

**ИМПЕДАНСНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПЛАТИНОВЫХ ТЕРМОМЕТРОВ
СОПРОТИВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР**

А.А.Михаль, канд.техн.наук, **Д.В.Мелешук**, канд.техн.наук,
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

Предложена двухполюсная многоэлементная импедансная модель чувствительного элемента термометра сопротивления при измерении на переменном токе. Она учитывает влияние на сопротивление чувствительного элемента шунтирующего эффекта, который обусловлен существенным снижением удельного сопротивления изоляционных элементов каркаса с ростом температуры. В результате при измерении сопротивления термометра на постоянном и переменном токе возникает погрешность, которая является функцией измеряемой температуры и частоты тока. Проведены теоретические исследования частотной погрешности термометров в диапазоне температур от 0 до 1100°C. Установлена разница в результатах измерения сопротивления основных типов термометров, приводящая к погрешности порядка 0,1–0,2 мК. Анализ модели указывает на необходимость введения индивидуальной частотной поправки к результату измерения аналогично поправке на нулевую мощность рассеяния. Библиография: 10, таблица 1, рис. 9.

Ключевые слова: температура, измерение, термометр сопротивления, частотная погрешность.

В современной высокоточной термометрии воспроизведение температур в диапазоне 13–1300 К основано на точном измерении сопротивления платиновых термометров сопротивления (ПТС). Для таких измерений используются мосты постоянного тока таких известных фирм, как Guildline, Measurement International, Hart Scientific. Некоторые особенности измерений на постоянном токе (влияние термо-ЭДС, дрейфов, фликкер-шумов), с одной стороны, и высокие метрологические характеристики индуктивных делителей напряжения с тесной индуктивной связью, с другой стороны, привели к тому, что в термометрии для точных измерений стали использовать мосты переменного тока. Первые коммерческие модели прецизионных мостов переменного тока таких фирм как ASL и Tinsley имели рабочую частоту, лежащую в диапазоне (300–450) Гц. Впоследствии рабочая частота была снижена до 25(30) или 75(90) Гц. На сегодняшний день это модели F-18, F-900, F-700 (ASL), 5840 (Tinsley) с линейностью измерения (1,0–0,01 ppm). К примеру, модель F-18 используется практически во всех ведущих метрологических центрах мира. Таким образом, в практике последних десятилетий для высокоточной термометрии используются прецизионные мосты переменного тока, которые работают в диапазоне частот от десятков до сотен герц.

При измерении на переменном токе активное сопротивление термометра отличается от его сопротивления постоянному току. Эта разница (частотная погрешность термометра) зависит не только от частоты, но и от конструктивных особенностей ПТС.

Различные виды конструкций ПТС, их характеристики описаны во многих публикациях [3,4]. Результаты исследований точности и стабильности различных ПТС отображены в [9,10]. Проводились также исследования разницы в сопротивлении термометров по постоянному и переменному току. Так, было показано, что эта разница для капсульного термометра может заметно сказываться только при очень низких температурах [8]. Однако, рассмотренные исследования носят в большей части эмпирический характер. Поэтому сложно сопоставлять данные, полученные разными исследователями, и давать рекомендации относительно электрических характеристик, конструкции или технологии изготовления ПТС.

При измерении высоких температур (сотни К) существенным может оказаться эффект шунтирования проволоки чувствительного элемента каркасом термометра. Это связано со значительным уменьшением удельного сопротивления материала каркаса при высоких температурах. Таким образом, становится актуальным построение моделей ПТС для исследования их частотных характеристик в диапазоне повышенных температур. В настоящей работе рассматривается такая модель в виде эквивалентного импеданса с многоэлементной схемой замещения и исследуется влияние ее параметров на частотную погрешность. Объектом исследования является прецизионный ПТС широко используемой конструкции Стрелкова [4].

