



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 62760

(13) A

(51) 7 G01N27/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) КОНДУКТОМЕТРИЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ

1

(21) 2003054446

(22) 19 05 2003

(24) 15 12 2003

(46) 15 12 2003, Бюл. № 12, 2003 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Курко Володимир Романович

(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) 1 Кондуктометричний вимірювач вологості, який містить кондуктометричний датчик, два роз'єднувачі та вимірювальну схему, що включає генератор напруги підвищеної частоти, подільник частоти, два автоматичних перемикачі, керуючі входи яких підключені через подільник частоти до генератора напруги підвищеної частоти, підсилювач напруги підвищеної частоти, фільтр нижніх частот та вимірювальний прилад, який **відрізняється** тим, що в нього введено малошумний диференційний підсилювач на двох операційних підсилювачах, другий підсилювач напруги підвищеної частоти, розмножувальний блок, вибіркового підсилювач низької частоти і другий фільтр нижніх частот, при цьому виходи кондуктометричного датчика через роз'єднувачі з'єднані з входами малошумного диференційного підсилювача, вихо-

2

ди його операційних підсилювачів з'єднані з входами підсилювачів напруги підвищеної частоти, вихід першого з них з'єднаний з одним входом розмножувального блока, прямий та інверсний виходи другого підсилювача напруги підвищеної частоти з'єднані через перший автоматичний перемикач з другим входом розмножувального блока, до виходу якого через перший фільтр нижніх частот підключено вибіркового підсилювач низької частоти, прямий і інверсний виходи якого через другий автоматичний перемикач з'єднані з входом другого фільтра нижніх частот, до виходу якого підключено вимірювальний прилад

2 Кондуктометричний вимірювач вологості за п. 1, який **відрізняється** тим, що кондуктометричний датчик містить два голчастих електроди, які виконані з провідних металів, покритих на дві третини оксидною плівкою, два розподільних конденсатори і два гнучких екранованих дроти, при цьому один кінець голчастих електродів призначений для контакту з матеріалом, вологість якого вимірюється, а другий через розподільні конденсатори та гнучкі екрановані дроти з'єднано з роз'єднувачами вимірювальної схеми

Винахід належить до області аналізу складу та властивостей матеріалів за значенням електричного опору і може бути використаний для контролю вологості переважно в'язко-пластичних матеріалів, виготовлених на безводній основі переважно в фармацевтичній та парфумерній промисловості

Для лікувальних та косметичних цілей широко використовуються різні креми, мазі, пасти, емульсії, суспензії та інші в'язко-пластичні матеріали на основі рослинних або тваринних масел. В цих матеріалах вологість повинна цілком бути відсутня або її наявність допускається в мінімальній кількості, яка точно нормується відповідними технічними умовами

У в'язко-пластичних матеріалах вода, яка міститься в них, утворює провідні капілярні містки, які підвищують електродовідність цих матеріалів. Для вимірювання вологості використовують кондукто-

метричний метод, який заснований на вимірюванні електричного опору вологого матеріалу. Вимірювач вологості містить датчик з двома електродами, в якому розміщено матеріал, що контролюється. До датчика підключено джерело сталої напруги і вимірювальну схему, мостову або компенсаційну (див. Берлинер М. А. Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности - М. Изд-во «Энергия», 1965, С. 35-37)

Нижня межа вимірювання вологості обмежена можливістю вимірювання дуже великих опорів (з достатньою точністю) до значень порядку 10^8 - 10^{10} Ом см, що відповідає вологості 3-5%. При малих значеннях вологості вона найчастіше розподіляється рівномірно по об'єму у вигляді окремих ізоляційних одиниць від одного укріплення, що в значній мірі і підвищує опір матеріалу між електродами та зменшує силу струму у вимірювальній схемі. Під-

(13) A

(11) 62760

(19) UA

вищення напруги для збільшення струму призводить до електрохімічного розкладу вологого матеріалу, що неможливо для ряду матеріалів медичного та косметичного призначення

Відомий кондуктометричний вимірювач вологості (див Мелкумян В Е Измерение и контроль влажности материалов - М Изд-во стандартов, 1970, С 72-73), який містить чотирьохелектродний датчик і компенсаційну вимірювальну схему, що включає підсилювач з високим входним опором

Застосування чотирьохелектродного датчика зменшує вплив перехідного опору та поляризації електродів датчика на результат вимірювання опору, що підвищує точність вимірювань вологості контролююмого матеріалу Але ж шунтуюча дія входного опору підсилювача не дозволяє достовірно вимірювати великі опори, а отже і малі вологості

