



УДК 621.38(075.8)

РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Литвиненко Віктор Миколайович¹, Андрієнко Антоніна Олександрівна¹

¹ Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна

Адреса для листування: Литвиненко Віктор Николаевич, к.т.н., доцент.

Місце роботи: Херсонський національний технічний університет, м. Херсон, Україна

Email: hersonlvn@gmail.com

Анотація. Розроблено вимірювач вологості сипучих матеріалів, який характеризується високою надійністю та порівняно невисокою вартістю. За рахунок удосконалення схеми аналога збільшено середній термін служби елементів принципової схеми та надійність розробленого приладу в цілому. Представлені практичні рекомендації по виготовленню розробленого пристрою контролю вологості сипучих матеріалів.

Ключові слова: вологість, датчик, сипучі матеріали, діод, транзистор.

Вступ. Вимірювання вологості сипучих матеріалів являється складною задачею. Складність її визначається різноманіттям сипучих матеріалів, змінами в процесі вимірювання їх фізико-хімічних властивостей, а також різноманіттям форм зв'язку рідини з твердою речовиною.

У процесі досліджень проаналізовані різні першоджерела, такі як каталоги технічних засобів автоматизації, продукція різних фірм виробників, рекламні прайс - листи, Інтернет. Були виявлені найбільш часто використовувані методи вимірювань вологості сипучих і твердих матеріалів при розробці приладів для вимірювання вологості. Результати аналізу такі: 60% випущених приладів використовують діелькометричний метод; 27% - ваговий метод; 6% - електромагнітний метод; 5% - НВЧ-метод; 2% - кондуктометричний і інші методи.

Аналіз наочно показує, що найбільш часто використовуваний метод при побудові приладу, який вимірює вологість, є ємнісний (діелькометричний) метод і його різновид - високочастотний метод.

Під високочастотними системами, які вимірюють вологість, маються на увазі широкий клас систем, що працюють в діапазоні частот від $5 \cdot 10^3$ до $5 \cdot 10^7$ Гц і використовують або ємнісний

принцип вимірювання вологості, або принцип фазочастотного поділу корисних і заважають сигналів.

З усього різноманіття систем, які вимірюють вологість, принципи дії яких пов'язаний з використанням різних частот спектра електромагнітних коливань, високочастотні системи вибираються не тому, що вони є єдино можливими для вирішення поставлених завдань, а головним чином тому, що в порівнянні з іншими класами систем вони мають ряд незаперечних переваг.

В наш час промисловістю випускається широкий асортимент приладів для вимірювання вологості. Але більшість з них мають високу вартість, невисоку точність вимірювання, низьку надійність, нестабільні в роботі.

В зв'язку з цим є актуальним продовження робіт з удосконалення вимірювачів вологості.

Матеріали та методи дослідження. Для розробки вологоміра був вибраний аналог [1].

Принципова схема розробленого вологоміра приведена на рис. 1.