Основной частью термометра является чувствительный элемент (рис. 1), представляющий собой резистор в виде спирали (диаметром d_3) из платиновой проволоки, уложенной в спиральные канавки каркаса, который выполнен из пластины высокочистого кварца (с размерами a , h_1). Пластина

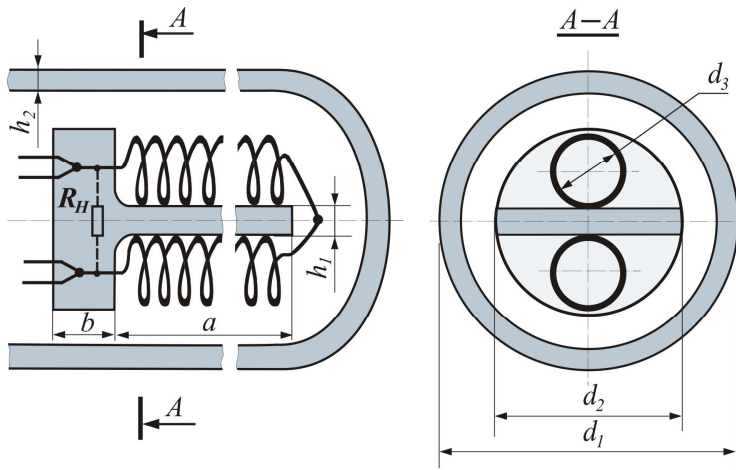


Рис. 1

скручена в гели-коид (на рисунке, с целью упрощения, изображена плоской). К концам платиновой проволоки чувствительного элемента приварены по две платиновые проволоки, предназначенные для реализации 4-х зажимного подключения, которые закреплены в кварцевом цилиндре (размерами b , d_2). Чувствительный элемент с выводами заключен в герметизированную пробирку из кварцевого стекла (диаметром d_1 и толщиной h_2), заполненную чистым сухим воздухом.

Электрическая модель ПТС с распределенными параметрами.

Интересующая нас погрешность обусловлена эффектом шунтирования двух пружинных проводников и может быть оценена с использованием электрической модели ПТС. Для ее построения рассмотрим правую часть сечения чувствительного элемента, представленного на рис. 2.

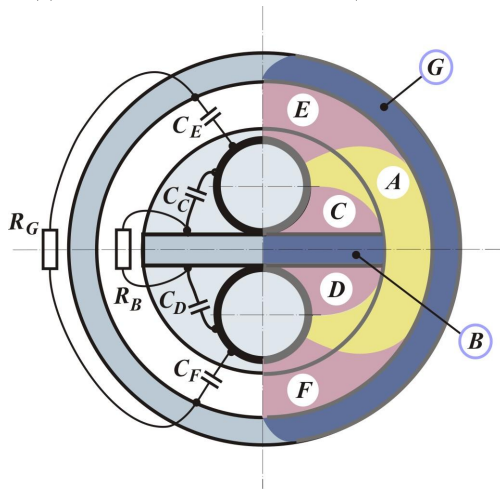


Рис. 2

Пренебрегая полем вне кварцевой колбы, условно выделим основные области чувствительного элемента, занятые (в процессе измерения) переменным электрическим полем. На рис. 2 они обозначены как области, характеризующие поле: A – в воздухе между краями спирали чувствительного элемента; B – в кварцевой пластине; C, D – в воздухе между спиралью и пластиной; E, F – в воздухе между спиралью и колбой; G – в кварцевой колбе. Область H – область в кварцевом цилиндре диаметром d_2 и длиной b (рис. 1). В соответствии с общей теорией поля силовые линии поля начинаются на одном пружинном проводнике и заканчиваются на другом. При этом каждая область или подпространство характеризуется своим импедансом. Сопротивление платинового проводника в общем случае также является комплексной величиной. Если указанные импедансы рассматривать как удельные пара-

метры, приведенные к единице длины, одному витку пружинного проводника или одному витку геликоида, то модель чувствительного элемента ПТС можно представить в виде цепочечной схемы [2] (рис. 3).