Відомий також кондуктометричний вимірювач вологості по деклараційному патенту України №46466А кл G01N27/02, 20.07.2001, Бюл №5, 2002, який вміщує в собі кондуктометричний датчик вологості, два роз'єднувача та вимірювальну схему, що включає генератор напруги підвищеної частоти, два автоматичних перемикача, керуючі входи яких підключені через подільник частоти до генератора напруги підвищеної частоти, підсилювач напруги підвищеної частоти, фільтр нижніх частот та вимірювальний прилад

Крім цього відомий вимірювач вміщує керуємий подільник напруги, джерело стабільної опорної напруги, диференціальний підсилювач та інтегратор, при цьому один з виходів другого автоматичного перемикача з'єднано з виходом джерела стабільного опорної напруги, вихід диференційного підсилювача через інтегратор з'єднано з керуючим входом керуемого подільника напруги, а сам керуємий подільник напруги включено між виходом генератора напруги підвищеної частоти і входами першого автоматичного перемикача

Періодична зміна структури вимірювальної схеми за допомогою автоматичного перемикача дозволяє виключити шунтуючий вплив входного підсилювача і нестабільність його коефіцієнту підсилення на точність виміру вологості Але навіть живлення датчика напругою підвищеної частоти знижує, але не виключає повністю поляризаційні процеси на електродах, а значить і електролітичний розклад контролююмого матеріалу і забезпечує можливість вимірювання вологості вузьких межах

В основу винаходу покладена задача створення такого кондуктометричного вимірювача вологості, в якому введення нових елементів та зв'язків дозволило б вимірювати вологість матеріалу без подання електричної напруги на електроди датчика, що цілком виключило б електролітичний розклад контролююмого матеріалу та забезпечило б можливість вимірювання вологості в широких межах

Поставлена задача вирішується тим, що в кондуктометричний вимірювач вологості, який містить кондуктометричний датчик, два роз'єднувача та вимірювальну схему, що включає генератор напруги підвищеної частоти, поподільник частоти, два автоматичних перемикача, керуючі входи яких

підключені через поподільник частоти до генератора напруги підвищеної частоти, підсилювач напруги підвищеної частоти, фільтр нижніх частот та вимірювальний прилад, згідно винаходу, введені малошумний диференційний підсилювач на двох операційних підсилювачах, другий підсилювач напруги підвищеної частоти, розмножувальний блок, вибіркового підсилювач низької частоти і другий фільтр нижніх частот, при цьому виходи кондуктометричного датчика через роз'єднувачі з'єднані з входами малошумного диференційного підсилювача, виходи його операційних підсилювачів з'єднані з входами підсилювачів напруги підвищеної частоти, вихід першого з них з'єднано з одним входом розмножувального блоку, прямий та інверсний виходи другого підсилювача напруги підвищеної частоти з'єднано через перший автоматичний перемикач з другим входом розмножувального блоку, до виходу якого через перший фільтр нижніх частот підключено вибіркового підсилювач низької частоти, прямий та інверсний виходи якого через другий автоматичний перемикач з'єднані з входом другого фільтра нижніх частот, до виходу якого підключено вимірювальний прилад

Доцільно, щоб кондуктометричний датчик містив в собі два голчастих електроди, які виконані з провідних металів, покритих на дві третини оксидною плівкою, два розподільних конденсатори і два гнучких екранованих дроти, при цьому один кінець голчастих електродів призначений для контакту з матеріалом, вологість якого вимірюється, а другий через розподільні конденсатори та гнучкі екрановані дроти з'єднані з роз'єднувачами вимірювальної схеми

Розщеплення напруги теплових шумів електродного датчика на дві однакові протифазні напруги за допомогою малошумного диференційного підсилювача, підсилення шумових сигналів двома підсилювачами напруг підвищеної частоти, подача одного з підсилених шумових сигналів на один вхід розмножувального блоку, розщеплення другого підсиленого шумового сигналу на дві протифазні напруги і по чергову подача їх на другий вхід розмножувального блоку за допомогою першого автоматичного перемикача з низькою частотою, виділення із усереднених фільтром нижніх частот сигналів добутоків шумових сигналів змінної напруги низької частоти, її вибіркове підсилення, випрямлення за допомогою другого автоматичного перемикача і усереднення цієї напруги другим фільтром нижніх частот дозволяє одержати напругу постійного струму, пропорційну електричному опору контролююмого матеріалу, розташованого між голчастими електродами з провідного металу, що дозволяє вимірювати об'ємну вологість в'язкопластичного матеріалу без додавання зовнішньої електричної напруги і тим самим виключити електролітичний розклад цього матеріалу

