УДК 623.004

Ю.Ю. Кучерявенко, В.А. Єрмолаєв

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАЗИТНИХ РЕАКТИВНОСТЕЙ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ НАПРУГ ПІДВИЩЕНОГО РІВНЯ

Проаналізовані методи впливу паразитних реактивностей на точність вимірювань напруг підвищеного рівня та наданий розрахунок частотної похибки блоку додаткового резистора, використаного у комплекті з термоелектричними перетворювачами для чіткого вимірювання напруг підвищеного рівня.

Ключові слова: *додатковий резистор,частота, термоелектричний перетворювач.*

Вступ

Постановка задачі. В високочастотних термоперетворювачах для зниження впливу паразитних реактивностей вимірювального кола опір підігрівачів роблять достатньо малим. Якщо додатковий резистор конструктивно розташований поблизу термопарного модуля, потужність, розсіяна на цьому резисторі, може стати причиною додаткового неконтрольованого розігріву термопарного модуля та результуючого зниження точності. Тому є актуальним вираховувати частотні похибки блоку додаткового резистора, використаного у комплекті з термоелектричними перетворювачами.

Аналіз літератури. В відомій літературі [1 – 5] розглядаються методи вимірювання напруг підвищенного рівня в високочастотних термоперетворювачах з використанням блоку додаткового резистора. Так в літературі [1] розглянуте метрологічне забезпечення засобів вимірювання змінної електричної напруги; у [2] надані технічні характеристики засобів вимірювання; у [3] описані коливальні ланцюги. У [4] та [5] надані загальні характеристики засобів вимірювань електричної напруги, але в цій літературі питання створення методу точного виміру напруг підвищеного рівня не розглядається в потрібному об'ємі.

Мета статті. Аналіз методів впливу паразитних реактивностей на точність вимірювань напруг підвищеного рівня, та визначення частотної похибки термоелектричних перетворювачів.

Основний матеріал

У типовій конструкції БДР резистор знаходиться у полому циліндрі розташований вздовж осі симетрії циліндра. Циліндр виконує задачу екранування резистора від зовнішніх електромагнітних перешкод. Верхня межа діапазону вимірювальних напруг сигналу, визначена максимально допустимою потужністю, розсіяна на підігрівачі, при підвищенні якої точність порівняння значно знижується, виявляється обмеженою [1]. При цьому максимально допустимий струм через підігрівач не повинен перевищувати значень у 5 – 15 мА. Тому перетворювачі, розраховані на вимірювання напруг більш 10 – 20 В, виконуються у вигляді конструкцій з двох складових з'єднаних через роз'їм блоків: блоку перетворювача та блоку додаткового резистора (БДР) [2].

Номінальний опір резистора для БДР, розрахованого на максимальну напругу обирають за наступними факторами [3]:

– резистори повинні бути обранні з запасом за величиною максимально допустимого значення;

 © Ю.Ю. Кучерявенко, В.А. Єрмолаєв

– резистори повинні бути обранні з запасом за величиною максимально допустимої потужності розсіювання;

– при збільшуванні номіналу резистора зменшується струм у вимірювальному колі, при цьому квадратичне зменшується сигнал з виходу термопар і важко точно порівняти сигнал з опорною постійною напругою;

– при збільшуванні номіналу резистора зростає вплив його прохідної ємності, що призводить до залежності від частоти результату порівняння сигналу з опорною постійною напругою; при зменшенні номіналу резистора зростає вплив самонагрівання резистора струмом сигналу, що приводить до зміни опору резистора після подачі сигналу, при цьому зростає час вимірювання. Для зменшення впливу прохідної ємності $C_{пр}$ резистора його складають с декількох послідовних ввімкнених однакових резисторів. Величину номінального опору R резисторів кола обирають малим виміром $\delta(\omega_{max})$ модулів його повного опору на максимальній робочій частоті ω_{max} в порівнянні з межею Δ заданою частотою похибки перетворювача на цій частоті:

$$\delta(\omega_{max}) = 0,5(\omega_{max} RC) << \Delta. \qquad (1)$$

Однак при збільшенні кількості послідовно ввімкнених резисторів збільшується довжина складового резистора. Як наслідок зростає шунтуючій вплив ємності між послідовно ввімкненими резисторами та корпусом циліндра.

Для урахування впливу розподільної ємності уявимо конструкцію БДР у вигляді коаксіальної лінії передачі з розподільними параметрами (рис. 1). При цьому будимо враховувати, що умова (1) дотримана.

Оскільки вхідний опір блоку перетворювача нижче, ніж опір резистора БДР, тому вихідний затискач резистора БДР з'єднаний з корпусом циліндра, вихідним сигналом БДР є струм.

