

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ДІЕЛЬКОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ВОЛОГОСТІ

У статті проведено аналіз діелькометричних методів вимірювання вологості засновані на аналізі вихідного сигналу сенсора при дії на вході високочастотного зондуючого сигналу.

Ключові слова: метод, вимірювання, вологість, частота, фаза, амплітуда, сигнал, чутливість, аналогово-цифровий перетворювач.

В статье проведен анализ диелькометрических методов измерения влажности основанные на анализе исходного сигнала сенсора при действии на входе высокочастотного зондирующего сигнала.

Ключевые слова: метод, измерение, влажность, частота, фаза, амплитуда, сигнал, чувствительность, аналогово-цифровой преобразователь.

In article the analysis of dielkometric methods of measurement of humidity based on the analysis of an initial signal of sensor control at action on an input of a high-frequency probing signal is analysed.

Keywords: method, measurement, humidity, frequency, phase, amplitude, signal, sensitivity, digital quantizer.

Вступ. Сучасний стан розвитку елементної бази вимагає використовувати нові підходи до проектування засобів вимірювальної техніки

При вимірюванні параметрів матеріалів, вихідний сигнал первинного вимірювального перетворювача залежить як від змін контрольованого параметра, так і від змін неінформативних параметрів. Існує багато методів зменшення впливу складових вихідного сигналу первинного вимірювального перетворювача, залежних від змін неінформативних параметрів. При вимірюванні, наприклад, вологості - це застосування ущільнення матеріалу, вибір методу вимірювання, найменш чутливого до основної похибки вимірювання, правильний вибір робочої частоти тощо. Але в більшості випадків це не забезпечує інваріантності вимірювання.

Діелькометричні методи вимірювання вологості засновані на аналізі вихідного сигналу сенсора (первинного вимірювального перетворювача) при дії на вході високочастотного зондуючого сигналу. Цей аналіз може проводитись як на одній частоті, так і в діапазоні частот.

При вимірі вологості радіоелектронними засобами використовують залежність від вмісту води в матеріалі активної та уявної складових комплексної діелектричної проникності досліджуваного матеріалу і тангенсу кута його діелектричних втрат у первинному вимірювальному перетворювачі. Ці вимірники можуть бути розділені по наступних ознаках:

- амплітудні вологоміри, що реагують на зміну модуля комплексного опору первинного вимірювального перетворювача.

- частотні вологоміри, що реагують на зміну частоти коливального контуру, у який включений первинний перетворювач із досліджуваним матеріалом.

- вологоміри, засновані на поділі впливу активної і реактивної складових комплексного опору первинного перетворювача.

- фазові вологоміри, що реагують на зміну фазового зсуву зондуючого радіосигналу, що минає первинний вимірювальний перетворювач.

- багаточастотні вологоміри, що засновані на використанні сигналів двох або більше різних частот для проведення виміру.

- багатопараметрові вологоміри, що засновані на проведенні виміру двох або більше різних параметрів зондуючого радіосигналу. Ці параметри повинні бути функціонально залежні від величини, що вимірюється, або найбільш суттєвих складових похибки виміру.

Двочастотні вимірювачі вологості. Сьогодні перспективно використання приладів, в яких створюється надлишковість вимірювальної інформації. Для їх реалізації вимірювання проводяться на декількох частотах, або вимірюється декілька інформативних параметрів. При цьому з'являється можливість виключити складові, що вносять найбільший вклад в загальну похибку вимірювання.

При використанні двох вимірювальних частот, вихідні сигнали y_1 і y_2 первинного вимірювального перетворювача на частотах ω_1 і ω_2 визначаються виразами:

$$\begin{aligned}y_1 &= S_{11}W + S_{12}P, \\y_2 &= S_{21}W + S_{22}P,\end{aligned}$$

де S_{11} , S_{21} - чутливість первинного вимірювального перетворювача до зміни вимірюваного параметра W на частотах ω_1 і ω_2 відповідно;

S_{12} , S_{22} - чутливість первинного вимірювального перетворювача до зміни неінформативного параметра (завади) P на частотах ω_1 і ω_2 відповідно.

Умова компенсації неінформативного параметра має вигляд:

$$S_{12}P - \alpha S_{22}P = 0,$$

де α - масштабний коефіцієнт, який визначається виразом:

$$\alpha = \frac{S_{12}}{S_{22}}.$$

Частоти ω_1 і ω_2 необхідно вибирати з умови забезпечення максимальної чутливості первинного вимірювального перетворювача до зміни вимірюваного параметра на одній частоті, і до зміни неінформативного - на іншій.