На кресленні представлена функціональна схема кондуктометричного вимірювача вологості, який містить кондуктометричний датчик 1, роз'єднувачі 2 і 3, малошумний диференційний підсилювач 4 на операційних підсилювачах 5 і 6, перший 7 і другий 8 підсилювачі напруги підвищеної частоти, перший автоматичний перемикач 9, генератор напруги 10 підвищеної частоти, подільник частоти

11, розмножувальний блок 12, перший фільтр 13 нижніх частот, вибіркового підсилювача 14 низької частоти, другий автоматичний перемикач 15, другий фільтр 16 нижніх частот та вимірювальний прилад 17

Кондуктометричний датчик 1 вміщує голчасті електроди 18 і 19, на яких розташовані оксидні покриття електродів 20 і 21, розподільні конденсатори 22 і 23 та гнучкі екрановані дроти 24 і 25. Позицією 26 означений в'язко-пластичний контролюємий матеріал

Виходи кондуктометричного датчика 1 через роз'єднувачі 2 і 3 підключені до симетричних входів малошумного диференційного підсилювача 4, виконаного на операційних підсилювачах 5 і 6. Виходи підсилювачів з'єднані з входами підсилювачів напруги 7 і 8 підвищеної частоти. Вихід підсилювача 7 з'єднано з одним входом розмножувального блоку 12, а прямий та інверсний виходи підсилювача напруги 8 з'єднано з входами автоматичного перемикача 9, керуючий вхід якого підключено до виходу генератора 10 напруги підвищеної частоти через поподільник частоти 11. Вихід автоматичного перемикача 9 з'єднано з другим входом розмножувального блоку 12, до виходу якого через фільтр нижніх частот 13 підключено вибіркового підсилювача 14 низької частоти. Прямий та інверсний виходи вибіркового підсилювача 14 низької частоти через автоматичний перемикач 15, керуючий вхід якого підключено також до виходу поподільника частоти 11, з'єднано з входом фільтра 16 нижніх частот, до виходу якого підключено вимірювальний прилад 17, градуйований в одиницях вологості

Вимірювальні електроди 18 і 19 кондуктометричного датчика 1 виконані із провідного металу, мають загострені (голчасті) кінці та покриті на 2/3 оксидними плівками 20 і 21. Голчасті кінці електродів занурені в контролюємий в'язко-пластичний матеріал 26, а другі кінці електродів з'єднані через розподільні конденсатори 22 і 23 та гнучкі екрановані дроти 24 і 25 з роз'єднувачами 2 і 3 вимірювальної схеми

Кондуктометричний вимірювач вологості працює так

В кожному провідному середовищі, яке має активні електричні витрати, виникають теплові електричні флуктуації - тепловий шум з широким спектром. За допомогою вимірювальних електродів 18 і 19, які занурені в контролюємий матеріал 26, знімається шумова напруга. Для виключення впливу поверхневої вологості матеріалу вимірювальні металічні електроди, наприклад з алюмінію, покриті непровідною оксидною плівкою. Тому зняття теплового шуму здійснюється тільки із глибинної частини матеріалу 26 (на кресленні вказано у вигляді заштрихованої ділянки). Згідно з рівнянням Найквіста квадрат шумової напруги, яка знімається з електродів \bar{U}_w^2 , має вигляд

$$\bar{U}_w^2 = 4k\Delta fTR, \quad (1)$$

де $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - стала Больцмана,

Δf - смуга частот, в якій вимірюється шумовий сигнал,

T - термодинамічна температура по шкалі Кельвіна,

R - електричний опір міжелектродного участку контролюемого матеріалу

Тепловий шум по своїй структурі є випадковим сигналом, який має суцільний спектр, а по рівню напруги знаходиться у межах 10^{-7} - 10^{-8} В. При цьому спектр теплових шумів принципово не відрізняється від спектру теплових шумів підсилювачів підвищеної частоти вимірювальної схеми, які по рівню напруги того ж порядку, що і шумовий сигнал на виході електродів кондуктометричного датчика. Крім цього, в шумовому сигналі кондуктометричного датчика присутні низькочастотні складові шуму (дробовий шум, контактний шум, фліккер-шум), які функціонально не зв'язані з електричним опором міжелектродної ділянки матеріалу