Струм I_x та напруга U_x у точках лінії на відстані x, відповідає рівнянню (2)

$$U_x = U(0)\,ch\gamma x + I(0)\,W sh\gamma x; \qquad (2)$$

$$I_x = I(0)\,ch \geq x + \left(\frac{U(0)}{W}\right) W sh\gamma x, \qquad (3)$$

де $I_{вих} = I(0)$ – струм в кінці лінії; $U(0)$ – напруга в кінці лінії; R_1; L_1 – погонне значення послідовного омічного опору та індуктивності; G_1; C_1 – погонне значення паралельної проводи мості та ємності.

При цьому:

$$\gamma = \sqrt{Z_1 Y_1}; \qquad (4) \qquad Z_1 = R_1 + j\omega L_1; \qquad (5)$$

$$Y_1 = G_1 + j\omega C_1; \qquad (6) \qquad W = \sqrt{Z_1}/Y_1. \qquad (7)$$

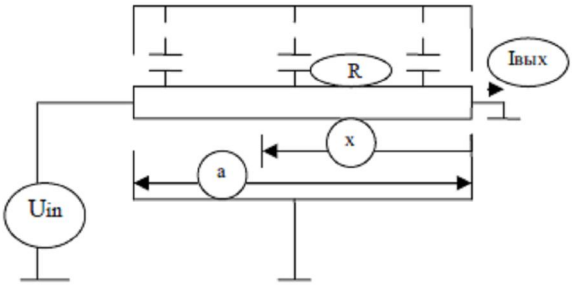

Рис. 1. Схема двопровідної коаксіальної лінії передачі з розподільними параметрами

Якщо кінець лінії замкнутий на землю, то

$$U(0) = 0. \qquad (8)$$

В цьому випадку:

$$U_x = I(0) W sh\gamma x; \qquad I_x = I(0) ch\gamma x. \qquad (9)$$

при

$$x = a; \qquad U(a) = U_{in}. \qquad (10)$$

Тому струм в кінці лінії:

$$I(0) = \frac{U_{in}}{W sh\gamma a}. \qquad (11)$$

Якщо лінія має довжину «а»,тоді позначаючи через R та C загальний опір резистора та його сумарну ємність на корпус циліндра, отримуємо:
опір на одиницю довжини

$$R_1 = R/a, \qquad (12)$$

ємність на одиницю довжини

$$C_1 = C/a. \qquad (13)$$

Послідовна індуктивність та паралельна втрата у розрахунках не враховується.

Тоді маємо співвідношення [2]:

$$\gamma = \sqrt{Z_1 Y_1} = \sqrt{\gamma\omega R_1 C_1} = \sqrt{\frac{\omega\tau}{2}} \times \frac{1+j}{a} = \sqrt{\omega\tau} \times \frac{1}{a} e^{j\frac{\pi}{4}}; \qquad (14)$$

$$Z_1 = R_1; \qquad (15) \qquad Y_1 = j\omega C_1; \qquad (16)$$

$$W = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} = \frac{R}{\sqrt{2\omega\tau}}(1-j) = \frac{r}{\sqrt{\omega\tau}} e^{j\frac{\pi}{4}} = \frac{R}{2\lambda}(1-j); \qquad (17)$$

$$\tau = CR; \qquad (18)$$

$$\gamma x = \sqrt{\frac{\omega\tau}{2}} \times \frac{x}{a} \times (1+j). \qquad (19)$$

Визначимо:

$$\beta = \sqrt{\frac{\omega\tau}{2}} \times \frac{x}{a}; \qquad (20)$$

$$\beta \times (x-a) = \lambda = \sqrt{\frac{\omega\tau}{2}}. \qquad (21)$$

При цьому

$$\gamma x = \beta \times (1+j). \qquad (22)$$

Тоді $2sh\gamma x = \left[e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}\right] = e^{\beta} e^{j\beta} - e^{-\beta} e^{-j\beta}$;

$$2sh\gamma x = \left[e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}\right] = e^{\beta} e^{j\beta} - e^{-\beta} e^{-j\beta} =$$

$$(\cos\beta + j\sin\beta) \times e^{\beta} - (\cos\beta - j\sin\beta) \times e^{-\beta} =$$

$$\left(e^{\beta} - e^{-\beta}\right) \times \cos\beta + j \times \left(e^{\beta} + e^{-\beta}\right) \times \sin\beta.$$

Розглянемо область частот, де вплив розподільної ємності мале, тобто

$$\omega\tau << 1; \beta << 1; \lambda << 1.$$

При цьому після неважких перетворень отримаємо співвідношення:

$$sh\gamma a = sh\lambda = \lambda \times \left[(1+j) - \frac{\lambda^2}{3}(1-j) \right]. \qquad (23)$$