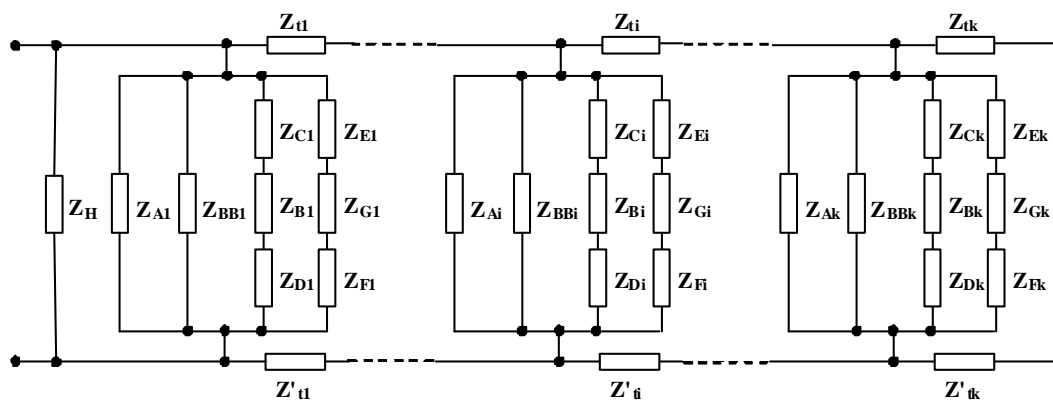


Рис. 3

На схеме обозначены: Z_{ii}, Z'_{ii} – импедансы проволоки чувствительного элемента ПТС; $Z_{Ai}–Z_{Fi}, Z_H$ – импедансы соответствующих областей (где $i=1…k$ – порядковый номер звена цепочечной схемы); Z_{BVi} – импеданс кварцевой пластины в точках соприкосновения со спиралью.

Представим выделенные области (рис. 2) диэлектрической средой с удельной проводимостью, имеющей комплексный характер: $\sigma=\sigma+j\omega\epsilon\epsilon_0$, где: σ – удельная объемная проводимость среды; ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды; ω – рабочая частота. Такой параметр используют в теории поля при гармонической форме тока через ПТС [6]. Тогда каждый из импедансов $Z_{Ai}–Z_{Fi}, Z_H$ можно представить в виде простейшей параллельной схемы замещения, состоящей из активного сопротивления R и емкости C . Вид двухэлементной схемы замещения импедансов определяется законом полного тока, который равен сумме токов проводимости и смещения. В зависимости от того, какой параметр превалирует, импеданс можно представить следующими выражениями:

$$Z = \frac{1}{j\omega C(1 - jtg\delta)}, \quad Z = \frac{R}{(1 + jtg\varphi)}, \quad (1)$$

где $tg\delta = \frac{1}{\omega CR} = \frac{\sigma}{\omega\epsilon\epsilon_0}$, $tg\varphi = \omega CR = \frac{\omega\epsilon\epsilon_0}{\sigma}$.

Из анализа выражений (1) следует, что для воздуха во всем диапазоне изменения температур и частот имеем $tg\delta \ll 1$, в то время как для кварца условие $tg\varphi < 1$ наблюдается при температурах выше 500°C [7]. Таким образом, для высоких температур, пренебрегая фазовыми набегами в параллельных цепочках, импедансы, определяющие токи в воздухе, представим в виде емкости C , а в кварцевом стекле – в виде активного сопротивления R . Условно это показано в левой части рис. 2.

Импедансы Z_{ii}, Z'_{ii} представим последовательной индуктивной схемой замещения, исходя из пружинной конструкции чувствительного элемента. Для прецизионных термометрических мостов диапазон рабочих частот довольно узкий (от 10 до 400 Гц). В таком диапазоне индуктивным характером импедансов можно пренебречь и представить их в виде активного сопротивления R .

Таким образом, для эквивалентной схемы замещения чувствительного элемента ПТС можно сделать упрощения, заменив указанные импедансы соответствующими элементами (см. таблицу).