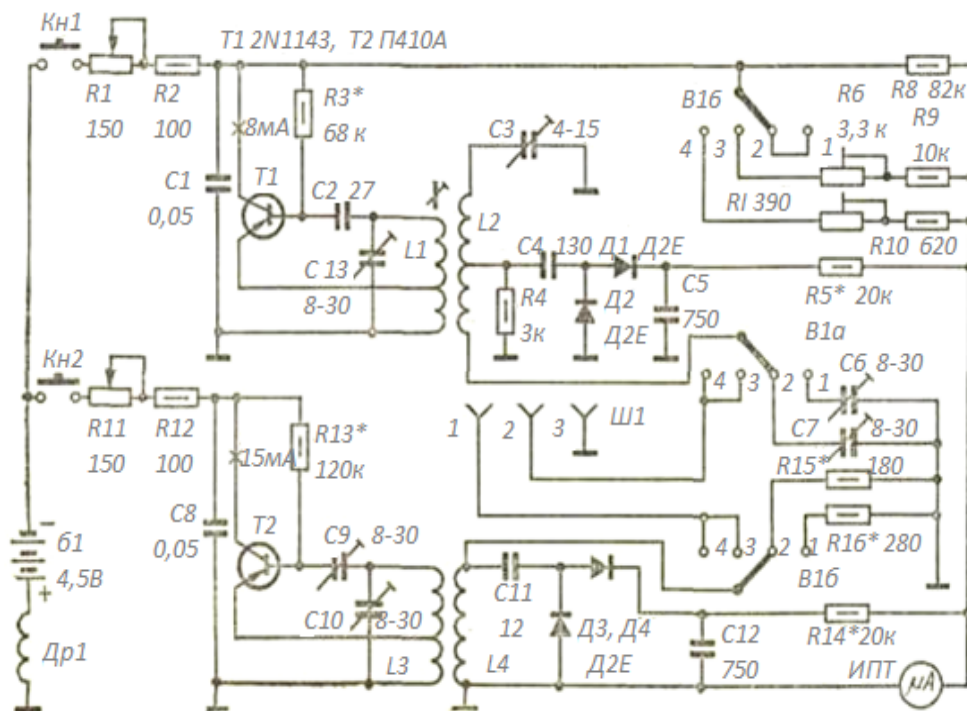


Рис. 1. Принципова схема вологоміра

По відношенню до схеми аналога [1] в розробленій нами схемі було зроблено заміну транзистора P410A (VT2) на його аналог - транзистор 2N1143 в блоці генератора високої частоти, а також заміну діодів 2Д2 на діоди Д2Е в блоках випрямлячів.

Розроблений двочастотний вологомір призначений для вимірювання вологості сипучих матеріалів (наприклад зерна, піску, ґрунту і таке інше), безпосередньо на місці відбору проб. Межі

вимірювань приладом складають 10-30% в двох діапазонах. Похибка вимірювань на першому діапазоні (10-20%) не більше 0,4%, а на другому (20-30%) - не більше 0,5%.

З вологоміром можна працювати в приміщеннях при температурі навколишнього повітря $+(10-35)^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості до 20%. Температура матеріалу, вологість якого визначають, може бути в межах $+(5-50)^{\circ}\text{C}$.

Живлення приладу здійснюється від батареї 3336Л. Струм - близько 20 мА. Маса - близько 2 кг. Принцип роботи вологоміра заснований на багатопараметричному методі вимірювання [2, 3]. Він полягає в тому, що вимірюють кілька параметрів матеріалу з метою компенсації похибок, що викликаються нестабільністю його характеристик і їх взаємозалежністю. Наприклад, при однаковій вологості двох проб різного матеріалу, які розміщені між обкладинками конденсатора, струм через них буде різний, так як самі проби мають різні діелектричні втрати. Тому, при вимірюванні вологості має бути враховано кілька параметрів матеріалу. Віднімаючи або складаючи сигнали від декількох датчиків, можна отримати сигнал, пропорційний тільки вологості випробувального матеріалу.

Вологомір складається з індуктивно-ємнісного датчика (рис. 2), двох генераторів високої частоти, двох вимірювальних вузлів, двох випрямлячів і вимірювального приладу.

Один генератор високої частоти виконаний на транзисторі Т1 за звичайною схемою і виробляє сигнал частотою 6 МГц. Сигнал генератора через обмотку L2 надходить в одну з діагоналей індуктивно-ємнісного моста, утвореного половинками обмотки котушки L2, конденсатором С3 і, в залежності від положення перемикача В1а, конденсаторами С6, С7 або ємнісним датчиком. В іншу діагональ моста включений резистор R4, з якого напруга розбалансу подається через конденсатор С4 на випрямляч, зібраний за схемою подвоєння напруги на діодах Д1, Д2. Навантаженням випрямляча служать конденсатор С5, резистор R5 і вимірювальний прилад ИПТ. При підключенні еталонних конденсаторів С6, С7 замість ємнісного датчика (положення 1 і 2 перемикача В1а) здійснюється контроль відліку на початку і кінці шкали приладу відповідно. Чутливість ємнісного датчика регулюють резистором R1. У положеннях 3 і 4 перемикача В1а вимірюють вологість відповідно на першому і другому діапазонах.

Другий генератор високої частоти виконаний на транзисторі Т2 по тій же схемі і виробляє сигнал частотою 50 МГц. Контур генератора через обмотку L4 пов'язаний з індуктивним датчиком (в положеннях 3 і 4 перемикача В1б.) З котушки L4 через конденсатор С11 сигнал надходить на другий випрямляч, виконаний на діодах Д3, Д4 також за схемою подвоєння напруги. Навантаженням випрямляча є конденсатор С12, резистор R14 і вимірювальний прилад ИПТ. Індуктивний датчик приладу впливає на добротність контуру генератора, а отже на амплітуду напруги генеруючих коливань. Резистори R16 і R15 використовуються, також як конденсатори С6, С7, при контролі

відліку приладу на початку і кінці шкали відповідно. Регулювання чутливості індуктивного датчика здійснюється резистором R11. Резистори R6-R10 необхідні для установки стрілки вимірювального приладу на початок або кінець шкали при вимірюванні вологості еталонних проб при градуюванні приладу.

