

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОСТОВЫХ СХЕМ С ТЕНЗОРЕЗИСТОРАМИ

Трушкин М.А., Хромов В.Г.

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: rt.sevgtu@stel.sebastopol.ua

Рассматриваются метрологические свойства ряда мостовых схем с тензорезисторами. Проведен сравнительный анализ температурной составляющей погрешности измерения.

Методам и средствам тензометрии посвящено большое число работ [1,2], в которых рассматриваются общие теоретические вопросы техники исследования деформаций и напряжений. Однако разработка тензометрических приборов с повышенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками приводит к необходимости дополнительных исследований существующих мостовых схем с целью их оптимизации.

Как известно, часть измерителя, преобразующая механические воздействия в электрические сигналы, определяет его основные метрологические характеристики. Такое преобразование осуществляется упругими элементами в совокупности с мостовыми схемами (рисунок 1), условие баланса для которых по постоянному току определяется известным выражением

$$\sum R_1 \cdot \sum R_3 = \sum R_2 \cdot \sum R_4 ,$$

где $\sum R_i$ – суммарные значения сопротивлений резисторов, последовательно включенных в плечи моста.

Рассмотрим три варианта включения элементов в схему моста (рисунок 2, а,б,в) с целью определения его максимальной крутизны преобразования S_d

$$S_d = \frac{\Delta U}{\Delta R_d} ,$$

где ΔU – приращение напряжения в измерительной диагонали моста, обусловленное воздействием нагрузки на исследуемый объект; ΔR_d –

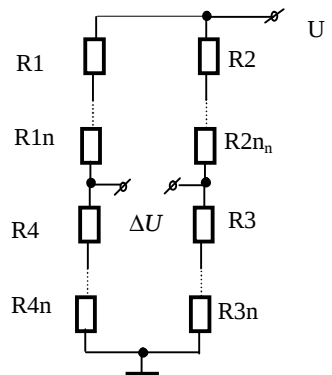


Рисунок 1 – Схема моста постоянного тока

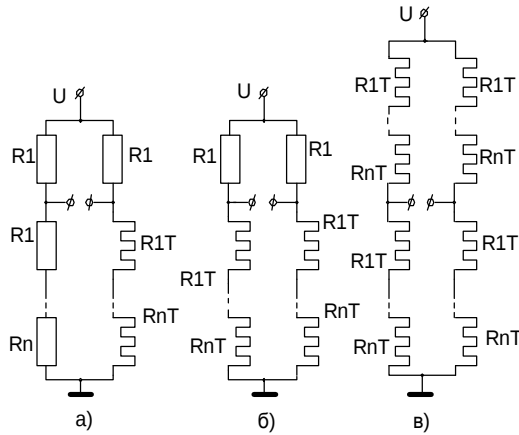


Рисунок 2 – Схемы мостов постоянного тока
 $R_1, \dots, R_n$ – активные термостабильные резисторы;
 $R_{1T}, \dots, R_{nT}$ – соединенные последовательно
 n тензорезисторов

приращение сопротивления одного тензорезистора в результате воздействия нагрузки на исследуемый объект.

Схема с n тензорезисторами в одном из нижних плеч моста изображена на рисунке 2, а. Крутизна преобразования $S_d(n)$ в этом случае имеет вид

$$S_d(n) = \frac{U}{\Delta R_d} \left(\frac{1 + \xi_d + \xi_t}{1 + \frac{1}{n} + \xi_d + \xi_t} - \frac{1}{1 + \frac{1}{n}} \right), \quad (1)$$

где $\xi_d = \frac{\Delta R_d}{R}$ – выходной сигнал тензорезистора [3], образующийся при

влиянии нагрузки на исследуемый объект; $\xi_t = \frac{\Delta R_t}{R}$ – выходной сигнал

тензорезистора, обусловленный изменением его сопротивления вследствие нагрева под действием протекающего через него тока; U – напряжение питания моста.

Анализ выражения (1) и кривой $S_d(n)$, показанной на рисунке 3, позволяет сделать следующие выводы:

- более одного тензодатчика в плечо моста включать нецелесообразно, так как крутизна преобразования с увеличением n уменьшается;

- выходной сигнал ξ_t , обусловленный нагревом тензорезистора, оказывает такое же влияние на крутизну преобразования, что и полезная

составляющая ξ_d , поэтому является источником большой погрешности. В связи с этим схема, приведенная на рисунке 2,а, на практике используется редко.

