

**ТЕХНІКА ТА ПРИСТРОЇ НВЧ ДІАПАЗОНУ.
АНТЕННА ТЕХНІКА**

УДК 621.317.7(088.8)

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ КАЛОРИМЕТРИЧНОГО
ВИМІРЮВАЧА НВЧ ПОТУЖНОСТІ**

Водотовка В.І., Євко І.Г.

Розглянуто один із перспективних шляхів підвищення точності калориметричного вимірювача НВЧ потужності. Наведена конкретна реалізація калориметра НВЧ, який працює за даним методом.

Вступ

Для вимірювання НВЧ потужності одночасно з інструментальними засобами вимірювань застосовуються калориметри, в яких використовується ПЕОМ для корекції похибок аналітичними методами та управління вимірювальним процесом.

Так, наприклад, метод цілеспрямованих впливів вимірювання фізичних величин, який використовує від'ємний зворотний зв'язок, вимірювану величину урівноважує величиною, яка рівна її зворотно перетвореному значенню. Перевагою цього методу, як відомо, є зменшення мультиплікативної похибки прямого перетворення. Але, адитивна похибка при цьому не зменшується. Крім того, умова стійкості в багатьох випадках може стати межею збільшення значення добутку чутливостей прямого та зворотного перетворення для корекції мультиплікативної похибки. Деякі фізичні величини, що не мають векторної спрямованості, не можуть вимірюватися даним методом, оскільки для них не можна виконати операцію віднімання. Так, наприклад, в методах запропонованих в [1] не приділяється належної уваги компенсації втрат потужності через випромінювання та конвекцію в оточуюче середовище.

Постановка задачі

Огляд сучасних методів вимірювання фізичних величин показує, що актуальним є побудова такого методу, який може використовуватись як для вимірювання фізичних величин, що мають векторну спрямованість, так і для тих величин, що не мають її, наприклад, НВЧ потужність [2,3].

Основна вимога, якій має відповідати такий метод, – швидкодія вимірювання повинна бути вищою, ніж швидкість впливу фактору, який дестабілізує функцію вимірювального перетворення, на протязі часу вимірювального циклу.

Сутність вирішення задачі

Для того, щоб зрозуміти суть методу, розглянемо функціональну схему НВЧ калориметра (див. рис. 1).

