) l_e}{(\alpha_c - \alpha_b) l_e}. \quad (14)$$

Як видно з (14), для визначення значення концентрації C_x відомим способом необхідно високоточно визначення значень параметрів S'_n , Φ_0 , k_p , α_c , l_e , α_b , U_x , $\Delta U_{зм}$, що призводить до невиправданої затрати часу та виконання додаткових операцій.

Використання методу надлишкових вимірювань дозволяє отримати результат при невідомих значеннях параметрів S'_n , Φ_0 , k_p , α_c , l_e , α_b , що значно спрощує процес визначення значення C_x . Як видно з (8), (чи з (10) або (11)), необхідно визначити значення напруг U_0 , U_1 , U_2 , U_3 , U_4 , які отримуються в результаті проведення відповідних тактів вимірювань, описаних вище, та значення приросту ΔC_0 .

Для розрахунку значення C_x за (14) приймемо наступні значення параметрів: $S'_n = 100$; $\Phi_0 = 0,05$ Вт; $\alpha_b = 0,54$; $\alpha_c = 0,42$; $k_p = 0,04$; $l_e = 0,3$ мм; $\Delta U_{зм} = 0,001$ В. При заданому значенні вологості паперу 7% маємо $U_x = 3,385$ В.

Підставимо ці значення у (14) і отримаємо

$$C_x = \frac{\ln \frac{3,385}{100 \cdot 0,05} + (0,42 + 0,04) \cdot 0,3}{(0,42 - 0,54) \cdot 0,3} = \frac{-0,390 + 0,138}{-0,036} = 7,002$$

практично ідеальне значення результату вимірювання з абсолютною похибкою 0,002 % за рахунок обчислення. Це забезпечується при відомих значеннях параметрів S'_l , Φ_0 , ΔU_{3M} , k_p , i , I_e .

$$C_x = \frac{\ln \frac{U_x - \Delta U_{3M}}{S'_l \Phi_0} + (k_p + \alpha_u) I_e}{(\alpha_u - \alpha_b) I_e} = \frac{\ln \frac{3,47 - 0,0015}{103 \cdot 0,051} + (0,039 + 0,42) \cdot 0,301}{(0,42 - 0,54) \cdot 0,301} =$$

$$= \frac{\ln \frac{3,39 - 0,0015}{5,253} + 0,459 \cdot 0,301}{(0,42 - 0,54) \cdot 0,301} = \frac{-0,415 + 0,1381}{-0,03612} = 7,668 \%$$

У цьому випадку абсолютна похибка вимірювання відомим способом стала дорівнювати 0,668%, а відносна - 9,54%.

Запропонований спосіб забезпечує вирішення поставленої технічної задачі без знання точних значень параметрів S'_l , Φ_0 , k_p , α_u , I_e , i та α_b .

Згідно з запропонованим способом, для визначення значення вологості C_x за (8)-(11) визначаються значення напруг U_1 , U_2 , U_3 , U_4 за рівняннями (3) - (7), при $C_{01} = 6\%$ та $C_{02} = 6,5\%$.

$$U_1 = 100 \cdot 0,05 e^{-(0,54 \cdot 6 + 0,42(1-6) + 0,04)0,3} + 0,001 =$$

$$= 5e^{-(3,24 - 2,1 + 0,04)0,3} + 0,001 = 3,5104 \text{ В,}$$

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln((U_1 - U_0) \cdot (U_2 - U_0)) - \ln((U_3 - U_0) \cdot (U_4 - U_0))}{\ln \frac{U_1 - U_0}{U_2 - U_0}} =$$

$$= 0,25 \cdot \frac{\ln((3,5104 - 0,001) \cdot (3,4478 - 0,001)) - \ln((2,7286 - 0,001) \cdot (2,68 - 0,001))}{\ln \frac{3,5104 - 0,001}{3,4478 - 0,001}} =$$

$$= 0,25\% \cdot \frac{\ln((3,5094) \cdot (3,4468)) - \ln((2,7276) \cdot (2,679))}{\ln \frac{3,5094}{3,4468}} = 0,25\% \cdot \frac{2,493 - 1,989}{0,018} = 7\%$$

або

$$\{C_x\} = \{\Delta C_0\} \cdot \frac{\ln \frac{N_4 - N_0}{N_1 - N_0} + \ln \frac{N_3 - N_0}{N_2 - N_0}}{\ln \frac{N_2 - N_0}{N_1 - N_0}} = 0,25\% \cdot \frac{\ln \frac{2,679}{3,5094} + \ln \frac{2,7276}{3,4468}}{\ln \frac{3,4468}{3,5094}} = 0,25\% \cdot \frac{0,27 + 0,2340}{0,018} = 7\%,$$

або (3,5104, 3,4478, 2,7286, 2,68):

$$\{C_x\} = \{\Delta C_0\} \cdot \frac{\ln((N_4 - N_0) \cdot (N_3 - N_0)) - \ln((N_2 - N_0) \cdot (N_1 - N_0))}{\ln \frac{N_2 - N_0}{N_1 - N_0}} =$$

$$= 0,25\% \cdot \frac{\ln((7,307)) - \ln((12,096))}{\ln \frac{3,4468}{3,5094}} = 0,25\% \cdot \frac{-0,5041}{-0,018} = 7,0013 \%$$

Визначимо результат вимірювання вологості паперу для випадку, коли параметри функції перетворення вимірювального каналу прийняли ті ж значення, що й при реалізації відомого способу.