Импеданс	Z_{Ai}	Z_{Bi}	Z_{BVi}	Z_{Ci}	Z_{Di}	Z_{Ei}	Z_{Gi}	Z_{Fi}	Z_H	Z_{ii}	Z'_{ii}
Эквивалентный элемент	C_{Ai}	R_{Bi}	R_{BVi}	C_{Ci}	C_{Di}	C_{Ei}	R_{Gi}	C_{Fi}	C_H	R_{ii}	R'_{ii}

Следует отметить, что даже в упрощенной модели с распределенными параметрами трудно оценить значение и диапазон вариации параметров элементов, составляющих модель. В самом общем случае рассматриваемая задача может формулироваться как полевая задача для определения импеданса между двумя пружинными проводниками, скрученными в геликоид и помещенными в кусочно-однородную среду. Аналитически эта задача до сих пор не решена. Использовать численные методы затруднительно в силу чрезвычайно сложной расчетной модели. Переход от дифференциальных характеристик электрического поля (напряженность, плотность тока, удельная проводимость, диэлектрическая проводимость) к интегральным характеристикам цепей (напряжению, сопротивлению, емкости) выходит за рамки данной публикации. Однако приближенно можно оценить насколько изменится сопротивление кварцевой пластины при переходе от модели с распределенными параметрами к модели с сосредоточенными параметрами. Разница состоит в том, что для первой модели напряженность поля вдоль пластины изменяется по линейному закону $E_1=E_0(1-x/a)$, где a – длина пластины. Для второй модели напряженность поля константа: $E_2=E_0$. Перейдя к напряжению, путем интегрирования выражений для напряженности на интервале a несложно показать, что при одинаковом токе сопротивления, рассчитанные согласно двум моделям, будут отличаться в полтора раза. При последующем анализе модели ПТС этим обстоятельством можно пренебречь, поскольку в рассматриваемом диапазоне температур (0–1300 °C) сопротивление кварцевой пластины будет меняться на 12–15 порядков [7]. В оценке диапазона вариации этого параметра линейным масштабом по сравнению с логарифмическим можно пренебречь. Здесь и далее мы будем использовать это свойство как для упрощения модели ПТС, так и выражений для оценки диапазонов вариации. Анализ цепочечной схемы, представленной на рис. 3, даже с учетом упрощений, представленных в таблице, является непростой задачей. Таким образом, с целью упрощения дальнейших исследований целесообразно перейти к модели ПТС с сосредоточенными параметрами.

Электрическая модель ПТС с сосредоточенными параметрами.

Соблюдая индексацию, привязанную к областям на рис. 2, и с учетом допущений (таблица), полученных с применением выражений (1), электрическую модель с сосредоточенными параметрами можно представить в виде схемы (рис. 4) где:

$$C_1 = C_A, \quad C_2 = \frac{C_C C_D}{C_C + C_D}, \quad C_3 = \frac{C_E C_F}{C_E + C_F}, \quad R_1 = \frac{R_H R_{BB}}{R_H + R_{BB}}, \quad R_2 = R_B, \quad R_3 = R_G. \quad (2)$$

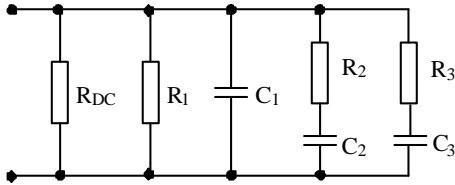


Рис. 4

На схеме обозначено: R_{DC} – сопротивление провода чувствительного элемента ПТС, соответствующее сопротивлению на постоянном токе. При строгом подходе сопротивление участка цилиндрического проводника переменному току R_t и постоянному току R_{DC} будут отличаться. Разница будет обусловлена поверхностным эффектом и эффектом близости. Общий подход к расчету сопротивления участка цилиндрического проводника переменному току приведен в [1]. В [5] показано, что для положительных (в шкале Цельсия) тем-

ператур, погрешностью при измерении сопротивления на постоянном и переменном токе можно пренебречь. Т.о. в дальнейшем сопротивление платинового провода чувствительного элемента (рис. 1) будет представлено параметром R_{DC} .

Из схемы (рис. 4) следует, что на постоянном токе шунтирование сопротивления термометра R_{DC} определяется только сопротивлением R_1 , которое состоит из параллельно включенных сопротивлений R_H кварцевого цилиндра (рис. 1) и сопротивления R_{BB} . Последнее определяется гальваническим контактом спирали и пластины (рис. 1). Отношение сопротивлений в первом приближении определяется отношением длины площадки касания к длине окружности платинового провода. Очевидно это отношение не может превышать (1–5)%. В силу этого основной шунтирующий эффект на постоянном токе будет оказывать сопротивление $R_1 \approx R_H$. На переменном токе появляется частотная погрешность δ_R термометра, обусловленная остальными элементами схемы на рис. 4.