Вихідна напруга електродів кондуктометричного датчика 1 поступає на вимірювальну схему через розподільні конденсатори 22 і 23, які разом з вхідними опорами диференційного підсилювача 4 створюють фільтр верхніх частот, який пропускає тільки шумові компоненти підвищеної частоти (10-200 кГц). Для цього ємності розподільних конденсаторів 22 і 23 обирають невеликими (500-1000 пФ). При цьому низькочастотний шум кондуктометричного датчика 1 придушується, або значно ослаблюється

Операційні підсилювачі 5 і 6, які входять до складу малошумового диференційного підсилювача 4, підсилюють шумову напругу і розподіляють її на дві однакові протифазні напруги

Якщо вихідну напругу кондуктометричного датчика 1 представити у комплексному вигляді ϵ_w , то протифазні напруги на виходах диференційного підсилювача 4 будуть мати вигляд

$$\epsilon_1 = k_1 \epsilon_w, \quad \epsilon_2 = k_2 \epsilon_w, \quad (2)$$

де $k_1=k_2$ - коефіцієнти підсилення каналів малошумного диференційного підсилювача 4

Напруги ϵ_1 і ϵ_2 поступають на входи підсилювачів напруги 7 і 8 підвищеної частоти з смугою пропускання $\Delta f=10$ -200 кГц. Так як напруги власних шумів підсилювачів 7 і 8 того ж порядку, що і вхідні сигнали теплових шумів, підсилені напруги підвищеної частоти представимо у вигляді сумарних комплексних напруг

$$\epsilon_3 = k_3 (\epsilon_{w3} + k_1 \epsilon_w) \quad (3)$$

$$\epsilon_4 = k_4 (\epsilon_{w4} + k_2 \epsilon_w) \quad (4)$$

де $k_3=k_4$ - коефіцієнти підсилення підсилювачів 7 і 8 відповідно,

ϵ_{w3} і ϵ_{w4} - комплексні напруги власних шумів цих підсилювачів, якщо брати до уваги остатні шуми операційних підсилювачів 5 і 6

На інверсному виході підсилювача 8 формується змінна напруга із зворотним знаком відносно (4)

$$\epsilon_3'' = k_4 (\epsilon_{w4} + k_2 \epsilon_w) \quad (5)$$

На виходи автоматичного перемикача 9 по чергово поступають протифазні напруги (4) і (5). Сам автоматичний перемикач 9 переключається з низькою частотою, яка задається поподільником частоти 11, підключеним до виходу генератора 10 напруги підвищеної частоти. Тому на один вхід

множного блоку 12 надходить безперервна напруга \mathcal{E}_3 , а на другий вхід через автоматичний перемикач 9 по чергові пакети напруг \mathcal{E}_4' і \mathcal{E}_4''

При одному положенні автоматичного перемикача 9, як вказано на кресленні, на виході розмножувального блоку 12 формується сигнал, пропорційний добутку шумових напруг

$$\mathcal{E}_5' = S\mathcal{E}_3\mathcal{E}_4' = S \begin{bmatrix} k_3(\mathcal{E}_{ш3} + k_1\mathcal{E}_{ш}) \\ k_4(\mathcal{E}_{ш4} + k_2\mathcal{E}_{ш}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

де S - масштабний коефіцієнт множного блоку 12

У другому протилежному положенні автоматичного перемикача 9 формується сигнал

$$\mathcal{E}_5'' = S\mathcal{E}_3\mathcal{E}_4'' = S \begin{bmatrix} k_3(\mathcal{E}_{ш3} + k_1\mathcal{E}_{ш}) \\ k_4(\mathcal{E}_{ш4} + k_2\mathcal{E}_{ш}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Вихідні сигнали розмножувального блоку 12 по чергово усереднюються фільтром 13 нижніх частот. При обчисленні усереднених значень сигналів (6) і (7) слід врахувати наступне: власні шуми підсилювачів 5, 7 і 6, 8 між собою некорельовані, а шумова напруга, яка вимірюється (1), некорельована з власними шумами підсилювачів 5, 6, 7 і 8. Так як добуток некорельованих сигналів на часовому інтервалі набагато більше періоду цих сигналів дорівнює нулю, тому можна вважати

$$\overline{\mathcal{E}_{ш3}\mathcal{E}_{ш4}} = 0, \overline{\mathcal{E}_{ш3}\mathcal{E}_{ш}} = 0, \overline{\mathcal{E}_{ш4}\mathcal{E}_{ш}} = 0 \quad (8)$$

