

## **New commutative Wheatstone bridge**

**V.S.Vasilenko, P.I.Kohanovski**

**Odessa State Environmental University**

The new method of the high-fidelity measuring of resistances was proposed. A Wheatstone bridge was used with two unknown base resistors of  $R_1$  and  $R_2$  in one branch, the resistance decade boxes and unknown resistance  $R_x$  was plugged in other branch. By the selection of  $R_{m1}$  of resistance decade boxes bridge was balanced.  $R_1$  and  $R_2$  switched places then. By the selection of  $R_{m2}$  of resistance decade boxes the bridge was balanced in second times. Unknown resistance settled accounts on the formula of  $R_x=(R_{m1} \cdot R_{m2})^{1/2}$ .

Keywords: Wheatstone bridge, high-fidelity measuring.

## **Новый коммутативный мостик Уитстона**

**В.С.Василенко, П.И.Кохановский**

**Одесский экологический университет**

Предложен новый метод высокоточных измерений сопротивлений. Использовался Мостик Уитстона с двумя неизвестными базовыми резисторами  $R_1$  и  $R_2$  в одной ветви, в другой ветви был включен магазин сопротивлений и неизвестное сопротивление  $R_x$ . Подбором  $R_{m1}$  магазина сопротивлений осуществлялся баланс моста. Затем  $R_1$  и  $R_2$  менялись местами. Подбором  $R_{m2}$  магазина сопротивлений осуществлялся баланс моста во второй раз. Неизвестное сопротивление рассчитывалось по формуле  $R_x=(R_{m1} \cdot R_{m2})^{1/2}$ .

Ключевые слова: мостик Уитстона, прецизионные измерения.

**Измерительный мост (мостик Уитстона)** предложен в 1833 году Самуэлем Хантером Кристи, в 1843 году усовершенствован Чарльзом Уитстоном [1] и широко применяется по наше время в электротехнике и электронике. В измерительной технике мостовые схемы используются для определения величин сопротивлений, емкостей или индуктивностей, а также частоты сигнала. В системах управления мостовые схемы устанавливают наличие разбаланса между двумя: напряжениями, на основе чего вырабатываются сигналы коррекции ошибок [2]. Применение мостовых схем в тензометрии, в датчиках температуры и давления позволяет на несколько порядков расширить диапазон изменения сигнала. Например, мостовой полупроводниковый датчик давления работает в диапазоне высот 0 – 50 км и на уровне моря фиксирует увеличение высоты на 0.5 м.

Принцип измерения активного сопротивления мостиком Уитстона основан на уравнивании потенциала средних выводов двух ветвей (см.рис.1). В одну из ветвей включён двухполюсник (резистор), сопротивление которого требуется измерить ( $R_x$ ). Другая ветвь содержит элемент, сопротивление которого может регулироваться ( $R_2$ ; например, магазин сопротивлений,  $R_m$ ). Между ветвями (точками В и D; см. рис.1) находится индикатор. В качестве индикатора могут применяться цифровой вольтметр или амперметр. Сопротивление  $R_2$  второй ветви (магазин сопротивлений) изменяют до тех пор, пока показания прибора не станут равны нулю, то есть потенциалы точек узлов D и В не станут равны. По знаку показаний прибора можно судить о направлении протекания тока на диагонали моста BD (см.рисунок 1) и в какую сторону изменять регулируемое сопротивление  $R_2$  для достижения «баланса моста». Когда прибор показывает ноль, говорят, что наступило «равновесие моста» или «мост сбалансирован». Разность потенциалов между точками В и D (см.рис.1) равна нулю; ток по участку BD (через измерительный прибор) не протекает. При этом:

$$R_x / R_3 = R_2 / R_1. \quad (1)$$

Откуда искомое сопротивление  $R_x$

$$R_x = R_2 * R_3 / R_1. \quad (2)$$

Недостатком такого способа измерений является то, что сопротивления  $R_1$ , и  $R_3$  должны быть известны заранее с погрешностью не менее чем у магазина сопротивлений магазина сопротивлений  $10^{-4} - 10^{-6}$ , в то время как цифровые омметры обычно дают относительную погрешность не менее  $10^{-3}$ .

В настоящей работе предложен метод, исключаяющий влияние погрешностей  $R_1$ , и  $R_3$  на точность измерений. В методе измеряется  $R_{m1} =$