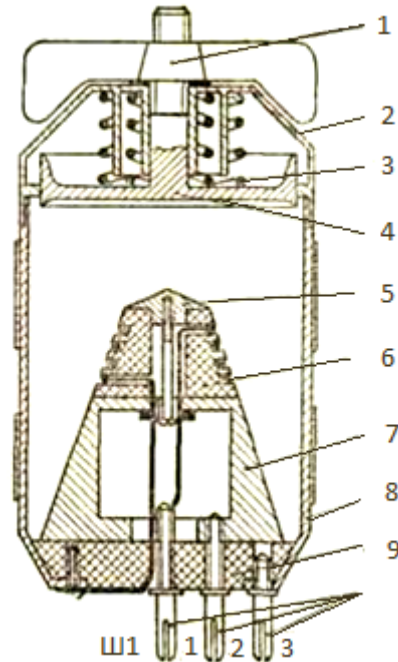


Рис. 2. Індуктивно - ємнісний датчик вологоміра

Датчик вологості, що складається з ємнісного та індуктивного датчиків [4, 5], показаний на рис. 3.2, і являє собою металевий стакан діаметром 60 мм, висотою 110 мм з системою електродів, в якому досліджуваний матеріал стискається за допомогою пружинного пристрою. Система електродів ємнісного датчика утворена корпусом 8, кришкою 2 з розміщеним в ній поршнем 4, який переміщається гвинтом 1 і пружинами 3, основним 7 і компенсуючим 5 електродами, які з котушкою індуктивного датчика 6 закріплені на ізолюючій прокладці 9. Штепселі 10 необхідні для з'єднання датчика вологості з вологовимірювачем. Компенсуючий електрод служить для стабілізації показань, що міняються залежно від кількості досліджуваного матеріалу або його щільності, за рахунок зміни відстані між поршнем і цим електродом. При виготовленні датчика вологості для отримання лінійної шкали вологоміра компенсуючий електрод 5 і нижню частину основного електрода 7 (приблизно дві третини) покривають лаком УВЛ-3 (ТУ КУ 425-35). Площу покриття основного електрода підбирають експериментально. Ємність ємнісного датчика при незаповненому датчику вологості становить 3,2 пФ.

У вологомірі використаний вимірювальний прилад М265 з межею вимірювання 100 мкА. Всі резистори МЛТ 0,5. Конденсатори С1, С8 - МБМ; С2, С11-КТК; С4, С5, С12 - КСВ-1; інші - КПК-1.

Транзистори, які використовуються в приладі повинні мати статичний коефіцієнт передачі струму не менше 20.

Котушки L1, L2 виконані на чотирьохсекційному каркасі з органічного скла діаметром 4 мм. Осердя котушок - з фериту 100НН типорозміру СС2,8х12. Обмотки котушок L1, L2, мають по 32 витка проводу ПЕВ-1 0,32. Обмотка котушки L1 має відвід від 12 витка, рахуючи від поєднаного з загальним проводом кінця, а котушки L2 - від середини. Котушки L3, L4 виготовлені на каркасі з органічного скла діаметром 12 мм. Обмотки котушок L3 і L4 містять по 9 витків дроту ПЕВ-1 1,2. Обмотка котушки L3 має відвід від 4 витка, рахуючи від поєднаного з загальним проводом кінця.

Дросель розв'язки Др1 виконаний без каркаса і містить 16 витків дроту ПЕВ-1 1,2 з внутрішнім діаметром намотування 8 мм.

Налагодження вологовимірювача починають з установки колекторних струмів транзисторів. Через Т1 він повинен становити не більше 8 мА, а через Т2 - не більше 15 мА. Далі домагаються необхідних частот сигналів генераторів, змінюючи ємності конденсаторів С9, С10, С13.

Потім приступають до градуювання шкали вологовимірювача. Для цього готують проби з вологістю, яка відповідає початку і кінцю кожного діапазону вимірювання.

Спочатку датчик заповнюють пробєю з вологістю, яка відповідає початку першого діапазону і, в положенні 3 перемикача В1, підлаштовуючи конденсатор С3 і резистор R6, встановлюють стрілку мікроамперметра на нульову поділку шкали. Потім датчик заповнюють пробєю з вологістю, яка відповідає кінцю цього діапазону і, регулюючи резистор R1, встановлюють стрілку на останню поділку шкали. Далі проводять уточнення градуювання по обом пробам методом послідовних наближень, переводять перемикач В1а в положення 4 і встановлюють стрілку на нульову поділку шкали, регулюючи резистор R7. Потім підлаштовують контрольні конденсатори С6, С7, так, щоб при підключенні конденсатора С6 (в положенні 1 перемикача В1а), стрілка зупинялася напроти нульового розподілу шкали, а при підключенні конденсатора С7 - проти останнього розподілу. Одночасно підбирають і резистори R15 і R16. Надалі можна здійснити градуювання всієї шкали.

