

УДК 621.382 (075)

Ю.С. Синєкоп, канд. техн. наук, В.В. Сатанівський

Оцінка похибок приладу вимірювача вологості сипучих матеріалів методом НВЧ

Методам вимірювання вологості сипучих матеріалів приділяють все більше уваги в медичній техніці, фармакології, харчовій промисловості. Різними виробниками виготовляється велика кількість приладів основана на різноманітних методах та з різними характеристиками. Нажаль казати що відношення ціна/параметри являються збалансованим поки ще важко. Тому розробка приладів з оптимальними параметрами до сих пір являється актуальним завданням.

Methods of measurement of humidity of granular materials are very important in medical technics, pharmacology and the food-processing industry. Different companies make a plenty of devices based on various methods and with different characteristics. Unfortunately we can't talk that the relations of price/quality are balanced. Therefore construction of the devices with optimal parameters are actual right now.

Вступ

Найбільш перспективним методом вимірювання вологості сільськогосподарських продуктів являється НВЧ - вологометрія, яка відрізняється наступними перевагами: можливістю дистанційного вимірювання, незалежністю результатів від хімічного і гранулометричного складу об'єкта вимірювання (інакше кажучи, від виду продукту і форми і розмірів зерен чи плодів), малими похибками через розподіл вологи в зразку, нечутливістю до діелектричних домішок, великим діапазоном вимірювальних величин (5-60 %) і, нарешті, найголовніше – рекордною швидкістю (час визначення вологості вимірюється секундами). Останнє робить можливим автоматичний контроль вологості в різноманітних технологічних процесах, зв'язаних з зберіганням і переробкою сільськогосподарських продуктів.

Оскільки вологість істотно впливає на режими зберігання і переробки зерна, визначає його вартість за лікову масу при заготовках, велика частина досліджень до цього часу присвячується створенню НВЧ - вологомірів саме для зернових культур. Оптимальне значення частоти вологомірів залежить від типу зерна: для хлібних культур це значення порядку 9,4 ГГц, для кукурудзи – 2,8 ГГц.

В попередній статті [1] розглянуто основні методи вимірювання існуючі на даний момент, та описано прототип приладу для вимірювання вологості сипучих матеріалів методом НВЧ. Основні цілі що ставились при розробці прототипу приладу – добитися заданої точності в широкому діапазоні вимірювання. Розглянемо детальніше функціональну схему приладу, та звернемо увагу на основні похибки на які слід звернути увагу при розробці виготовлені та експлуатації окремих вузлів приладу.

Функціональна схема вимірювального блоку

Функціональна схема приладу показана на рис. 1.

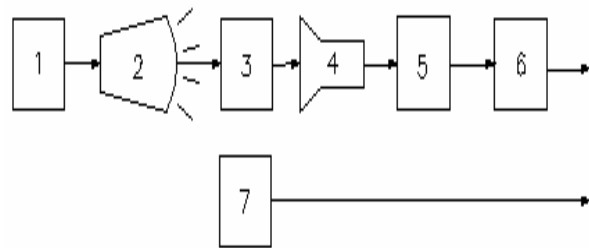


Рис. 1. Функціональна схема вимірювального блоку

Функціонально блок складається з: генератор НВЧ(1), випромінювач НВЧ (2), вимірювальна камера (3), приймач (4), атенюатор (5), детектор рівня сигналу НВЧ (6), датчик температури вимірюваного об'єкту (7).

Генератор НВЧ (1) частотою 10 ГГц виконано на діоді Ганна [2], функціонально являє собою сам діод Ганна (3А723А) запаяного на резонаторі, який налаштований на визначену частоту і джерела струму, яке живить діод Ганна. Також, в блоці реалізовано термокомпенсацію зміни потужності генерації діода в залежності від зміни температури навколишнього середовища.

Випромінювач НВЧ (2) виконує функції випромінювання НВЧ хвиль в напрямку вимірюваного об'єкта. Він складається з хвилеводу, який працює на основній моді та рупорно-го випромінювача.

Вимірювальна камера (3) являє собою прямокутний контейнер куди завантажують вимірювальну пробу. В протилежних торцях якої розташований рупорний випромінювач і приймач НВЧ сигналу. На дні камери розташований

термодатчик системи контролю температури об'єкту. Зверху камера щільно закривається кришкою, для того щоб ущільнити пробу і зменшити випадкову складову похибки вимірювання. Камера і кришка мають бути виготовлені з діелектричного матеріалу, який максимально прозорий для НВЧ хвиль.

Приймач (4) – це рупорна приймальна антена НВЧ сигналу, яка поєднана з хвилеводом працюючим на основній моді, котрий з'єднує її з блоком 5.