Для оценки частотной погрешности ПТС воспользуемся упрощенной эквивалентной схемой замещения (рис. 5). В данной схеме параллельно соединенные элементы R_{DC} и R_1 заменены на эквивалентное сопротивление $R_p = R_{DC} \times R_1 / (R_{DC} + R_1)$. Для упрощения оценки параллельно соединенные цепочки R_2, C_2 и R_3, C_3 заменены на эквивалентную цепочку R_3, C_3 , где:

$$R_3 = \frac{\omega^2 R_2 R_3 C_2^2 C_3^2 (R_2 + R_3) + (R_2 C_2^2 + R_3 C_3^2)}{\omega^2 C_2^2 C_3^2 (R_2 + R_3)^2 + (C_2 + C_3)^2}; \quad C_3 = \frac{\omega^2 C_2^2 C_3^2 (R_2 + R_3)^2 + (C_2 + C_3)^2}{\omega^2 C_2 C_3 (C_2 R_2^2 + C_3 R_3^2) + (C_2 + C_3)}. \quad (3)$$

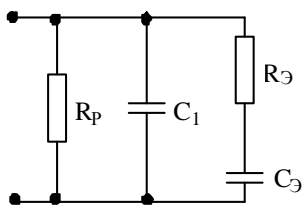


Рис. 5

Для схемы, представленной на рис. 5, активная составляющая импеданса (Z) ПТС будет равна:

$$\text{Re}(Z) = R_p \left(1 - \frac{R_p^2 \omega^2 (\omega^2 \tau^2 C_1^2 + C_\Sigma^2)^2 + R_p \omega^2 \tau C_3 (\omega^2 \tau^2 C_1^2 + C_\Sigma^2)}{(R_p \omega^2 (\omega^2 \tau^2 C_1^2 + C_\Sigma^2) + \omega \tau C_3)^2 + (\omega^2 \tau^2 C_1 + C_\Sigma)^2} \right) = R_p (1 - \delta_R); \quad (4)$$

где: $C_\Sigma = C_1 + C_3$; $\tau = R_3 C_3$.

Пренебрегая величинами второго порядка малости в формуле (4), запишем приближенное выражение для частотной погрешности:

$$\delta_R \approx \frac{\omega^2 C_3^2 R_p R_3}{1 + \omega^2 C_3^2 R_3^2}. \quad (5)$$

Анализ формулы (5) показывает, что частотная погрешность растет с ростом частоты и при $\omega > (2-3)/R_3 C_3$ практически достигает своего максимального значения, которое определяется, в основном, отношением сопротивлений R_p и R_3 . Данная погрешность пренебрежимо мала в области низких и средних температур, измеряемых платиновыми термометрами сопротивления. В области высоких

температур, когда удельное сопротивление материала каркаса чувствительного элемента сильно уменьшается, данная погрешность может достигать существенных значений.

Оценка границ частотной погрешности ПТС.

Оценим частотную погрешность δ_R на примере прецизионных термометров трех типов (ВТС, ПТС-10М и ПТС-25М) с сопротивлением в тройной точке воды (R_0) 0,6 Ом, 10 Ом и 25 Ом, которые предназначены для измерения температур в диапазонах 420–1080 °С и 0–630°С. Для этого, прежде всего, необходимо оценить диапазон возможных вариаций параметров схем, представленных на рис. 4 и 5.

Диапазон вариации емкостей C_2 и C_3 оценивался экспериментально с применением предварительно разработанных макетов конструкций. В зависимости от конкретных параметров ПТС результаты измерений находились в следующих пределах: $C_{2*} = 4,5\text{--}6,2$ пФ; $C_{3*} = 1,4\text{--}3,6$ пФ. Значения емкостей реальных ПТС будут меньшими в полтора раза в сравнении со значениями емкостей макета исходя из соображений, приведенных при переходе модели от распределенных параметров к сосредоточенным. С учетом метрологического запаса будем анализировать модель ПТС для двух значений емкостей C_2 – (1 и 6) пФ и C_3 – (0,5 и 3) пФ.