Для отримання інформації про форми зв'язку вологи з матеріалом (при малих вологостях) використовують частотно-дисперсійні методи. При цьому аналізують зміни форми амплітудно-частотної (АЧХ) і фазочастотної (ФЧХ) характеристик сенсора до і після зондування об'єкту контролю сигналами різних частот.

Чисті і однорідні матеріали мають рівномірну АЧХ і лінійну ФЧХ. При наявності навіть незначної вологості досліджуваного матеріалу значно змінюються його частотні властивості. Це приводить до зміни форм АЧХ і ФЧХ сенсора, що взаємодіє з матеріалом. Це кількісно оцінюється нерівномірністю АЧХ і нелінійністю ФЧХ.

Наприклад, діелектрична проникність хімічно чистої води практично постійна в широкій смузі частот (до сотень мегагерц). В області НВЧ спостерігається різке зниження діелектричної проникності і значне зростання діелектричних втрат. Це явище називають частотною дисперсією діелектричної проникності. Наявність розчинених речовин обумовлює появу частотної дисперсії на більш низьких частотах. Це дозволяє знаходити у воді ті чи інші розчинені речовини по формі АЧХ і ФЧХ сенсора з досліджуваним розчином.

Наявність вологи в досліджуваному матеріалі обумовлює частотну дисперсію в більш низькочастотному діапазоні. Дисперсія того чи іншого електрофізичного параметра індивідуальна для кожного матеріалу, тому по змінам частотно-дисперсійних властивостей матеріалу можна визначити, крім вологості такі параметри, як концентрацію, склад, структуру та інші.

Головні похибки вимірювачів вологості, що побудовані за дієлькометричним методом, пов'язані з змінами температури, діелектричної проникності, щільності досліджуваного матеріалу, його гранулометричного складу. Використання комутаційно-модуляційних методів вимірювання дозволяє послабити вплив цих похибок [1].

Для підвищення чутливості приладів контролю до дисперсійних змін електрофізичних параметрів використовується двочастотний зондуючий сигнал. Він складається з пакетів

коливань низької фіксованої частоти і пакетів коливань високої частоти, яка змінюється. Амплітуди сигналів на вході сенсора повинні бути однаковими. За рахунок дисперсії електрофізичних параметрів амплітуда пакету високочастотних коливань змінюється, а амплітуда пакету низькочастотних коливань залишається незмінною. Завдяки цьому в двочастотному зондуєчому сигналі з'являється амплітудна модуляція, глибина якої визначається відносною частотною дисперсією досліджуваного матеріалу. Оцінка глибини амплітудної чи фазової модуляції здійснюється шляхом детектування пакетної напруги, або виділенням спектральних складових пакетного сигналу.

Для автоматизації вимірювань застосовують двочастотні методи з комутаційно - модуляційними перетвореннями. Особливістю даних схем є те, що напруги двох частот з низькою частотою комутації пропускають через одні і ті ж перетворювальні ланки. В результаті, вимірник стає нечутливим до змін температури, старіння елементів, зміни коефіцієнтів передач блоків, адитивних похибок. Це відбувається завдяки тому, що зміни інформативного параметра зондуєчого радіосигналу, викликаного дією того або іншого дестабілізуючого фактора на одній частоті, компенсуються такими ж змінами інформативного параметра зондуєчого радіосигналу на іншій частоті. У літературі [39, 94, 96, 97, 98, 113], досліджені схеми і пристрої, принцип роботи яких заснований на аналізі нерівномірностей модуля і нелінійностей фази комплексного коефіцієнта передачі первинного вимірювального перетворювача з досліджуваним матеріалом при зондуванні його двочастотним складеним сигналом з пакетами напруг низької і високої частот, що чергуються.

Однак, модуль комплексного коефіцієнта передачі первинного вимірювального перетворювача, містить інформацію як про дійсну, так і про уявну його складові, які однаковою мірою інформативні відносно вмісту вологи, і відносно частотної дисперсії діелектричної проникності досліджуваних матеріалів.

Перспективними в даний час є вимірники, що реагують на зміну дійсної або уявної складових комплексного коефіцієнта передачі первинного вимірювального перетворювача з досліджуваним матеріалом.

Функціональна схема цифрового двочастотного вологоміра зображена на рисунку 1. Він працює таким чином.