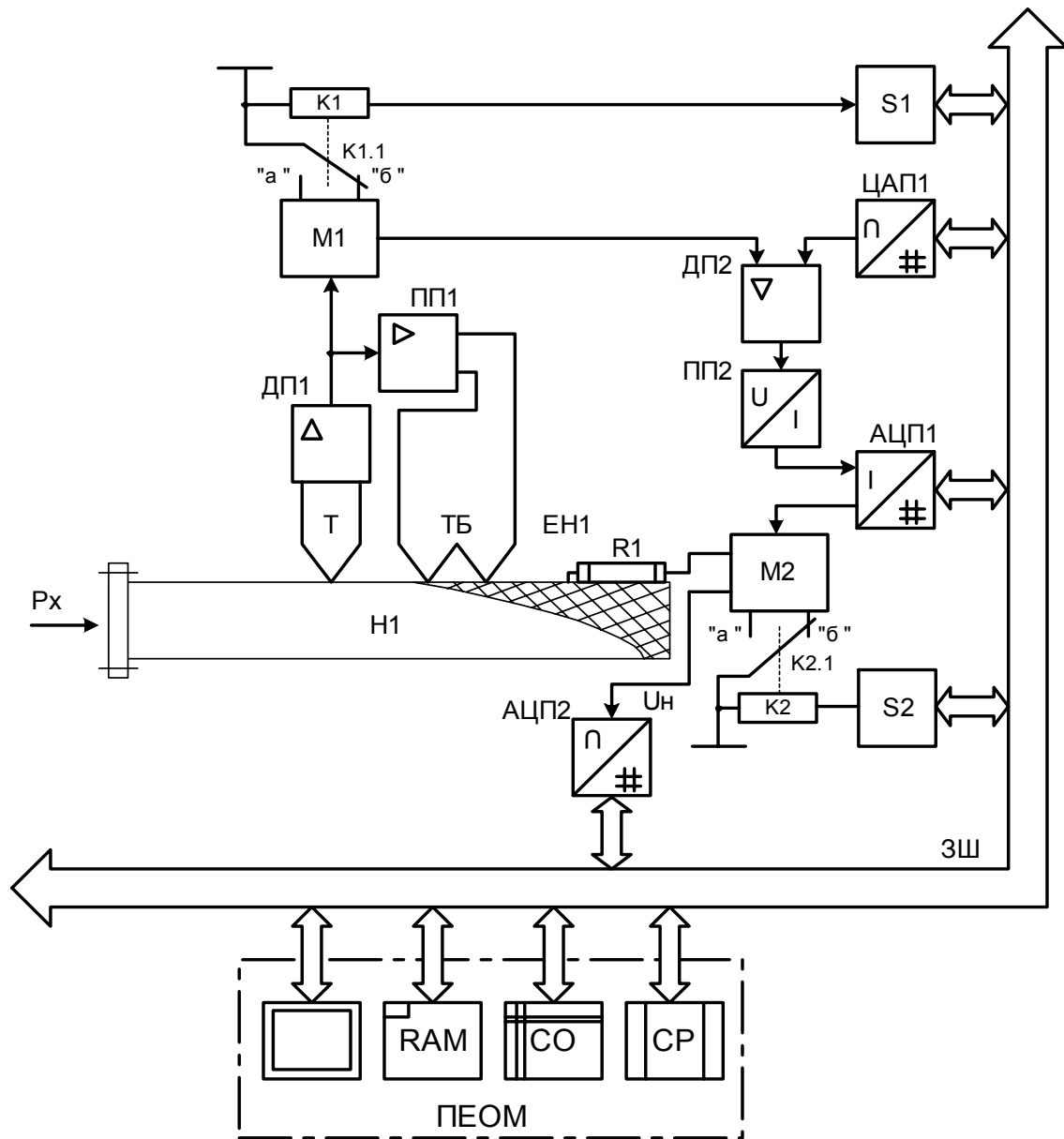


Рис.1. Функціональна схема НВЧ калориметра

Калориметр складається із двох контурів управління, перший з яких, має загальну гілку – калориметричне навантаження Н1, послідовно включені диференційну термопару Т, диференційний підсилювач ДП1 та підсилювач потужності ПП1, навантажений на термобатарею ТБ. Другий контур, крім загальної гілки, включає в себе послідовно включені параметричний двопозиційний модулятор М1, який змінює свій коефіцієнт передачі за допомогою ланки управління – ПЕОМ, загальна шина ЗШ, перемикач S1 і

реле $K1$, другий диференційний підсилювач ДП2, підсилювач потужності ПП2, аналого-цифровий перетворювач АЦП1, параметричний двопозиційний модулятор М2, який змінює коефіцієнт передачі за допомогою ланки управління ПЕОМ, ЗШ, перемикач $S2$ і реле $K2$, до виходу якого, підключений електронагрівач ЕН1 і аналого-цифровий перетворювач АЦП2, в цей контур також входить цифро-аналоговий перетворювач ЦАП1, що задає робочу точку термобатареї ТБ. Вихідним сигналом є напруга на параметричному модуляторі М2. Керування ЦАП1, АЦП1, АЦП2 здійснюється ПЕОМ через загальну шину.

Реалізація методу підвищення точності калориметричного вимірювача полягає в наступному. Потужність НВЧ сигналу розсіюється в калориметричному навантаженні Н1. Диференційна термопара Т фіксує різницю температур між стінкою калориметричного навантаження і оточуючим середовищем, задає через диференційний підсилювач ДП1 режим роботи підсилювача потужності ПП1, який навантажений на охолоджувальну термобатарею ТБ. Напруга з ДП1 також йде на ДП2, де вона порівнюється з напругою управління, яка задається ЦАП1 за допомогою ПЕОМ. На виході ДП2 отримуємо різницю напруг між двома вказаними вище напругами, яка підсилюється підсилювачем ПП2 і через параметричний модулятор М2 подається на електронагрівач ЕН1. АЦП1 слугує для контролю струму на виході ПП2, що в свою чергу дає змогу коригування ПЕОМ напруги управління через ЦАП1. АЦП2 використовується для перетворення напруги, яка розсіюється на опорі електронагрівача ЕН1 R_1 . Параметричні модулятори М1, М2 представляють собою подільники з високоточних постійних резисторів (рис.2).

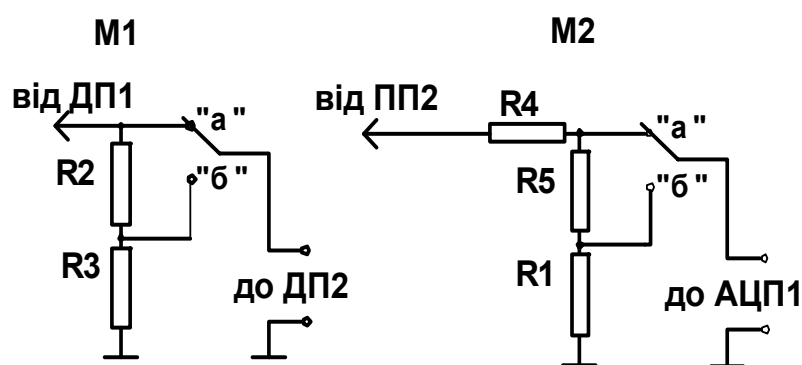


Рис.2. Електрична схема параметричних модуляторів М1 та М2.