Для оценки сопротивления R_2 используем формулу: $R = \rho_K(T) \times L/S$, где: $S = a \times d_2$, $L = h_1$ – площадь и толщина кварцевой пластины каркаса чувствительного элемента; $\rho_K(T)$ – удельное сопротивление кварца, зависящее от температуры (характер зависимости – экспоненциальный [7]). Такая модель предельно упрощена. Однако, ее применение обосновано поскольку диапазон вариации отношения L/S из-за неточности модели составляет (30–40)%, в то время как диапазон вариации $\rho_K(T)$ составляет 12–15 порядков.

С учетом возможных вариаций параметров модели согласно формуле (5) был построен ряд зависимостей. Проведенные расчеты для термометра ВТС показали, что его частотная погрешность в рассматриваемых диапазонах частоты и температуры пренебрежимо мала (менее 10^{-8}), поэтому в данной работе не приведена. Графики зависимостей погрешности от частоты при различных значениях температуры для двух других типов термометров ПТС-10М и ПТС-25М показаны на рис. 6, 7 (кривая 1 – $C_2=1$ пФ, $C_3=0,5$ пФ; кривая 2 – $C_2=6$ пФ, $C_3=3$ пФ).

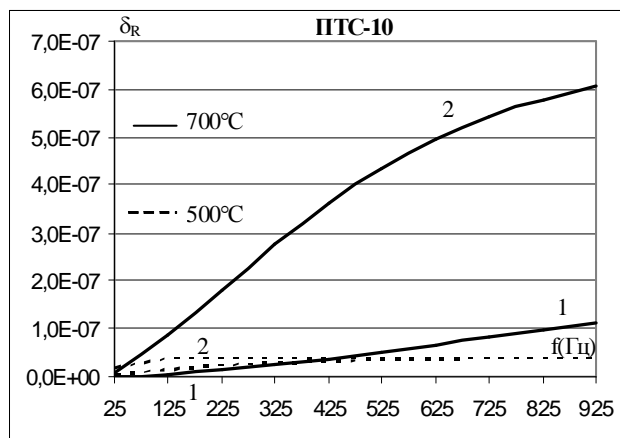


Рис. 6

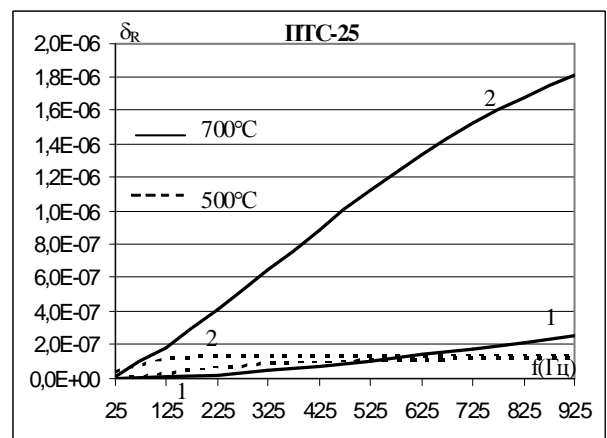


Рис. 7

Как видно из графиков, погрешность δ_R (при данных параметрах схемы замещения) может иметь значения порядка 10^{-7} (и более) при высоких температурах. Такая погрешность в измерении сопротивления термометров приведет к различию при определении температуры на постоянном и переменном токах порядка 10^{-4} К. При более низких температурах данная погрешность, как показали расчеты, пренебрежимо мала в рассматриваемом частотном диапазоне. Из графиков также следует, что чем больше номинальное сопротивление ПТС, тем больше его частотная погрешность. Поэтому в одном и том же температурном диапазоне ПТС-10М имеет преимущество перед ПТС-25М. Погрешность порядка долей ppm появляется для высокоомных ПТС даже на сравнительно низких (75 Гц) частотах.

