

АНАЛИЗ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО МОСТА НА ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЯХ ФС-К1

А. К. БОЛБОТ, К. Н. ПОПОВ, В. Н. ТИТОВ

(Представлена научным семинаром физико-технического факультета)

Методы расчета мостов постоянного тока подробно описаны в [1], [2].
Графоаналитический метод расчета неуравновешенных мостов постоянного тока на активных сопротивлениях описан в [3].

В настоящей статье сделана попытка распространить графоаналитический метод расчета мостов постоянного тока для расчета неуравновешенных мостов на фотосопротивлениях ФС-К1.

Указанный мост был применен авторами в фотоэлектронном приборе для определения содержания углерода в золе тепловых электростанций [4].

Углерод, являясь основным компонентом в горючих элементах золы, обладает большой поглощающей способностью световых волн видимого диапазона, поэтому увеличение содержания углерода в пробе уменьшает количество отраженного света от ее поверхности.

Исследования проводились на пробах золы, взятых из-под котлов высокого давления Томской ГРЭС-2, в которых содержание углерода определялось методом отжига по ГОСТ—6382—52.

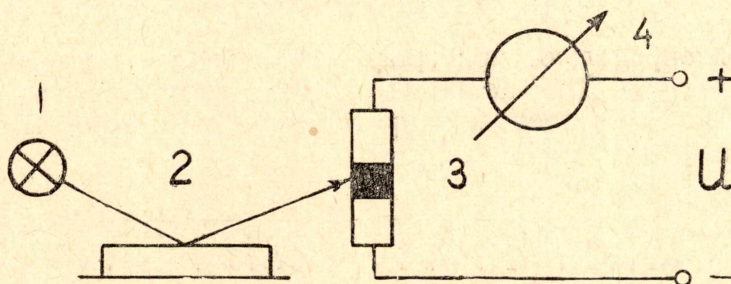


Рис. 1. Схема измерения $R_{\text{фс}}$ в зависимости от содержания углерода.

1—осветительная лампа 6,3 в \times 0,28 а; 2—исследуемая проба; 3—фотосопротивления ФС-К1; 4—микроамперметр М 252.

Изменение отраженного светового потока в зависимости от содержания углерода отсчитывалось по изменению тока через фотосопротивление по схеме, приведенной на рис. 1.

Анализируемая проба разглаживалась и помещалась под лампу 1. Результаты измерений зависимости тока через фотосопротивление от содержания углерода представлены в табл. 1.

Таблица 1

С %	1	1,4	1,7	2,2	2,9	3,9	4,2	5,9	7	8
I мка	62	6,08	59,1	55,6	53	48	43	42	37	32,4
R Мом	1,16	1,18	1,22	1,29	1,35	1,49	1,67	1,72	1,45	2,22

Из табл. видно, что изменение содержания углерода от 1 до 8% вызывает изменение величины сопротивления фотосопротивления на $R = 1,06$ Мом.

Схема исследуемого моста приведена на рис. 2. Для определения характера шкалы неуравновешенного моста (считаем, что шкала микроамперметра равномерная) необходимо вычислить значения S_0 и R_a .

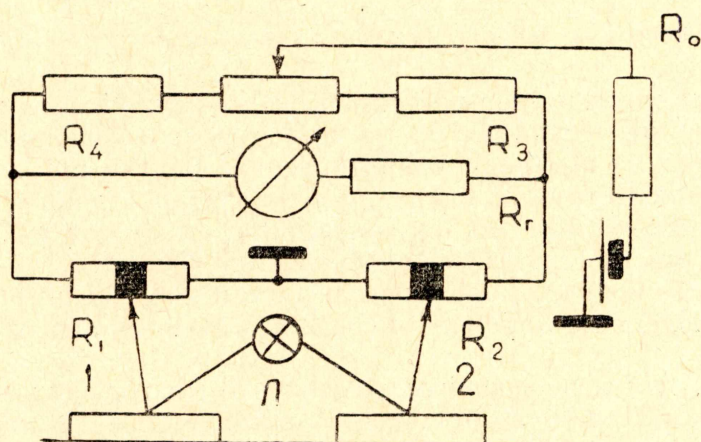


Рис. 2. Схема измерительного моста.