По команді мікро-ЕОМ, до входу ємнісного давача C_d підключається генератор низької частоти 1 (автоматичний перемикач 3 в положенні 1), а до виходу ємнісного давача - зразковий конденсатор C_{02} (автоматичний перемикач 5 в положенні 1).

При цьому, на вимірювальний перетворювач поступає низькочастотна напруга частоти ω_1 , що визначається виразом:

$$u_1 = k_1 U_{m1} (1 + \gamma_1) \cos(\omega_1 t + \varphi_1), \quad (1)$$

де U_{m1} - амплітуда низькочастотної напруги;

$\gamma_1 = \frac{\Delta U_{m1}}{U_{m1}}$ - відносна нестабільність амплітуди генератора низької частоти;

k_1 - коефіцієнт передачі атенюатора 4.

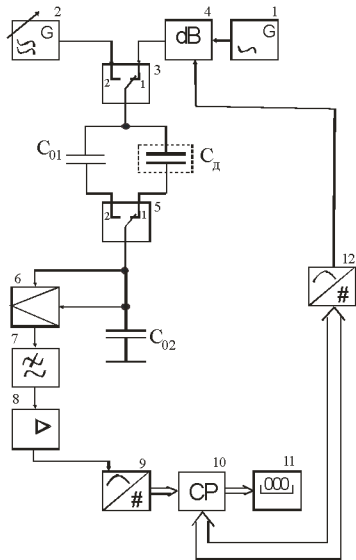


Рис. 1. Функціональна схема цифрового вимірювача вологості

На входи помножувального блоку 6 поступають сигнали низької частоти ω_1 з входу і виходу вимірювального перетворювача. Сигнал на вході вимірювального перетворювача визначається виразом (1), а сигнал на виході вимірювального перетворювача (падіння напруги на зразковому конденсаторі C_{02}) можна знайти з виразу :

$$u_3 = \frac{Y_1 u_1}{Y_2}, \quad (2)$$

де Y_1 - повна провідність ємнісного давача C_d на низькій частоті ω_1 ;

Y_2 - провідність зразкового конденсатора C_{02} на низькій частоті.

Повна провідність ємнісного давача на низькій частоті визначається виразом :

$$Y_1 = k_2 \omega_1 \varepsilon_1^*(m_e, m_c, m_n), \quad (3)$$

де k_1 - коефіцієнт пропорційності, який визначається геометричними розмірами ємнісного давача C_d ;

$\varepsilon_1^*(m_e, m_c, m_n)$ - комплексна діелектрична проникність, пропорційна масі води m_e , масі сухої речовини m_c і масі провідних речовин m_n в об'ємі ємнісного давача.

Зразковий конденсатор C_{02} вибирають таким, щоб частотна дисперсія діелектричної проникності його діелектрика була малою на робочих частотах. Для цього можна використовувати конденсатори, в яких як діелектрик використовується слюда, дисперсія діелектричної проникності якої до надвисоких частот мала. В цьому випадку нею можна нехтувати. Провідність зразкового конденсатора б на низькій частоті ω_1 визначається виразом :

$$Y_2 = k_3 \omega_1 \varepsilon_2, \quad (4)$$

де k_3 - коефіцієнт пропорційності, залежний від геометричних розмірів зразкового конденсатора C_d ;

ε_2 - діелектрична проникність його діелектрика.

З врахуванням провідності ємнісного давача і зразкового конденсатора, які визначаються виразами (3) і (4), падіння низькочастотної напруги на зразковому конденсаторі C_{02} , буде дорівнювати :

$$u_1 = \frac{k_1 U_{m1} (1 + \gamma_1) k_2 \varepsilon_1^*(m_e, m_c, m_n) \cos(\omega_1 t + \varphi_1 + \Delta \varphi_1)}{k_3 \varepsilon_2}, \quad (5)$$

де $\Delta \varphi_1$ - фазовий зсув, який визначається співвідношенням реактивної і активної провідності ємнісного давача на низькій частоті.

Сигнали, які визначаються виразами (1) і (5), поступають на входи помножувального блоку 6, напруга на виході якого дорівнює:

$$u_4 = S(1 + \gamma_s) \cdot u_1 \cdot u_3 = S(1 + \gamma_s) \cdot \frac{U_{m1}^2 (1 + \gamma_1)^2 k_1^2 k_2 \varepsilon_1^*(m_e, m_c)}{k_3 \varepsilon_2}, \quad (6)$$

де S - крутизна перетворення помножувального блоку 6;

γ_s - амплітудна похибка помножувального блоку 6.

