

О РАЗДЕЛЬНОМ И НЕЗАВИСИМОМ УРАВНОВЕШИВАНИИ
МОСТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

М. С. РОЙТМАН

(Представлено юбилейной конференцией, посвященной 40-летию Октября)

Измерение комплексных сопротивлений мостами переменного тока, выпускаемыми отечественной промышленностью, связано обычно с весьма длительным и утомительным процессом уравнивания мостовой схемы путем попеременной регулировки параметров. Поэтому вопрос создания мостов переменного тока с раздельным уравниванием, позволяющих производить измерения в два-три строго определенных приема, является весьма актуальным. Впервые этот вопрос рассмотрен наиболее полно в работах [1, 2]. Как показано в [1, 2], „раздельное уравнивание моста сводится к двум самостоятельным приемам — нахождению точки пересечения основных линий уравнивания и совмещению потенциальных точек в одну“. Следовательно, необходимым условием для раздельного уравнивания является наличие специального индикатора, позволяющего определить точку пересечения основных линий уравнивания. В качестве таких индикаторов применяются различные дифференциальные индикаторы. Однако использование дифференциальных индикаторов приводит к появлению ряда дополнительных погрешностей, существенно снижающих точность измерений [3]. Кроме того, недостатком мостов переменного тока с дифференциальными индикаторами является и наличие вспомогательного приема нахождения точки пересечения основных окружностей уравнивания. Очевидно, что наилучшим решением с точки зрения ускорения измерений и повышения точности явилось бы создание мостов переменного тока, позволяющих свести уравнивание с помощью нулевого фазочувствительного индикатора к двум переходам: уравнивание активной составляющей и независимое уравнивание реактивной составляющей комплексного сопротивления. Рассмотрим возможность создания подобных мостов, т. е. мостов „с независимыми контурами уравнивания“ [4]. Напряжении небаланса на выходе мостовой схемы при входном сопротивлении индикатора, намного большем выходного сопротивления моста, равно

$$\dot{U}_{cd} = \dot{U}_{ab} \frac{\bar{z}_3 \cdot \Delta \bar{z}}{(\bar{z}_1 + \Delta \bar{z} + \bar{z}_2)(\bar{z}_3 + \bar{z}_4)} = \dot{U}_{ab} \frac{\bar{z}_3 (\Delta r + j \Delta x)}{z_{1,2} e^{j\alpha} \cdot z_{3,4} e^{j\beta}}, \quad (1)$$

где $\bar{\Delta z} = \Delta r + j \Delta x$ — сопротивление расстройки. Из уравнения (1) следует, что при больших расстройках величиной Δz в знаменателе пренебречь нельзя и ее изменение меняет сопротивление ветви $\bar{z}_{1,2}$ как по модулю, так и по фазе. В общем случае, когда измеряемое сопротивление (\bar{z}_1) и уравнивающее сопротивление находятся в разных ветвях моста, в процессе уравнивания меняется и сопротивление

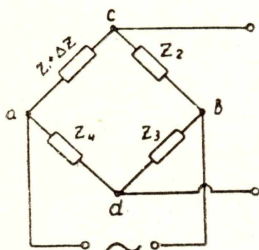


Рис. 1.

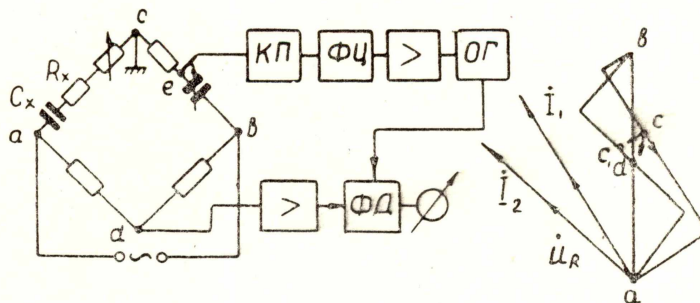


Рис. 2.