R_1, R_2 — фотосопротивления ФС-К1; R_3, R_4 — плечи моста; R_r — сопротивление рамки микроамперметра, равное 100 ом; R_0 — внутреннее сопротивление источника питания; 1 — исследуемая проба; 2 — эталонная проба; Л — осветительная лампа.

Эти значения определяют при графическом методе расчета положение полюса P (рис. 3). Для наиболее часто встречающегося случая работы моста, когда внутреннее сопротивление источника мало, S_0 и R_a находятся по формулам [3].

$$S_0 = \frac{U}{R_1 \left[R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_y \left(2 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_4}{R_3} \right) \right]}, \quad (1)$$

$$R_a = \frac{R_y (R_1 + R_2) + R_1 (R_2 + R_3)}{R_y + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2}}, \quad (2)$$

где S_0 — чувствительность моста вблизи момента равновесия или так называемая чувствительность в нулевой точке;

R_a — вспомогательная величина.

В качестве указателя был использован микроамперметр М 252 класс 0,5 с внутренним сопротивлением $R_r=1000$ ом. S_0 определяется при условии

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4, \quad (3)$$

введя обозначение

$$R_3 = n \cdot R_1, \quad (4)$$

можно исследовать зависимость S_0 от величины n , плеч R_3 , R_4 , если подставить выражение (4) в (1).

Результаты расчета для различных значений n представлены в табл. 2.

Из табл. видно, что с уменьшением n чувствительность S_0 увеличивается.

Таблица 2

n	1	0,5	0,1	0,05	0,01
$S_0 \frac{\text{мка}}{\text{Мом}}$	37	47,5	62	65	69
I_n ма	0,099	0,190	0,930	1,90	10

Однако с уменьшением n уменьшается сопротивление плеч R_3 , R_4 и потребляемый ток I_n от источника питания через указанные плечи увеличивается. Поэтому при выборе плеч R_3 , R_4 необходимо учитывать величину I_n , так как слишком большой ток вызовет самонагрев плеч, что приведет к нестабильности напряжения в индикаторной диагонали. С учетом вышеуказанного величина n нами была задана равная 0,115.

Исходные данные для расчета имели следующие величины:

$R_1=1,16$ Мом, $R_2=1,42$ Мом — сопротивления ФС-К1₁, ФС-К1₂ при содержании углерода в пробах $C=1\%$; $R_3=0,133$ Мом, $R_4=0,110$ Мом. Напряжение питания $U=200$ в.

Определенные по формулам (1) и (2) $S_0=59$ мка/Мом, $R_a=1,218$ Мом, $R_a \cdot S_0=72$ мка определили положение полюса Р на рис. 3.

Вращая полупрямую l вокруг полюса в соответствии с заданными R , взятых из табл. 1, находим соответствующие величины тока I_y .

Точки же пересечения абсцисс сопротивления и ординат тока являются точками кривой $I_y=f(R)$, непосредственно представляющей форму шкалы неуравновешенного моста.

Если обозначить угол наклона полупрямой к оси абсцисс через α , то этот угол будет определяться исключительно чувствительностью в нулевой точке.

$$\text{tg } \alpha = S_0 = 59 \frac{\text{мка}}{\text{Мом}}.$$

Очевидно, что $\alpha_1=\alpha$.

Отклонение кривой $I_y=f(R)$ от закона прямой линии определяет нам степень неравномерности шкалы.

Уравнение для определения I_y с учетом степени неравномерности имеет вид

$$I_y = \frac{R}{1+D} \cdot S_0, \quad (5)$$

где S_0 — крутизна в нулевой точке, R — текущее значение сопротивления ФС-К1₁, D — относительная степень неравномерности, равная

отношению $\frac{R}{R_a}$. При содержании углерода в пробе $C = 8\%$ изменение сопротивления ФС-К1₁ составило $R=1,06$ Мом, $D=0,87$, $I_y=33,4$ мка.