Рассмотрим зависимость погрешности δ_R от измеряемой температуры (рис. 8, 9; кривая 1 – $C_2=1$ пФ, $C_3=0,5$ пФ; кривая 2 – $C_2=6$ пФ, $C_3=3$ пФ). Она носит сложный характер и имеет максимум при

определенной температуре, значение которой зависит от частоты и параметров схемы замещения ПТС. Анализируя выражение (5) на экстремум по аргументу R_{Σ} , получим значение сопротивления R_{Σ} , при котором погрешность будет максимальной: $R_{\Sigma}=1/\omega C_{\Sigma}$. При температуре, когда сопротивление R_{Σ} примет полученное значение, погрешность δ_R определяется выражением $\delta_{Rmax}=\omega C_{\Sigma} R_p/2$.

Сравнение погрешностей двух типов термометров (с $R_0=10$ Ом и $R_0=25$ Ом), которые используются для измерения положительных температур до 630°C , свидетельствует о смещении экстремума частотной погрешности к краю температурного диапазона. Это свойство можно использовать для оптимизации геометрических размеров чувствительного элемента, но не для повышения рабочей частоты (т.к. с изменением частоты от 75 до 325 Гц размер погрешности увеличивается в пять раз).

Заключение.

1. Предложена электрическая модель эталонного ПТС для средств измерения переменного тока в виде импеданса многоэлементного двухполюсника. Она позволяет провести теоретический анализ погрешности, обусловленной шунтирующим влиянием каркаса чувствительного элемента. Данная погрешность является функцией измеряемой температуры и частоты тока через ПТС. Теоретические исследования показали, что при измерении температуры существующими высокоомными прецизионными термометрами сопротивления с помощью приборов постоянного и переменного тока возможны различия в показаниях на уровне десятых долей мк даже при сравнительно низких частотах (75 Гц). Поэтому фактор шунтирования следует учитывать при возможной корректировке МТШ-90.

2. Теоретический анализ модели указывает на необходимость экспериментального исследования рассмотренной частотной погрешности эталонных ПТС и введения индивидуальной поправки к результату измерения аналогично поправке на нулевую мощность рассеяния.

3. В одинаковом температурном диапазоне ПТС-10М в сравнении с ПТС-25М имеет вдвое меньшую погрешность. При измерении высоких температур целесообразно использовать ПТС такой конструкции, которая обеспечивает меньшее значение номинального сопротивления, а также меньшие значения емкостей утечки и проводимости изоляции.

1. Глухенький А.И., Михаль А.А. Расчетная оценка составляющих импеданса цилиндрического проводника при их измерении на переменном токе // Технічна електродинаміка. – 2011. – №1. – С. 15–22.
2. Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. – М.-Л.: изд-во Энергия, 1965. – 892 с.
3. Куин Т. Температура: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 448 с.
4. Луцук Я.Т., Гук О.П., Лях О.І., Стадник Б.І. Вимірювання температурні: теорія та практика. – Львів: Видавництво “Блексид Біт”, 2006. – 560 с.
5. Мелешук Д.В., Михаль А.А. Погрешность платиновых термометров сопротивления, вызванная поверхностным эффектом в проводе чувствительного элемента // Технічна електродинаміка. – 2004. – №2. – С. 69–71.
6. Справочник по теоретическим основам радиотехники. (С 195). Под ред. Б.Х.Кривицкого, В.Н.Дулина. В 2-х томах. Том 1. – М.: Энергия, 1977. – 504 с.
7. Справочник по электротехническим материалам: (С 74). Под редакцией Ю.В.Корицкого и др. Т.2. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.
8. Compton I.P. The realization of low temperature fixed points. TMCSI, 4. – 1972. – Part 1. – Pp. 195–209.
9. Evans J.P., Burns G.W. A study of stability of high temperature platinum resistance thermometers. TMCSI, 3. – 1962. – Part 1. – Pp. 313–318.
10. Long Guang, Tao Hongtu. Stability of precision high temperature platinum resistance thermometers. TMCSI, 5. – 1982. – Part 1. – Pp. 783–787.