З урахуванням (11) та (18) отримуємо:

$$I(0) = \frac{U_{in}}{W sh\gamma a} = U_{in} \frac{2\lambda}{R(1-j)} \times \frac{1}{sh\gamma a}. \qquad (24)$$

Наприкінці з урахуванням (23) маємо:

$$I(0) = U_{in} \frac{2\lambda}{R(1-j)} \times \frac{1}{\lambda \left\{ (1+j) - \frac{\lambda^2}{3}(1-j) \right\}} = U_{in} \frac{2\lambda}{R} \times$$
$$\times \frac{1}{2\lambda \left(1 - \frac{\lambda^2}{3} j \right)} = U_{in} \frac{1}{R} \times \frac{1}{1 + \frac{\lambda^2}{3} j} = U_{in} \frac{1}{R} \times \frac{1}{1 + j\frac{\omega\tau}{6}}. \qquad (25)$$

Останньому виразу відповідає еквівалентна схема рис. 2.

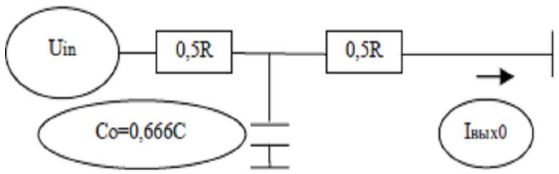

Рис. 2. Еквівалентна схема резистора в коаксіальній конструкції

Дійсно, для цієї схеми

$$I_{вих} = U_{in} \frac{1}{R} \times \frac{1}{1 + j\frac{1}{4}\omega C_0 R} = U_{in} \frac{1}{R} \times \frac{1}{1 + j\frac{1}{4}\omega\frac{2}{3}CR} =$$
$$= U_{in} \frac{1}{R} \times \frac{1}{1 + j\frac{\omega\tau}{6}}. \qquad (26)$$

Модуль струму дорівнює:

$$|I_{вих}| = U_{in} \frac{1}{R} \times \frac{1}{\sqrt{1 + j\frac{(\omega\tau)^2}{36}}} = \qquad (27)$$
$$= U_{in} \frac{1}{R} \left[1 - 0{,}01389(\omega\tau)^2 \right].$$

Тут $\tau = CR$.

Похибка δ за рахунок відмінності амплітуди струму, виміряній на низькій частоті, дорівнює:

$$\delta = 0{,}01389(\omega\tau)^2. \qquad (28)$$

Висновки

1. Проаналізовані методи зменшення частотної похибки при використанні коаксіальної конструкції додаткового резистора.

2. Проаналізовані можливості зменшення частотної похибки додаткового резистора за допомогою його виготовлення у вигляді полого циліндра, тим самим вирішується задача екранування резистора від зовнішніх електромагнітних перешкод.

3. Розглянута схема (рис. 1) двопровідної коаксіальної лінії передачі з розподільними параметрами з точки зору можливостей зменшення частотної похибки.

4. За результатом аналізу методів для чіткого вимірювання напруг підвищеного рівня термоелектричних перетворювачів розраховано частотну похибку блоку додаткового резистора, для виміру у комплекті з термоелектричними перетворювачами.

Список літератури

1. Телитченко Г.П. Анализ метрологического обеспечения средств измерений переменного електрического напряжения / Г.П. Телитченко // Главный метролог. – 2003. – №5. – С. 24-27.

2. Мейнке Х., Гундалах Ф. Радиотехнический справочник / Х. Мейнке, Ф. Гундалах. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 220 с.

3. Асеев Б.П. Колебательные цепи / Б.П. Асеев. – М.: Радио и связь, 1955. – 180 с.

4. Основи метрології й електричні вимір. – М.: Энергоатом издат, 1987. – 370 с.

5. Фарсане Н.Г. Технологічні виміри й прилади / Н.Г. Фарсане, Л.В. Илясов. – К: Вища школа, 1999. – 340 с.

Надійшла до редколегії 14.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПАРАЗИТНЫХ РЕАКТИВНОСТЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ

Ю.Ю. Кучерявенко В.А. Ермолаев

Проанализированы методы воздействия паразитных реактивностей на точность измерения напряжения повышенного уровня и рассчитана частотная погрешность блока дополнительного резистора, используемого в комплекте с термоэлектрическими преобразователями для точного измерения напряжений повышенного уровня.

Ключевые слова: *дополнительный резистор, частота, термоэлектрический преобразователь.*

METHODS OF THE REDUCTION INFLUENCE STRAY REAKTIVE ON ACCURACY MEASUREMENT OF THE VOLTAGE HIGH LEVEL

Y.Y. Kucheryavenko, V.A. Ermolaev

Frequency inaccuracy of the block of the additional resistor, used in kit with hermoelectric converter for exact measurement of the voltages raised level.

Keywords*: additional resistor, frequency, hermoelectric converter.*