В схеме, показанной на рисунке 2,б, в оба нижних плеча моста включено по n тензорезисторов. Выражение для $S_d(n)$ в этом случае имеет вид:

$$S_d = \frac{U}{\Delta R} \left(2 \cdot \frac{\xi_d}{n} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{n} + \xi_t\right)^2 - (\xi_d)^2} \right). \quad (2)$$

Анализ полученной формулы показывает, что и в этом случае максимум функции $S_d(n)$ имеет место при $n=1$. Кривая, рассчитанная по формуле (2), аналогична графику, показанному на рисунке 3.

Относительная погрешность измерения нагрузки в зависимости от ξ_t , выраженная в процентах, имеет вид

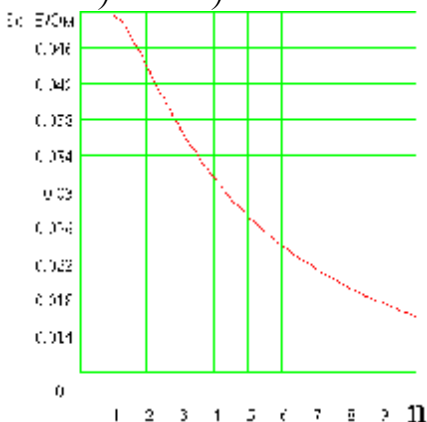
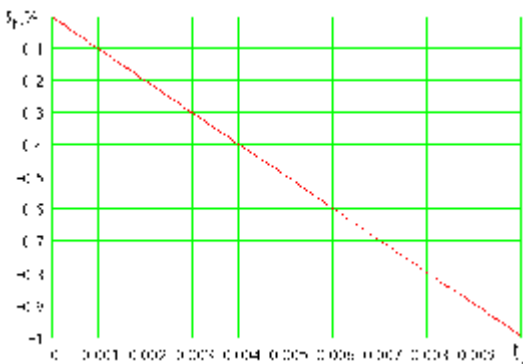


Рисунок 3 – Зависимость крутизны преобразования от числа тензорезисторов в правом нижнем плече моста

$$\delta_t = \left[\frac{4 - (\xi_d)^2}{(2 + \xi_t)^2 - (\xi_d)^2} - 1 \right] \cdot 100\%. \quad (3)$$

Кривая, рассчитанная по формуле (3), показана на рисунке 4. Из (3) следует, что при идентичных по температурному коэффициенту сопротивления тензорезисторах этот вариант схемы обладает



свойством частичной компенсации температурной погрешности, обусловленной влиянием ξ_t . При $\xi_d = \xi_t = 0,01$ погрешность $\delta_t(\xi_t)$ не превышает одного процента.

На рисунке 3, в показана схема с n тензорезисторами в каждом из четырех плеч моста. Выражение для крутизны преобразования в этом случае имеет вид

$$S_d = \frac{U}{\Delta R_d} \cdot \left(\frac{\xi_d}{1 + \xi_t} \right). \quad (4)$$

Анализ формулы (4) показывает, что крутизна преобразования в этом случае не зависит от количества тензорезисторов в плечах моста. Кроме того схема моста с четырьмя тензодатчиками обеспечивает крутизну преобразования в четыре раза большую по сравнению с первой рассмотренной схемой и в два раза большую, чем с двумя тензодатчиками, используемыми в предыдущей схеме (рисунок 2, б). Относительная погрешность измерения нагрузки в зависимости от ξ_t , выраженная в процентах, в последнем случае имеет вид

$$\delta_t = \frac{(\xi_t) \cdot 100\%}{(1 + \xi_t)}. \quad (5)$$

В выражение (5) не входит ξ_d , следовательно погрешность измерения нагрузки не зависит от ее величины. Расчет по формуле (5) показывает, что при $\xi_t = \xi_d = 0,01$ погрешность измерения не превышает одного процента. Кроме того, как видно из (4), схема с тензорезистором в каждом из плеч моста, как и в предыдущем случае, обладает свойством частичной компенсации температурной погрешности. Очевидно, что она и является наиболее предпочтительной в измерителях статических и динамических нагрузок.

Библиографический список

1. Дайчик М.Л. Методы и средства натурной тензометрии: справочник / М.Л. Дайчик, Н.И. Пригоровский, Г.Х. Хуршудов — М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.
2. Полунов Ю.Л. Цифровые измерительно-управляющие устройства тензометрических весов и дозаторов / Ю.Л. Полунов — М.: Энергоатомиздат 1989. — 152 с.
3. ГОСТ 20420 – 75. Тензорезисторы. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1976. — 33 с.
4. Хомерики О.К. Применение гальваномагнитных датчиков в устройствах автоматики и измерений / О.К. Хомерики — М.: Энергия, 1971. — 112 с.

Поступила в редакцию 24.12.2001 г.