$R_2$  как указано выше. Затем  $R_1$ , и  $R_3$  меняются местами (рис.1), мост балансируется и определяются показания магазина сопротивлений  $R_{m2}$ . Подставим в (2) вместо значения  $R_{m1}$  и  $R_{m2}$  :

$$R_x = R_{m1} * R_3 / R_1 \quad (3)$$

$$R_x = R_{m2} * R_1 / R_3 \quad (4)$$

Перемножим (3) и (4), и извлечём квадратный корень, получим:

$$R_x = (R_{m1} * R_{m2})^{1/2} \quad (5)$$

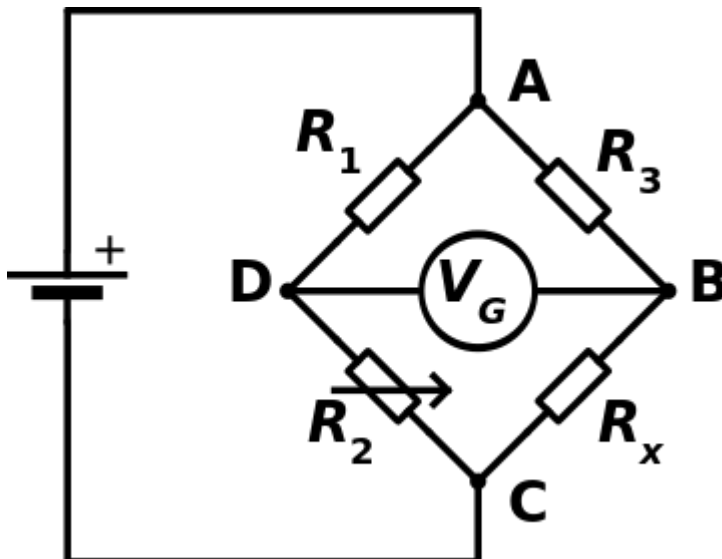


Рис.1. Принципиальная схема моста Уитстона. Обозначения:  $R_1, R_2, R_3, R_x$  - «плечи» моста; AC - диагональ питания; BD - измерительная диагональ;  $R_x$  - элемент, сопротивление (Ом) которого требуется измерить;  $R_1, R_2, R_3$  - элементы, сопротивления (Ом) которых известны с высокой точностью;  $R_2 = R_m$  - сопротивление магазина сопротивлений;  $V_G$  амперметр или вольтметр.

Для эксперимента брались резисторы  $R_a, R_b, R_c$ , неизвестных с высокой точностью. Их величины определялись омметром (столбец 1 Таб.1). Измерения сопротивления методом замещения с помощью магазина резисторов (ст.2 Таб.1) позволило обнаружить систематическую погрешность в омметра в 3 Ома. Далее определялись  $R_{m1}$  и  $R_{m2}$  при

Таб.1. Результаты измерений и вычислений по формулам (5) и (1)

Омметр Ом	Магази н Ом	$R_m$ при пере- становках $R_a, R_b, R_c$	$R_x^* =$ $(R_{m1} * R_{m2})^{1/2}$	$R_x =$ $R_m^* * R_3 / R_1$	$R_{cp}$
$R_a=1016$	1012	$R_x=R_a,$  $R_3=R_b,$ $R_1=R_c$  $R_{m1}=1010.36$  $R_3=R_c, R_1=R$ b $R_{m2}=1015.07$	$R_a^*=1012.71$	$R_3=R_b^*,$ $R_1=R_c^*$  $R_x =$ 1012.70  $R_3=R_c^*,$ $R_1=R_b^*$  $R_x =$ 1012.73	1012.71
$R_b=999$	996	$R_x=R_b,$  $R_3=R_a,$ $R_1=R_c$  $R_{m1}=978.57$  $R_3=R_c, R_1=R$ a $R_{m2}=1015.17$	$R_b^*=996.70$	$R_3=R_a^*,$ $R_1=R_c^*$  $R_x = 996.59$  $R_3=R_c^*,$ $R_1=R_a^*$  $R_x = 996.81$	996.70
$R_c=997$	994	$R_x=R_c,$  $R_3=R_a,$ $R_1=R_b$  $R_{m1}=978.38$  $R_3=R_c, R_1=R_b$  $R_{m2}=1010.69$	$R_c^*=994.40$	$R_3=R_a^*,$ $R_1=R_b^*$  $R_x = 994.10$  $R_3=R_b^*,$ $R_1=R_a^*$  $R_x = 994.71$	994.40

различных неизвестных резисторах в качестве  $R_x$  (ст.3 Таб.1). Затем по формуле (5) вычислялись  $R_a^*$ ,  $R_b^*$  и  $R_c^*$  (ст.4 Таб.1). Затем эти же значения для указанных резисторов вычислялись по формуле (2) (ст.5 Таб.1). Наблюдался небольшой разброс при перестановке. Однако среднее значение  $R_{cp}$  (ст.6 Таб.1) совпадала до последней значащей цифры с  $R_a^*$ ,  $R_b^*$  и  $R_c^*$  (ст.4 Таб.1).

Совпадение  $R_x$  с  $R_{cp}$  и номиналами исследуемых двухполюсников (столбец 1 Таб.1) показывает, что для данного набора резисторов погрешность измерений с использованием коммутативного мостика Уитстона уменьшилась на два порядка. Полученные результаты могут быть использованы для прецизионного подбора резисторов в технических устройствах и для лабораторной работы, демонстрирующей предельно точные измерения.

## Литература

1. Электротехнический справочник. В 3-х томах / Герасимов В.Г. и др. - 6-е издание.- М.: Энергия, 1980.- Т.1. - 520 с.
2. Панфилов В.А. Электрические измерения. - Академия, 2006.