Атенюатор (5) - це високо лінійний, твердотільний підсилювач НВЧ сигналу. Задача підсилювача полягає в тому, щоб максимально підсилити [3] НВЧ сигнал, отриманий в блоці 4 без внесення нелінійності в амплітуду сигналу.

Детектор рівня сигналу НВЧ (6) – це квазімонологічний широкополосний контрольний детектор. В приладі використовується функціональний вузол "Луч-1А" (арсенід – галієвий змішувальний діод з балочними виводами, виготовлювач РНИИРС), призначений для контролю рівня вихідного сигналу НВЧ потужності частот 4-12 ГГц. [4]

Датчик температури вимірювального об'єкту(7) – це прецензійний інтегральний температурний сенсор фірми National Semiconductor, серії LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A, з лінійною залежністю вихідної напруги від температури, яка характеризується відношенням 10 мВ/К та точність вимірювання 0,3 °С.

Розглянемо можливі похибки які виникають в описаних вище блоках, та можливі шляхи їх зменшення чи усунення.

Розрахунок похибки вимірювання

З літературних джерел відомо, що максимальна помилка вимірювання вологості зерна викликана за рахунок відображення НВЧ випромінювання від межі розподілу ємність-зерно складає не більше ніж 0,3 %. Нижче розглянемо інші складові можливих похибок.

Враховуючи те що відстані у нас малі ≈ 2 довжини хвилі, то втрати на хвилеводах і рупорних антенах складають 3 дБ (3 дБ $\approx 1,5$ рази).

Визначимо потужність, яка потрапляє на вимірювальний атенюатор (підсилювач НВЧ) без зерна в камері вимірювання (25мВт взято з паспортної документації на діод Гана).

Практичні дослідження доводять, що мінімальне згасання при умовному нулі вологості становлять 1,9 рази (< 5 дБ з рис. 2). Відповідно на атенюаторі для нижньої границі отримаємо значення.

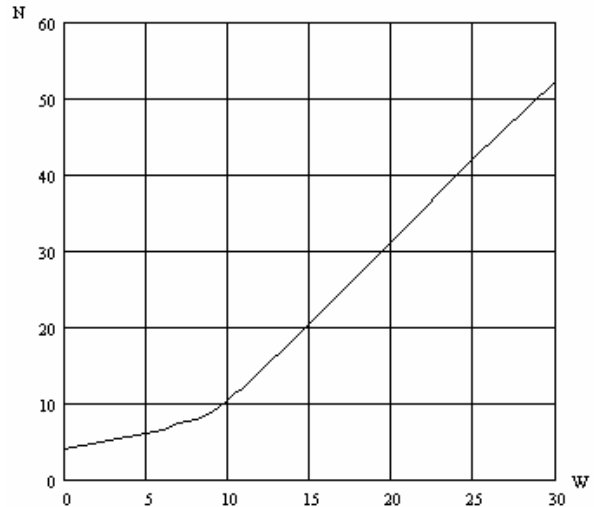


Рис. 2. Залежність згасання потужності НВЧ від вологості (N - згасання, дБ; W - вологість, %)

При 10 % вологості затушення становлять 10 дБ (умовно 3р) відповідно потужність маємо:

Визначимо приблизно залежність %W від Вт. 0,322 – 1 %.

На 10 % вологості (5,55 мВт потужності) абсолютна похибка від нестабільності генератора становить $\pm 0,001$ мВт (з паспортних даних на діод Гана). Розрахуємо вплив цієї похибки на вологість з пропорції:

$$0,322 - 1 \%$$

$$0,001 - x \%$$

$$X = 0,003 \%$$

Таким чином ми бачимо, що вже при 10 % вологості похибка викликана нестабільністю генератора в 0,5 % складає 0,003 % і при збільшенні вологості вплив нестабільності генератора зменшується настільки, що цією величиною можна знехтувати.

Підсилювач має умовно лінійну АЧХ (1.5 дБ) в діапазоні $\pm 0,5$ ГГц і стабільний коефіцієнт підсилення в діапазоні вхідних потужностей від 0,025 мВт до 20 мВт, тобто похибки в результат вимірювання не вносять.

Квазімонологічний широкополосний контрольний детектор являє собою контрольно-амплітудний детектор з нерівномірністю АЧХ 13 % в діапазоні частот 2-18 ГГц. При цьому його робочий діапазон складає 4-12 ГГц, нерівномірність передавальної характеристики при фіксованій частоті становить 0,1 %.