При роботі з вологовимірювачем перед початком вимірювання потрібно поставити перемикач роду роботи 7 (В1а) в положення 1, натиснути кнопку 8 (Кн1) і обертаючи ручку 2 резистора R1 встановити стрілку на нульову поділку шкали. Потім натиснути кнопку 9 (КН2) і, обертаючи ручку 4 резистора R11, домогтися того ж.

Далі перемикач перевести в положення 2. При натисканні кнопок 9 або 8 стрілка приладу повинна зупинятися проти останнього розподілу шкали.

Наповнюють датчик матеріалом до країв, закривають кришку, відгвинчують гвинт, опускаючи тим самим поршень датчика, що ущільнює матеріал, і вставляють вилку датчика в гнізда 6.

Перемикач переводять в положення 3, натискають одночасно кнопки 8 і 9 і відраховують показання. Якщо стрілка відхиляється за межі шкали, необхідно перемикач 7 перевести в четверте положення і відраховувати показання приладу на другому діапазоні.

В розроблюваному пристрої вимірювання вологості сипучих матеріалів використовується ємнісний датчик. З метою кращого розуміння фізичних основ роботи датчика та роботи розроблюваного пристрою в цілому було розроблено математичну модель ємнісного датчика. Показано, що ємнісний датчик дозволяє визначати діелектричну проникність речовини і, як наслідок, її вологість, без урахування геометричних параметрів датчика і кювети з речовиною.

Було проведено дослідження роботи розробленого вимірювача вологості; в якості об'єкта вимірювання використовували пшеницю - «озиму м'яку», «озиму тверду» і ячмінь у вигляді зерен. Зерна засипались в стакан вимірювача вологості до повного його заповнення.

Ступінь вологості досліджуваних зразків визначали при введенні в стакан вимірювача вологості рідини (проточної води) в сумарній кількості 50 мл, причому вода вводилася в стакан з пшеницею поступово, починаючи з 5 мл з поступовим додаванням по 10 мл. Вимірювання вологості зерен пшениці проводилося відразу після засипання зерен в стакан, а також після кожного процесу вливання води. Виміри проводилися при температурі навколишнього середовища 25°C. В таблицях представлені результати досліджень.

Як видно з таблиць 1...3 зі збільшенням кількості води, що додається в стакан, вологість зернових культур зростає. Причому найбільше вологи поглинають зерна пшениці «озима м'яка», а найменше - зерна пшениці «озима тверда».

Таблиця 1

Вологість зерен пшениці «озима м'яка»

№ п/п	Кількість рідини, мл	Показання мікроамперметра розробленого пристрою, мкА	Вологість, що відповідає показанням мікроамперметра розробленого пристрою %

Таблиця 2

Вологість зерен пшениці «озима тверда»

№ п/п	Кількість рідини, мл	Показання мікроамперметра розроблено-го пристрою, мкА	Вологість, що відповідає показанням мікроамперметра розробленого пристрою %

Таблиця 3

Вологість зерен ячменю

№ п/п	Кількість рідини, мл	Показання мікроамперметра розробленого пристрою, мкА	Вологість, що відповідає показанням мікроамперметра розробленого пристрою %

Результати дослідження. В розробленій нами схемі у порівнянні зі схемою аналога було зроблено заміну транзистора П410А (VT2) на транзистор 2N1143 в блоці генератора високої частоти. У порівнянні з транзистором П410А транзистор 2N1143 має більшу потужність розсіювання колектора (300мВт проти 100мВт). Також в розробленій нами схемі було зроблено заміни діодів 2Д2 на діоди Д2Е в блоках випрямлячів. Діоди Д2Е у порівнянні з діодами Д2Д мають значно більше значення максимальної постійної зворотної напруги (100В проти 50В). Зроблена заміна за рахунок більшої розсіяної потужності колектора транзистора 2N1143 дала можливість збільшити надійність вимірювача вологості у порівнянні з аналогом. Заміна діодів 2Д2 на діоди Д2Е дала можливість

збільшити середній термін служби діодів та надійність розробленого приладу в цілому.

Обговорення результатів. Розроблено вимірювач вологості сипучих матеріалів. За рахунок оптимізації схеми аналога збільшені середній термін служби елементів схеми та надійність розробленого приладу в цілому.

За допомогою розробленого пристрою досліджена залежність вологості зернових культур від кількості води, яка їх додатково зволожує. Показано, що найбільше вологи поглинають зерна пшениці «озима м'яка», а найменше - зерна пшениці «озима тверда».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. <http://www.patlah.ru>.
2. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Івахів О.В. та ін. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008.- 618с.
3. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка. - Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. - 544с.
4. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. - М.: Мир, 1969. - 313с.
5. Михлин Б.З. Высокочастотные датчики емкости и индуктивности. - М.: Госэнергоиздат, 1960. - 75 с.