В той же час підсилювані протифазні шумові сигнали \mathcal{E}_1 і \mathcal{E}_2 є корельованими, так як формуються від одного джерела теплового шуму. Тому, ураховуючи умови (8), усереднені напруги (6) і (7) імпульсів на виході фільтра 13 нижніх частот будуть мати значення

$$\overline{U_5'} = Sk_1k_2k_3k_4\overline{U_{ш}^2} + U_{др}(t) \quad (9)$$

$$\overline{U_5''} = -Sk_1k_2k_3k_4\overline{U_{ш}^2} + U_{др}(t), \quad \pi/\Omega < t < 2\pi/\Omega \quad (10)$$

де Ω - кругова частота перемикачів напруг \mathcal{E}_4'

і \mathcal{E}_4'' автоматичним перемикачем 9,

$U_{др}(t)$ - повільна часова функція, яка відображає несталість (дрейф) нуля розмножувального блоку 12

В кожному із виразів (9) і (10) перший член одного порядку з напругою дрейфа $U_{др}(t)$. Тому виділити та виміряти корисний сигнал на фоні напруги дрейфа, яка повільно змінюється, важко. Проте часова послідовність усереднених напруг (9) і (10) з різним знаком може розглядатися як одна регулярна знакозмінна напруга з частотою Ω перемикачів

$$U_6(t) = \left((\overline{U_5'} - \overline{U_5''})/2 \right) \text{signs} \sin \Omega t \quad (11),$$

де $\text{signs} \sin \Omega t$ - функція меандру, яка відображає прямокутну форму огинаючої імпульсів (9) і (10) від усереднених добутків сигналів

Підставляючи значення \mathcal{E}_5' і \mathcal{E}_5'' у вираз (11) із (9) і (10), одержуємо змінну напругу, вільну від дрейфу нуля розмножувального блоку

$$U_6(t) = Sk_1k_2k_3k_4\overline{U_{ш}^2} \text{signs} \sin \Omega t \quad (12)$$

Вважаючи, що коефіцієнти однакових підсилювачів рівні $k_1=k_2$, $k_3=k_4$ остаточно одержимо

$$U_6(t) = Sk_1^2k_3^2\overline{U_{ш}^2} \text{signs} \sin \Omega t \quad (13)$$

Разом з корисним сигналом (13) через кінцеве значення часу усереднення, який визначається сталою часу фільтра 13 нижніх частот, буде присутня перешкода у вигляді низькочастотного шуму. Для знищення перешкоди змінна напруга вибірко-вим підсилювачем 14 низької частоти, $U_6(t)$ підсилюється який настроєно на частоту Ω . На прямому виході вибіркового підсилювача 14 виникає напруга

$$U_7(t) = Sk_1^2k_3^2k_4\overline{U_{ш}^2} \sin \Omega t \quad (14)$$

а на інверсному виході

$$U_8(t) = Sk_1^2k_3^2k_4\overline{U_{ш}^2} \sin(\Omega t - \pi) \quad (15)$$

де k_4 - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача 14

Вихідні напруги вибіркового підсилювача 14 по чергово через автоматичний перемикач 15 поступають на фільтр 16 нижніх частот. Так як напруги (14) і (15) є протифазними, а автоматичні перемикачі 9 і 15 працюють синхронно, то на вхід фільтра 16 нижніх частот поступають полусинусоїди одного знаку, тобто відбувається процес синхронного детектування змінної напруги

В результаті на виході фільтра 16 нижніх частот виділяється постійна складова напруги

$$U_9 = Sk_1^2k_3^2k_4k_5\overline{U_{ш}^2} \quad (16)$$

де k_5 - коефіцієнт передачі фільтра 16 нижніх частот. При цьому низькочастотні шуми, які попадають в полосу пропускання вибіркового підсилювача 14, огладжуються фільтром 16 нижніх частот

Якщо у вираз (16) підставити вихідну напругу з виразу (1), то одержимо

$$U_{10} = 4Sk_1^2k_3^2k_4k_5k\Delta T R = \alpha R \quad (17)$$

де $\alpha = 4Sk_1^2k_3^2k_4k_5k\Delta T$ - сталий коефіцієнт перетворення опору в напругу при температурі $T = \text{const}$