УДК 536.531

О.О.Михаль, канд.техн.наук, **Д.В.Мелешук**, канд.техн.наук,
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

Імпедансна модель прецизійних платинових термометрів опору в області високих температур

Запропоновано двохополюсну багатоелементну імпедансну модель чутливого елемента термометра опору при вимірюванні на змінному струмі. Вона враховує вплив на опір чутливого елемента шунтуючого ефекту, що обумовлений суттєвим зменшенням питомого опору ізоляційних елементів каркасу зі збільшенням темпера-

тури. В результаті, при вимірюванні опору термометра на постійному та змінному струмі виникає похибка, яка є функцією вимірювальної температури та частоти струму. Проведено теоретичні дослідження частотної похибки термометрів у діапазоні температур від 0 до 1100°C. Встановлено різницю в результатах вимірювання опору основних типів термометрів, що призводить до похибки порядку 0,1–0,2 мК. Аналіз моделі вказує на необхідність введення індивідуальної частотної поправки до результату вимірювання аналогічно поправці на нульову потужність розсіювання. Бібл. 10, таблиця 1, рис. 9.

Ключові слова: температура, вимірювання, термометр опору, частотна похибка.

IMPEDANCE MODEL OF PRECISION PLATINUM RESISTANCE THERMOMETERS IN THE FIELD OF HIGH TEMPERATURES

O.A.Mikhail, D.V.Meleshchuk,
Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

Double-pole multiunit impedance model of sensitive thermometer element during measurement on alternating current is proposed. It takes into consideration impact on resistance of sensitive element of bypassing effect which is caused by essential lowering of specific resistance of framework isolation elements with temperature growth. As a result, during the measurement of thermometer resistance on direct and alternating current the error appears which is the function of measurable temperature and current frequency. Theoretical investigations of frequency error of thermometers in the range of temperatures from 0 to 1100°C are conducted. Difference in the results of measurement of resistance of major types of thermometers is established which leads to the error of 0,1–0,2 mK. Model analysis demonstrates the necessity for introduction of individual frequency correction to the measurement result like correction for zero power of dispersion. References 10, table 1, figures 9.

Key words: temperature, measurement, resistance thermometer, frequency error.

1. Glukhenkii A.I., Mikhail A.A. Calculated mark of impedance composed of cylindrical conductor at its measurement on alternating current // *Tekhnichna elektrodynamika*. – 2011. – №1. – Pp. 15–22. (Rus)
2. Zernov N.V., Karpov V.G. Theory of radiotechnical chains. – Moskva: Energiia, 1965. – 892 p. (Rus)
3. Kuin P. Temperature: Transl. from Engl. – Moskva: Mir, 1985. – 448 p. (Rus)
4. Lutsyk Ya.T., Guk O.P., Lakh O.I., Stadnyk B.I. Temperature measurements: theory and practice. – Lviv: “Bleksyd Bit” edition. – 2006. – 560 p. (Ukr)
5. Meleshchuk D.V., Mikhail A.A. Error of platinum resistance thermometers, caused by surface effect in a wire of sensitive element // *Tekhnichna elektrodynamika*. – 2004. – №2. – Pp. 69–71. (Rus)
6. Reference book on theoretical basis of radiotechnics. (P.195). By Krivitskii B.Kh., Dulin V.N. – Vol.1. – Moskva: Energiia, 1977. – 504 p. (Rus)
7. Reference book on electrotechnical materials: (P.74). By Koritskii Yu.V. and others. 3 volumes. Vol.2 – 3-d edition. – Moskva: Energoatomizdat, 1987. – 464 p. (Rus)
8. Compton I.P. The realization of low temperature fixed points. TMCSI, 4. – 1972. – Part 1. – Pp. 195–209.
9. Evans J.P., Burns G.W. A study of stability of high temperature platinum resistance thermometers. TMCSI, 3. – 1962. – Part 1. – Pp. 313–318.
10. Long Guang, Tao Hongtu. Stability of precision high temperature platinum resistance thermometers. TMCSI, 5. – 1982. – Part 1. – Pp. 783–787.

Надійшла 12.07.2011
Received 12.07.2011