Елементи функціональної схеми ДП1, М1, ДП2, ПП2, М2 утворюють замкнений контур з позитивним зворотним зв'язком. Коефіцієнти прямого перетворення цього контуру K, K' і коефіцієнти зворотного зв'язку β, β' ,

які відповідають позиціям параметричних модуляторів М1 і М2 „а” і „б”, дорівнюють:

$$\begin{aligned}
 K &= K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5; \\
 K' &= K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot K_4 \cdot K_5 = q_K \cdot K; \\
 \beta &= \frac{P_H}{P_1} = \frac{R_1 + R_5}{R_1 + R_5 + R_4}; \\
 \beta' &= \frac{R_1}{R_1 + R_5 + R_4} = \frac{R_1}{R_1 + R_5} \cdot \frac{R_1 + R_5}{R_1 + R_5 + R_4} = q_\beta \cdot \beta,
 \end{aligned} \tag{1}$$

де $K_1 = K_{emp} (1 - |\Gamma|^2)$ – коефіцієнт перетворення калориметричного навантаження Н1, при цьому K_{emp} – коефіцієнт втрат НВЧ потужності на стінках калориметричного навантаження Н1, $|\Gamma|$ – модуль коефіцієнта відбиття калориметричного навантаження Н1; K_2 – коефіцієнт чутливості диференційної термопари Т; K_3 – коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача ДП1; K_4 – коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача ДП2; K_5 – коефіцієнт передачі підсилювача потужності ПП2; $q_K = \frac{R_3}{R_2 + R_3}$ – коефіцієнт передачі параметричного модулятора М1 в позиції „б”, при цьому R_2, R_3 – опір резисторів М1 (див. рис.2); P_H – потужність розсіювання електронагрівача ЕН1 в позиції „а” параметричного модулятора М2; P_1 – вихідна потужність підсилювача потужності ПП2 в позиції „а” параметричного модулятора М2; $q_\beta = \frac{\beta'}{\beta} = \frac{R_1}{R_5 + R_1}$ – коефіцієнт передачі параметричного модулятора М2 в позиції „б”, при цьому R_1, R_5, R_4 – опір резисторів М2 (див. рис.2).

Замкнений вимірювальний контур в позиції „а” параметричних модуляторів М1, М2 при $q_K = 1$ описується математичною залежністю, яка відповідає обходу контуру в напрямку: підсилювач потужності ПП2, параметричний модулятор М2, електронагрівач ЕН1, диференційна термопара Т, диференційний підсилювач ДП1, параметричний модулятор М1, диференційний підсилювач ДП2, (див. рис.1,2,3), і має вигляд

$$(P_{НВЧ} + P_1 \cdot \beta) \cdot K_{ЕКВ} + (P_{ЗМ} + P_{ОТОЧ}) \cdot K_4 \cdot K_5 = P_1, \quad (2)$$

де $K_{ЕКВ} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{1 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \beta_1} \cdot K_4 \cdot K_5$ – сумарний коефіцієнт передачі;

$\beta_1 = K_6(\Pi - I_{ТБ} \cdot R_{ТБ})$ – коефіцієнт від’ємного зворотного зв’язку контуру Т–ДП1–ПП1–ТБ; $I_{ТБ}, R_{ТБ}$ – струм та опір термобатарей, відповідно; K_6 – коефіцієнт підсилення ПП1; Π – коефіцієнт Пельт’є.