З урахуванням зміни параметрів функції перетворення вимірювального каналу, маємо

$$U_1 = 103 \cdot 0,051 e^{-(0,54 \cdot 6 + 0,42(1-6) + 0,039)0,301} + 0,0015 =$$

$$= 5,253 e^{-(3,24 - 2,1 + 0,039)0,301} + 0,0015 = 3,685 \text{ В,}$$

Практично вказані параметри невідомі. За час експлуатації параметри S'_l , Φ_0 , ΔU_{3M} , k_p , i , I_e можуть змінюватися в залежності від дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Припустимо що на момент вимірювання вони прийняли наступні значення: $S'_l = 103$; $\Phi_0 = 0,051$ Вт; $k_p = 0,039$; $I_e = 0,301$ мм; $\Delta U_{3M} = 0,0015$ В; $U_x = 3,385$ В. Тоді $U_x = 3,47$ В, а

$$U_2 = 100 \cdot 0,05 e^{-(0,54 \cdot 6,5 + 0,42(1-6,5) + 0,04)0,3} + 0,001 =$$

$$= 5e^{-(3,51 - 2,31 + 0,04)0,3} + 0,001 = 3,4478 \text{ В,}$$

$$U_3 = 100 \cdot 0,05 e^{-(0,54 \cdot (6+7) + 0,42(1-(6+7)) + 0,04)0,3} + 0,001 =$$

$$= 5e^{-(7,02 - 5,04 + 0,04)0,3} + 0,001 = 2,7286 \text{ В,}$$

$$U_4 = 100 \cdot 0,05 e^{-(0,54 \cdot (6,5+7) + 0,42(1-(6,5+7)) + 0,04)0,3} + 0,001 =$$

$$= 5e^{-(7,29 - 5,25 + 0,04)0,3} + 0,001 = 2,68 \text{ В,}$$

$$\Delta C_0 = \frac{|C_{01} - C_{02}|}{2} = \frac{|6 - 6,5|}{2} = 0,25\%,$$

Підставивши отримані значення у рівняння надлишкових вимірювань (8), маємо:

$$U_2 = 103 \cdot 0,051 e^{-(0,54 \cdot 6,5 + 0,42(1-6,5) + 0,039)0,301} + 0,0015 =$$

$$= 5,253 e^{-(3,51 - 2,31 + 0,039)0,301} + 0,0015 = 3,619 \text{ В,}$$

$$U_3 = 103 \cdot 0,051 e^{-(0,54 \cdot (6+7) + 0,42(1-(6+7)) + 0,039)0,301} +$$

$$+ 0,0015 = 5,253 e^{-(7,02 - 5,04 + 0,039)0,301} + 0,0015 = 2,862 \text{ В,}$$

$$U_4 = 103 \cdot 0,051 e^{-(0,54 \cdot (6,5+7) + 0,42(1-(6,5+7)) + 0,039)0,301} +$$

$$+ 0,0015 = 5,253 e^{-(7,29 - 5,25 + 0,039)0,301} + 0,0015 =$$

$$= 2,811 \text{ В.}$$

Тоді, використовуючи рівняння надлишкових вимірювань, наприклад (8), чи рівняння числових значень (11), маємо

$$C_x = \Delta C_0 \cdot \frac{\ln((U_1 - U_0) \cdot (U_2 - U_0)) - \ln((U_3 - U_0) \cdot (U_4 - U_0))}{\ln \frac{U_1 - U_0}{U_2 - U_0}} =$$

$$= 0,25\% \cdot \frac{\ln((3,6845) \cdot (3,6185)) - \ln((2,8615) \cdot (2,8095))}{\ln \frac{3,6845}{3,6185}} = 0,25\% \cdot \frac{2,59 - 2,084}{0,018} = 7,028\%$$

Абсолютна похибка вимірювання запропонованим способом буде дорівнювати 0,028%, а відносна - 0,4%, тобто, у 23,8 разів менша, ніж для відомого способу.

Таким чином введення нової сукупності, умов та послідовності операцій вимірювання різних за

розмірами інтенсивності світлових потоків і використання нового рівняння надлишкових вимірювань вологості паперу, дало можливість вирішити поставлену технічну задачу.

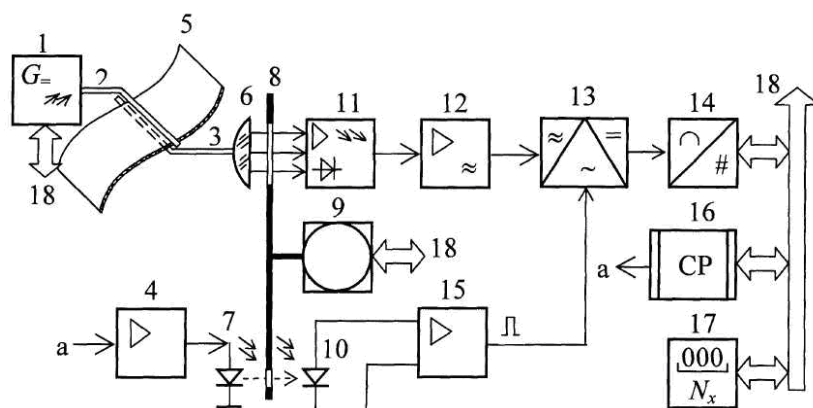


Fig. Структурна схема цифрового вимірювача вологості паперу