Сигнал, що визначається виразом (6), проходить через фільтр нижніх частот і підсилювач. На виході підсилювача він приймає вигляд:

$$u_3 = \frac{S(1+\gamma_s) \cdot U_{m1}^2 (1+\gamma_1)^2 k_1^2 k_2 k_4 (1+\gamma_4) \varepsilon_1(m_c, m_n)}{k_3 \varepsilon_2}, \quad (7)$$

де k_4, γ_4 - коефіцієнт посилення підсилювача і його похибка, що викликається нестабільністю параметрів підсилювача.

Напряга u_3 переводиться в цифровий код в аналого-цифровому перетворювачі 9 і поступає на вхід мікро-ЕОМ, де стає пропорційною виразу:

$$u'_3 = \frac{S(1+\gamma_s) \cdot U_{m1}^2 (1+\gamma_1)^2 k_1^2 k_2 k_4 (1+\gamma_4) \varepsilon_1(m_c, m_n) \cdot (1+\gamma_\Delta)}{k_3 \varepsilon_2}, \quad (8)$$

де γ_Δ - методична похибка АЦП.

Далі, по команді мікро-ЕОМ, перемикач 3 переводиться в положення 2. Високочастотний сигнал, який визначається виразом:

$$u_2 = U_{m2} (1+\gamma_2) \cdot \cos(\omega_2 t + \varphi_2), \quad (9)$$

де U_{m2} - амплітуда високочастотної напруги;

$\gamma_2 = \frac{\Delta U_{m2}}{U_{m2}}$ - відносна нестабільність амплітуди високочастотної напруги,

поступає на вхід вимірювального перетворювача, на виході якого маємо:

$$u_6 = \frac{Y_3 \cdot u_2}{Y_4}, \quad (10)$$

де Y_3 - повна провідність ємнісного давача C_D на високій частоті ω_2 ;

Y_4 - провідність зразкового конденсатора C_{02} на високій частоті ω_2 .

Повна провідність ємнісного давача на високій частоті зменшується за рахунок дисперсії діелектричної проникності досліджуваного матеріалу, і визначається, в основному, масою сухої речовини у відповідності з виразом :

$$Y_3 = k_2 \cdot \omega_2 \cdot \varepsilon_1^*(m_c, m_n), \quad (11)$$

де $\varepsilon_1^*(m_c, m_n)$ - комплексна діелектрична проникність, пропорційна масі сухої речовини m_c і масі провідних речовин m_n в об'ємі ємнісного давача.

Провідність зразкового конденсатора б на високій частоті визначається виразом :

$$Y_4 = k_3 \cdot \omega_2 \cdot \varepsilon_2. \quad (12)$$

З урахуванням виразів (9), (11) і (12), падіння високочастотної напруги (10) на виході вимірювального перетворювача має вигляд:

$$u_6 = \frac{U_{m2} (1+\gamma_2) \cdot k_2 \cdot \varepsilon_1^*(m_c, m_n) \cdot \cos(\omega_2 t + \varphi_2 + \Delta\varphi_2)}{k_3 \varepsilon_2}, \quad (13)$$

де $\Delta\varphi_2$ - фазовий зсув, який визначається співвідношенням реактивної і активної провідності ємнісного давача на високій частоті.

Сигнали, що визначаються виразами (9) і (13) поступають на входи помножувального блоку б, напруга на виході якого дорівнює:

$$u_7 = S(1+\gamma_s) \cdot u_2 \cdot u_6 = S(1+\gamma_s)(1+\gamma_{\omega_2}) \frac{U_{m2}^2 (1+\gamma_2)^2 \cdot k_2 \cdot \varepsilon_1(m_c)}{k_3 \varepsilon_2}, \quad (14)$$

де γ_{ω_2} - частотна похибка помножувального блоку на частоті ω_2 .