На рис. 3 представлены: 1—кривая $I_y^p=f(C)$, построенная графо-аналитическим методом по данным табл. 1; 2—экспериментальная кривая $I_y^3=f(C)$, полученная при измерении по схеме рис. 2. Исследуемые пробы помещались под ФС-К1₁, содержание углерода в эталонной пробе $C = 1\%$ было постоянным.

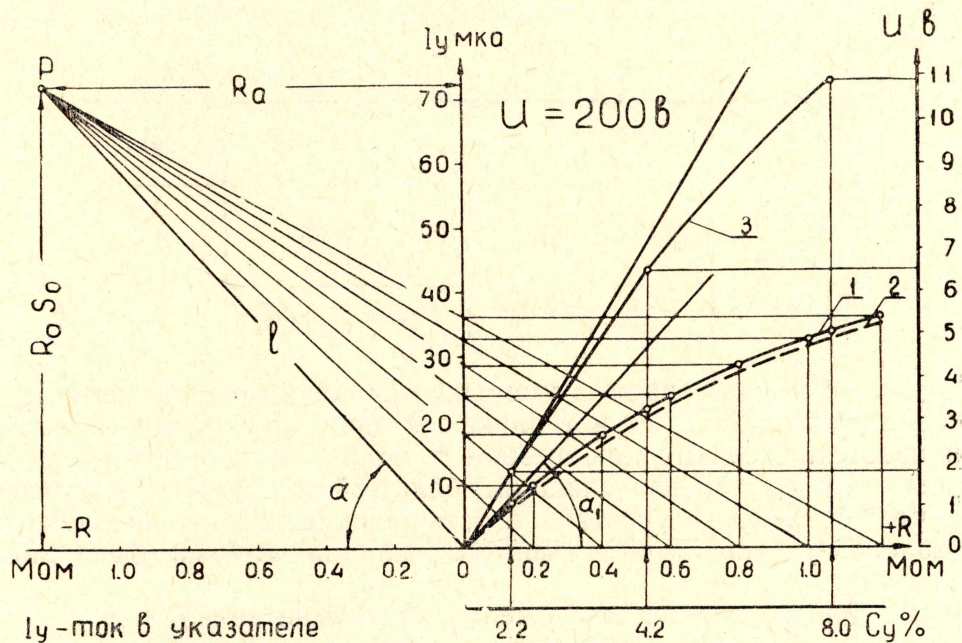


Рис. 3. Зависимость тока в указателе $I_y = f(C)$ для $R_r = 1000$ ом.
1—расчетная; 2—экспериментальная; 3—напряжение в индикаторной диагонали для $R_r^1 = 150$ ком.

Разница I_y —расчетной и экспериментальной кривой во всех точках шкалы была не более 0,5 мка; 3—экспериментальная кривая зависимости напряжения в индикаторной диагонали от содержания углерода, полученная измерением вольтметром с входным сопротивлением $R_r^1 = 150$ ком на шкале 30 в.

Для того чтобы при заданных R_0 и R_y получить от данной мостовой схемы наибольшую чувствительность, два меньших сопротивления нужно включить в одну ветвь моста, а два больших — в другую [3].

Расчет величины тока при разбалансе моста одинаковым содержанием углерода, но разным расположении диагоналей питания и указателя показал, что чувствительность для варианта схемы моста, приведенной на рис. 2, выше.

Таким образом, из приведенных исследований видно, что измерительные мосты на фотосопротивлениях, широко применяемые при электрических измерениях неэлектрических величин, хорошо поддаются расчету существующими методами расчета мостов постоянного тока на активных сопротивлениях.

В тех случаях, когда первостепенное значение имеют вес, габариты, компактность фотоэлектронного измерительного устройства, в индикаторную диагональ моста можно включать непосредственно микроамперметр.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Нестеренко. Основы расчета электроизмерительных схем уравнивания, ИЗД АН УССР, 1960.
 2. А. М. Туричин. Электрические измерения неэлектрических величин, ГЭИ, М. 1959.
 3. К. Б. Карандеев. Специальные методы электрических измерений, ГЭИ, М. 1963.
 4. П. П. Елизаров. Эксплуатация котельных установок высокого давления на электростанциях, ГЭИ, 1961.
-