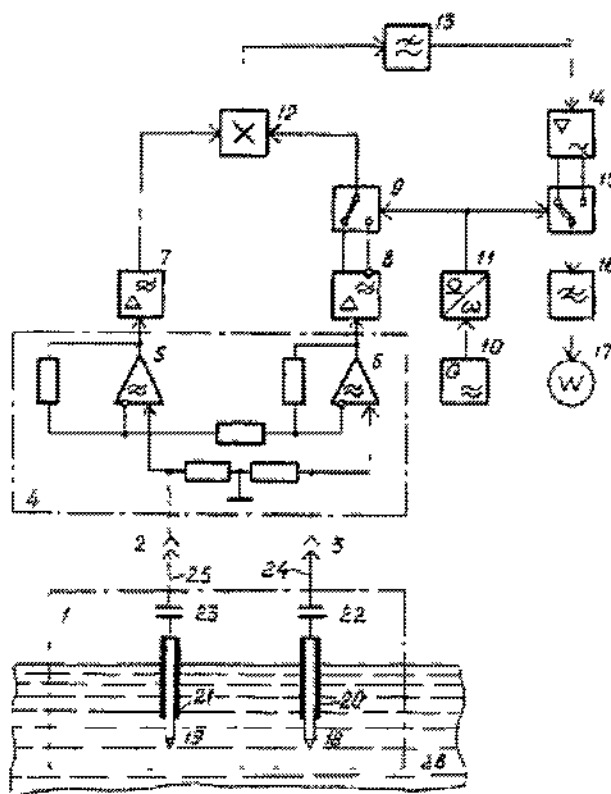
Таким чином, вихідна напруга вимірювальної схеми пропорційна електричному опору в'язко-пластичного матеріалу, який знаходиться у глибині на рівні оголеної частини електродів 18 і 19. Постійна напруга U_{10} поступає на вимірювальний прилад 17, шкала якого отградуована в одиницях вологості у відповідності з і функціональною залежністю електричного опору матеріалу від його вологості

На відміну від відомих кондуктометричних вимірювачів вологості розглянутий вимірювач дозволяє одержати інформацію про об'ємну вологість в'язко-пластичного матеріалу без впливу поверхневої вологості і дії на нього електричного струму, що цілком виключає електролітичний розклад компонентів контролюемого матеріалу. Завдяки перемноженню підсиленних протифазних складових напруги теплових шумів кондуктометричного датчика і наступного їх усереднення придушується вплив власних теплових шумів підсилювачів на

значення шумової напруги, яка знімається з електродів. Періодичне інвертування однієї з перемножувальних напруг виключає вплив дрейфу нуля розмножувального блоку, а наступне виборче підсилення на частоті перемикання протифазних напруг дозволяє виділити корисний сигнал теплових шумів з низькочастотних шумів вимірювальної схеми.

Приклад. Досліджено кондуктометричний вимірювач вологості, в якому вхідний малошумний диференційний підсилювач виконано на двох операційних підсилювачах типу TLC 2262A фірми TEXAC INSTRUMENT, а в якості підсилювачів напруги підвищеної частоти з диференційним виходом (прямим та інверсним) використані інтегральні схеми типу AD8131 VD MAIS, коефіцієнт підсилення яких дорівнює 100. Розмножувальний блок збудовано на основі мікросхеми 525ПС2 і операційних підсилювачів. Автоматичні перемикачі виконані на польових транзисторах типу 2П303Д і керуються від генератора напруг частоти 1кГц через тригер-

ний подільник частоти з коефіцієнтом ділення $n=2^4=16$, що забезпечує частоту комутації 62,5Гц. Діапазон вимірювальної вологості в'язкопластичного матеріалу, в якості якого використувалася трьохкомпонентна емульсія холестерин-вазелинове масло-вода, знаходився у межах від 0,29 до 25%. В суспензії безводного холестерину у вазелиновому маслі дозовано додавалася вода. Низька концентрація води 0,29% відповідає еквімолекулярному співвідношенню холестерина і води. В області 2,9-18% вода, яка надійшла, переходить у зв'язаний стан, а в області вище 18% надлишкова вода емульгується у вигляді мікрокрапель. У відповідності з цим змінюється і характер шкали вимірювача вологості. Похибка виміру вологості, яка визначається попінально-ваговим методом, знаходилася у межах $\pm 0,5\%$. Для того, щоб зняти шумовий сигнал, використані хімічно нейтральні (медичні) електроди марки ЕПКК - 2, які серійно випускає завод "РЕМА" (М Львів).



Фіг.