Напряга (14) проходить через фільтр нижніх частот і підсилювач. На виході підсилювача сигнал визначається виразом:

$$u_8 = \frac{S \cdot (1 + \gamma_s)(1 + \gamma_{\omega_2}) \cdot U_{m2}^2 (1 + \gamma_2)^2 \cdot k_2 \cdot k_4 (1 + \gamma_4) \cdot \varepsilon_1(m_c)}{k_3 \varepsilon_2}. \quad (15)$$

Напруга u_8 в аналого-цифровому перетворювачі 9 переводиться в цифровий код і поступає на вхід мікро-ЕОМ, де приймає вигляд:

$$u'_8 = \frac{S \cdot (1 + \gamma_s)(1 + \gamma_{\omega_2}) \cdot U_{m2}^2 (1 + \gamma_2)^2 \cdot k_2 \cdot k_4 (1 + \gamma_4) \cdot \varepsilon_1(m_c)(1 + \gamma_\Delta)}{k_3 \varepsilon_2}, \quad (16)$$

де γ_Δ - похибка АЦП.

Наступний крок програми проведення вимірювання полягає в обчисленні цифрового коду різниці напруг, що визначається виразами (8) і (16):

$$u_9 = u'_5 - u'_8 = \frac{S \cdot k_2 \cdot k_4 (1 + \gamma_4) \cdot (1 + \gamma_\Delta)}{k_3 \varepsilon_2} [U_{m1}^2 (1 + \gamma_1)^2 (1 + \gamma_{s1}) \cdot k_1^2 \cdot \varepsilon_1(m_e, m_c) - U_{m2}^2 (1 + \gamma_2)^2 (1 + \gamma_{s2}) \cdot (1 + \gamma_{\omega_2}) \cdot \varepsilon_1(m_c)] \quad (17)$$

і зведенні цієї різниці до нуля. Для цього цифровий код різниці (17) видається на цифро-аналоговий перетворювач 12, який пов'язаний із змінним атенюатором 4 низькочастотного генератора 1. При регулюванні коефіцієнта передачі змінного атенюатора досягається умова рівності напруг (8) і (16).

За цієї умови, коефіцієнт передачі k_1 приймає вигляд:

$$k_1 = \sqrt{\frac{U_{m2}^2 (1 + \gamma_2)^2 (1 + \gamma_{s2}) \cdot (1 + \gamma_{\omega_2}) \cdot \varepsilon_1(m_c)}{U_{m1}^2 (1 + \gamma_1)^2 (1 + \gamma_{s1}) \cdot \varepsilon_1(m_e, m_c)}}. \quad (18)$$

Далі, по команді мікро-ЕОМ, автоматичний перемикач 5 встановлюється в положення 2, при якому до зразкового конденсатора 6 підключається другий зразковий конденсатор C_{01} .

Ємність C_3 другого зразкового конденсатора 15 вибирається при градуванні вологоміра із співвідношення:

$$C_3 = \frac{C_{x_{\max}} + C_{x_{\min}}}{2}, \quad (19)$$

де $C_{x_{\max}}$, $C_{x_{\min}}$ - ємність давача, що відповідає максимальній і мінімальній вологості досліджуваного матеріалу відповідно.

За цих умов, амплітуди сигналів, що поступають на входи помножувального блоку 6, що відповідають певним положенням перемикачів, будуть приблизно рівні. Отже, будуть рівні і похибки, що вносяться помножувальним блоком і іншими вузлами схеми.

Провідність другого зразкового конденсатора на частотах ω_1 і ω_2 визначається виразами:

$$Y_5 = k_5 \cdot \omega_1 \cdot \varepsilon_3; \quad (20)$$

$$Y_6 = k_5 \cdot \omega_2 \cdot \varepsilon_3, \quad (21)$$

де k_5 - коефіцієнт пропорційності, що визначається геометричними розмірами другого зразкового конденсатора C_{01} ;

ε_3 - діелектрична проникність його діелектрика.

При встановленні автоматичного перемикача 3 в положення 1, сигнал на вході мікро-ЕОМ 10, визначається виразом:

$$u_{10} = \frac{S \cdot (1 + \gamma_{s3}) \cdot U_{m1}^2 (1 + \gamma_1)^2 \cdot k_1^2 \cdot k_5 \cdot \varepsilon_3 \cdot k_4 (1 + \gamma_4) \cdot (1 + \gamma_\Delta)}{k_3 \varepsilon_2}. \quad (22)$$

При встановленні автоматичного перемикача 3 в положення 2, сигнал на вході мікро-ЕОМ 10, визначається виразом:

$$u_{11} = \frac{S \cdot (1 + \gamma_{s4}) \cdot (1 + \gamma_{\omega 2}) \cdot U_{m2}^2 (1 + \gamma_2)^2 \cdot k_5 \cdot \varepsilon_3 \cdot k_4 (1 + \gamma_4) \cdot (1 + \gamma_{\Delta})}{k_3 \varepsilon_2} \quad (23)$$