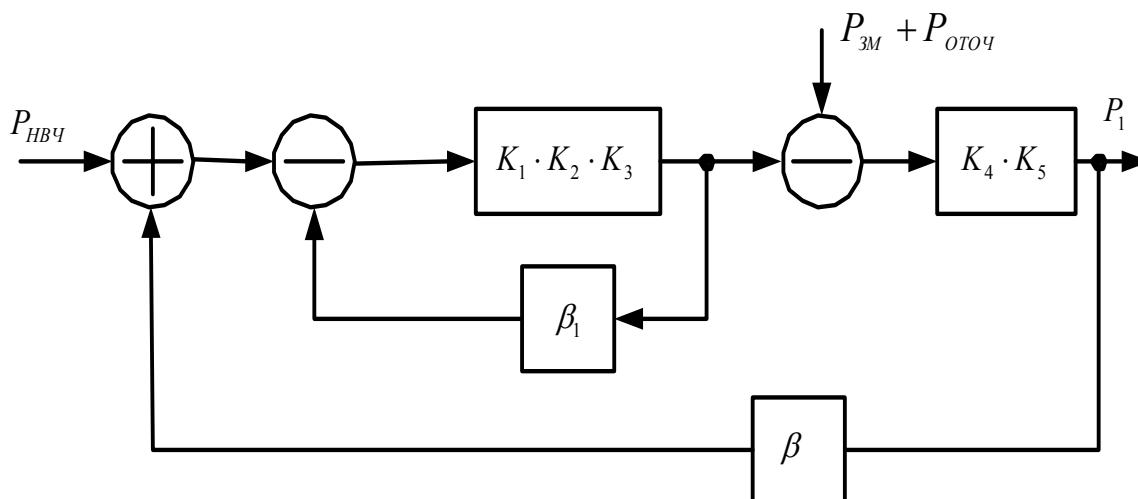


Рис.3. Структурна схема НВЧ калориметра

З виразу (2) вихідна потужність ПП2 в момент часу t_1 дорівнює

$$P(t_1) = \frac{K_{ЕКВ} \cdot P_{НВЧ} + (P_{ЗМ} + P_{ОТОЧ}) \cdot K_4 \cdot K_5}{1 - K_{ЕКВ} \cdot \beta} \quad (3)$$

Позиції „б” параметричного модулятора М1, „а” М2 відповідає наступне значення вихідної потужності ПП2 в момент часу t_2 :

$$P(t_2) = \frac{K_{ЕКВ} \cdot q_K \cdot P_{НВЧ} + (P_{ЗМ} + P_{ОТОЧ}) \cdot K_4 \cdot K_5}{1 - K_{ЕКВ} \cdot \beta \cdot q_K} \quad (4)$$

Позиції „а” М1, „б” М2 відповідає значення вихідної потужності ПП2 у момент часу t_3 :

$$P(t_3) = \frac{K_{ЕКВ} \cdot P_{НВЧ} + (P_{ЗМ} + P_{ОТОЧ}) \cdot K_4 \cdot K_5}{1 - K_{ЕКВ} \cdot \beta \cdot q_\beta}, \quad (5)$$

при $q_K = q_\beta = q$, що виконується у випадку, коли

$$\frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{R_1}{R_1 + R_5}$$

і при умові, що величини $q, P_{3M}, P_{ОГОЧ}$ та величина $(K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5)$ на протязі короткого часу циклу вимірювання залишаються незмінними, вирази (3) – (5) утворюють систему рівнянь, розв'язком якої відносно вимірюваної величини $P_{НВЧ}$ є

$$P_{НВЧ} = \frac{P(t_2) - P(t_3)}{P(t_1) - P(t_3)} \cdot P(t_1) \cdot \beta \quad (6)$$

З урахуванням того, що значення вихідної потужності $P(t_1), P(t_2), P(t_3)$ підсилювача потужності ПП2 визначається через відповідні значення його вихідної напруги U_1, U_2, U_3 і опорів його навантаження [5]

$$P(t_1) = \frac{U_1^2}{R_1 + R_5}, P(t_2) = \frac{U_2^2}{R_1 + R_5}, P(t_3) = \frac{U_3^2}{R_1}, \quad (7)$$

а величина $P_{НВЧ}$, що вимірюється з урахуванням (6), (7) дорівнює

$$P_{НВЧ} = \frac{U_1^2(U_2^2 - U_3^2 \cdot q)}{U_1^2 - U_3^2 \cdot q} \quad (8)$$

Тобто вимірювана величина $P_{НВЧ}$ може бути визначена через вимірні значення напруги U_1, U_2, U_3 і відоме значення q . Функція вимірювального перетворення АЦП2 має наступний вигляд:

$$U_i^2 = S_{АЦП2} \cdot K_5 \cdot R_1 \cdot q_{ПП1} \cdot q_{ПП2} [K_6 \cdot U_{ЦАП1} (\Pi - I_{ТБ} \cdot R_{ТБ}) - P_{НВЧ} - P_{ОГОЧ}],$$

де U_i^2 – напруга на виході АЦП2; $S_{АЦП2}$ – чутливість АЦП2; $q_{ПП1}, q_{ПП2}$ – коефіцієнти передачі параметричних модуляторів М1, М2 відповідно; $U_{ЦАП1}$ – напруга керування, яка подається з ЦАП1; $P_{ОГОЧ}$ – сумарні втрати потужності в оточуюче середовище.