Похибка від квантування залежить від розрядності АЦП. В якості АЦП в приладі використовується АЦП мікроконтролеру ATTiny44. У нас 10 розрядний АЦП, тобто у нього 1024 позиції.

$$\frac{100\%}{1024} = 0,09\% \approx 0,1\%$$

Отже абсолютна інструментальна похибка тракту від

генератора до АЦП включно складається з похибки детектора та похибки квантування і становить:

$$0,1\% + 0,1\% = 0,2\%$$

Без врахування температурної похибки і похибки від природи зерна.

Похибка від температури

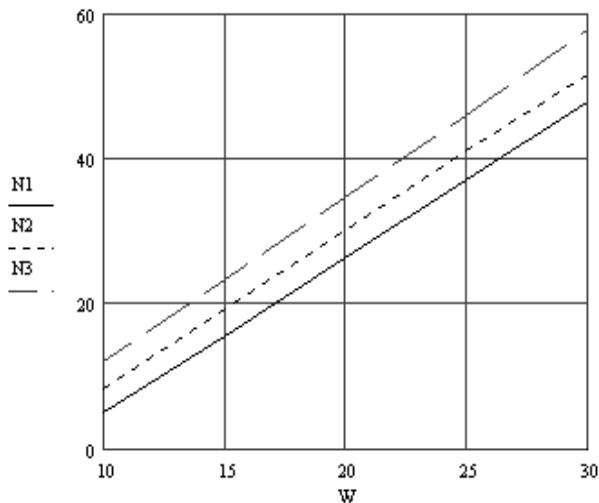


Рис. 3. Залежність згасання потужності НВЧ від вологості при різній температурі (N1 - згасання при 5 градусах, N2 - згасання при 20 градусах, N3 - згасання при 40 градусах)

При зміні температури на 10С систематична похибка становить 0,1 % – 0,15 %, її можна скорегувати якщо вимірювати температуру, тобто вихідну величину помножити на температурний коефіцієнт:

$$K_m = \frac{U_{вух} * K_m}{100\% - (T_0 - T_g) * 0,125\%}$$

Саме для цього в блоці вимірювання присутній датчик температури вимірюваного об'єкту (7), котрий до того ж дозволяє реалізувати допоміжну функцію приладу – вимірювання температури досліджуваної величини.

Похибка від природи зерна

Похибка від природи зерна також є систематичною (див рис. 4) і її можна уникнути, якщо перед початком вимірювання задати тип зерна. Для цього відповідно для кожного типу зерна проводиться попередня калібровка в лабораторії.

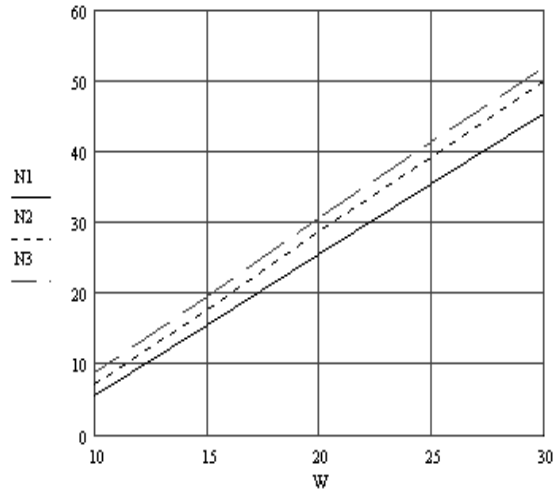


Рис. 4. Залежність загасання потужності НВЧ від вологості пшениці різної природи (N1 - загасання при натурній масі 705 г/л, N2 - загасання при натурній масі 765 г/л, N3 - загасання при натурній масі 795 г/л)

Висновки

Отже як бачимо використовуючи давно розроблену елементарну базу та добре відомі схемні рішення, враховуючи фізичні властивості води в речовинах, та враховуючи всі поточні фактори (температуру, природу зерна) можливо виготовляти не тільки відносно прості прилади, але при цьому й здосить непоганими метрологічними показниками.

Література

1. *Синькоп Ю.С.* к.т.н; *Сатанівський В.В.* Проектування та розробка приладу вимірювача вологості сипучих матеріалів методом НВЧ. Електроника и Связь. Тематический выпуск "Проблемы электроники ч. 2" 3-4 2008 ст.183-186
2. http://www.niipp.ru/Russian/products/gunn_l30_l100.html
3. *DUBUS.* 10GHz GaAs FET amplifier using NE70083 and Microstrip filter. Н/2 1984.-104с.
4. <http://www.microwave.ru/pdf/adetr.pdf>
5. *Берлинер М. А.* Измерения влажности.- М.: Издательство Энергия, 1973.-400 с.
6. *Бензарь В. К.* Техника СВЧ-влажнометрии.- Минск: Высшая школа, 1974.-352 с.
7. <http://www.masters.donntu.edu.ua/2001/kita/lykov/diss/index.htm>