Наступний крок програми проведення вимірювань полягає в обчисленні відносної різниці напруг u_{10} і u_{11} , віднесеної до напруги u_{10} . В результаті одержуємо:

$$\frac{u_{10} - u_{11}}{u_{10}} = \frac{U_{m1}^2 (1 + \gamma_1)^2 \cdot (1 + \gamma_{s3}) \cdot k_1^2 - U_{m2}^2 (1 + \gamma_2)^2 \cdot (1 + \gamma_{s4}) \cdot (1 + \gamma_{\omega 2})}{U_{m1}^2 (1 + \gamma_1)^2 \cdot (1 + \gamma_{s3}) \cdot k_1^2}$$

При підстановці коефіцієнта передачі k_1 атенюатора 4, у відповідності з виразом (18), одержуємо:

$$\frac{u_{10} - u_{11}}{u_{10}} = \frac{(1 + \gamma_{s3}) \cdot (1 + \gamma_{s2}) \varepsilon_1(m_c)}{(1 + \gamma_{s1}) \cdot (1 + \gamma_{s4}) \varepsilon_1(m_e, m_c)} \quad (24)$$

Діелектрична проникність вологого матеріалу на низькій частоті, тобто дійсна складова комплексної діелектричної проникності на низькій частоті пропорційна масі води і масі сухої речовини і не залежить від маси провідних речовин:

$$\varepsilon_1(m_e, m_c) = k_6 (m_e + m_c),$$

де k_6 - коефіцієнт пропорційності.

Діелектрична проникність вологого матеріалу на високій частоті за рахунок явища дисперсії пропорційна в основному масі сухої речовини і також не залежить від маси провідних речовин в об'ємі давача:

$$\varepsilon_1(m_c) = k_6 \cdot m_c.$$

Підставляючи знайдені значення $\varepsilon_1(m_e, m_c)$ і $\varepsilon_1(m_c)$ в вираз (24), остаточно одержимо:

$$\frac{u_{10} - u_{11}}{u_{10}} = \frac{m_e}{m_c} = P \quad (25)$$

Вираз (25) визначає вміст води в досліджуваному матеріалі. Для того, щоб визначити вологість, необхідно виконати операцію:

$$W = \frac{P}{1 + P} \cdot 100\%.$$

В результаті одержуємо:

$$W = \frac{m_e}{m_e + m_c} \cdot 100\% \quad (26)$$

Висновки. При цьому, реєстрована напруга не залежить від маси провідних речовин в об'ємі ємнісного давача C_D , часової і амплітудної нестабільностей низькочастотного і високочастотного напруг, геометричних розмірів ємнісного давача і зразкового конденсатора C_{02} , крутизни перетворення помножувального блоку, його частотної похибки тощо, що підвищує точність визначення масової частки води (МЧВ).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бугров А.В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества. - М.: Машиностроение, 1982, - 94 с.
2. Дубров Н.С. и др. Многопараметрические влагомеры для сыпучих материалов. - М.: Машиностроение, 1980, 115с.
3. Сувьян В.Я., Куцевол Н.А. и др. Методы и средства измерения влажности капиллярно - пористых материалов. // Радиотехнические устройства контроля и обработки информации. :Тематический сборник трудов. -К.: НМК ВО, 1992, -с.68 -79.
4. А.с. СССР №734548. Емкостный влагомер МКИ G01 N27/22 / Б.А. Баховец, В.В. Васин.

5. Двухчастотный измеритель полной проводимости с улучшенной частотной характеристикой, не зависящей от времени срабатывания цепи обратной связи. Патент США 725029, МКИ G 01 N 27/22 /Р.В. Берд (США). - 15 с.: ил.

6. Цифровой двочастотный вологомір. Патент на винахід №18997А , G⁶ 01 R 27/22 /Ю.О. Скрипник, А.О. Потапов, І.С. Пятін, опубл. 25.12.97. Бюл. №6.

7. Патент України № 15065 А. Спосіб вимірювання вологості та пристрій для його здійснення МКВ G01 N 27/22 / Скрипник Ю.О., Пятін І.С.

8. Держпатент 17939А України МПК G 01 N 27/22. Спосіб визначення масової частки вологи матеріалів /Скрипник Ю.О., Пятін І.С. - 94032296; заявл. 29.03.94; опубл. 03.06.97; Бюл. №2. - 5с.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В.