До співвідношення (8) не входять нестабільні параметри перетворення, що визначають мультиплікативну похибку – чутливість диференційної термопари, коефіцієнти підсилення диференційних підсилювачів ДП1 і ДП2, коефіцієнт передачі підсилювача потужності ПП2, коефіцієнт підсилення ПП1, зсув характеристики термоелектричного охолодження P_{3M} , а також сумарна потужність $P_{ОГОЧ}$.

Вимірювальний цикл складається з трьох тактів, черговість і тривалість яких визначається послідовністю керуючих команд від ПЕОМ, які подаються на керуючі перемикачі S1, S2 [5].

В першому робочому такті ПЕОМ встановлює в позиції „а” параметричні модулятори М1, М2 і вносить в свою оперативну пам’ять значення вихідної напруги АЦП2 U_1 .

У другому такті ПЕОМ встановлює М1 в позицію „б”. Значення напруги U_2 запам’ятовується оперативною пам’яттю ПЕОМ. Модулятор М1 встановлюється в положення „а”.

У третьому такті ПЕОМ встановлює М2 в позицію „б”. Значення напруги U_3 запам’ятовується, а модулятор М2 встановлюється в початкову позицію „а”.

Після цього ПЕОМ, використовуючи внесені в її оперативну пам’ять значення напруг U_1, U_2, U_3 і внесене в його постійну пам’ять значення величини q , проводить обчислення вимірюваної величини $P_{НВЧ}$ і виводить результат на дисплей монітора.

Висновки

У запропонованому пристрої вирішена задача підвищення точності і швидкодії.

Підвищення точності зумовлено вказаною можливістю точного визначення вимірюваної величини через кінцеві прирости цієї величини, при умові, що величини $q, P_{ЗМ}, P_{ОТОЧ}$ та величина $(K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5)$ на протязі короткого часу циклу вимірювання залишаються незмінними. З виразу (8), якщо розглянути $P_{НВЧ}$ як функцію $f(U_1, U_2, U_3, q)$, видно, що $P_{НВЧ}$ величина позитивна і існує при всіх значеннях $q > 0$.

Калориметр для вимірювання НВЧ потужності, який використовує даний метод, має такі характеристики: верхній діапазон вимірювань – 3Вт, похибка на верхній межі вимірювань менша за $\pm 1,5\%$, швидкодія становить 2 вимірювання за хвилину. Ці показники приблизно в два рази кращі за характеристики відомих калориметрів для вимірювання НВЧ потужності середнього рівня.

На базі такого методу можуть бути реалізовані вимірювачі ряду фізичних величин (наприклад, напруги, струму), інформація про які необхідна для організації ефективного технологічного процесу.

Література

1. Волков В. М. Проектирование средств измерения проходящей мощности. – Харьков: ХТУРЭ, 2000. - 160 с.
2. Земальман М.А. Автоматическая коррекция погрешности измерительных устройств. – М.: Изд-во стандартов, 1972, с. 48-51.
3. Декларативний патент на винахід №66199А, G01R21/02. Калориметр для вимірювання середньої НВЧ-потужності. Водотовка В.І., Євко І.Г. Бюл. №9 від 15.04.2004.

4. Декларацийний патент на винахід №38413А, G01R2/02. Калориметр для вимірювання НВЧ-потужності. Водотовка В.І., Репа Ф.М. Бюл. №3 від 30.06.2000.
5. Новиков Ю.В., Калашников О.А., Гуляев С.Э., Разработка устройств сопряжения персонального компьютера типа IBM PC. // Под общей ред. Ю.В. Новикова. Практическое пособие – М.: ЭКОМ, 2002. –224 с.

| | |
|---|---|
| <p>Водотовка В.И., Евко И.Г. Метод повышения точности калориметрического измерителя СВЧ мощности. Изложен перспективный метод повышения точности калориметрического измерителя СВЧ мощности. Приведена конкретная реализация калориметра СВЧ, работающего по такому методу. Определена функция измерительного преобразования, источники возникновения погрешностей и алгоритм измерительного процесса.</p> | <p>Vodotovka V.I., Evko I.G. Method of increase of accuracy of a calorimetric measuring instrument of the UHF power. The method of increase of accuracy of a calorimetric measuring instrument of the microwave power is stated. Concrete realization of a calorimeter of the microwave working on such method is resulted. Function of measuring transformation, sources of occurrence of errors and algorithm of measuring process is certain.</p> |
|---|---|

Надійшла до редакції 20 квітня 2006 року