$\bar{z}_{3,4}$ другой ветви. В случае же включения измеряемого комплексного и уравнивающего сопротивлений в одну ветвь моста, сопротивление другой ветви будет всегда неизменно

$$\bar{z}_{3,4} e^{j\beta} = A = \text{const и}$$

$$\dot{U}_{cd} = \dot{U}_{ab} \frac{\bar{z}_3 (\Delta r + j \Delta x)}{\bar{z}_{1,2} e^{j\alpha} \cdot A} = \dot{U}_{ab} \frac{(\Delta r + j \Delta x) B}{\bar{z}_{1,2} e^{j\alpha} \cdot A}. \quad (2)$$

Этому условию отвечают два варианта мостовых схем: мосты со смежным включением основных плеч (при их включении в одну ветвь) и резонансные мосты. Включив на выходе моста нулевой фазочувствительный индикатор и жестко связав вектор управляющего напряжения с вектором тока через основную ветвь

$$\left(i = \frac{\dot{U}_{ab}}{\bar{z}_{1,2} e^{j\alpha}} \right),$$

получим мост с независимыми контурами уравнивания

$$\dot{U}_{cd} = \frac{\dot{U}_{ab} (\Delta r + j \Delta x) B}{\bar{z}_{1,2} \cdot A} = \Delta r \frac{\dot{U}_{ab}}{\bar{z}_{1,2} \cdot A} + j \Delta x \frac{\dot{U}_{ab} B}{\bar{z}_{1,2} \cdot A} = \dot{U}_{cdr} + \dot{U}_{cdx}. \quad (3)$$

Действительно, из векторной диаграммы моста со смежным включением основных плеч (рис. 2) видно, что напряжение небаланса \dot{U}_{cdx} , вызванное изменением реактивной составляющей (ΔC_x) перпендикулярно вектору напряжения U_R , а активная составляющая \dot{U}_{cdr} совпадает по направлению с ним при любых изменениях составляющих (r и x) измеряемого сопротивления. Выбрав напряжение \dot{U}_R управляющим напряжением фазочувствительного индикатора и сдвинув его на 90° , уравниваем схему по реактивной составляющей, т. е. приводим точку C в C_1 . Затем переключаем фазу управляющего напряжения на 90° и уравниваем схему по активной составляющей.

Управляющее напряжение $\dot{U}_y = \kappa \dot{U}_R$ будет изменяться с изменением измеряемого сопротивления. Учитывая, что измеряемые сопротивления могут изменяться в широком интервале значений, необходимо для стабильной работы фазочувствительного индикатора введение автоматической регулировки усиления или ограничения выходного напряжения. Структурная схема моста может приобрести вид рис. 2, где КП — катодный повторитель, ФЦ — фазосдвигающая цепь, ОГ — ограничитель, ФД — фазочувствительный детектор.

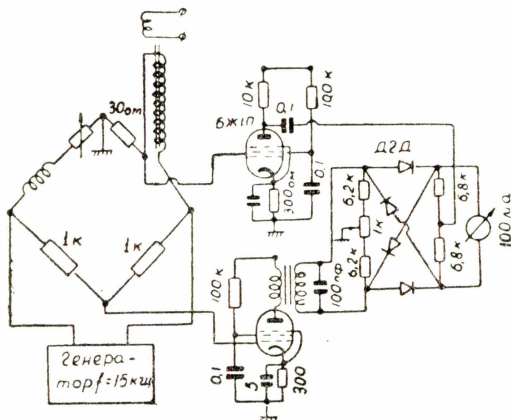


Рис. 3.

Очевидно, что независимость регулировок возможна лишь при отсутствии фазовых искажений в тракте и стабильной работе векторного устройства. Следует указать, что даже при наличии некоторой взаимосвязи „контуров уравнивания“ время уравнивания резко уменьшается вследствие улучшения сходимости моста. В. Ю. Кнеллер [4] показал, что „развязка контуров уравнивания“ особенно желательна при создании быстродействующих автоматических мостов.

На базе мостовых схем с „независимыми контурами уравнивания“ можно создать ряд весьма ценных приборов. Так, например, нами создан индикатор короткозамкнутых витков, показания которого не зависят от собственной емкости проверяемых катушек (рис. 3).

Один короткозамкнутый виток диаметром 1,5 см из провода диаметром 0,05 мм вызывает отклонение стрелки индикатора на три деления, а подключение параллельно керну емкости в 15000 пф — лишь на подделение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карандеев К. Б., Мостовые методы измерений, Гостехиздат, УССР, Киев, 1953.
2. Швецкий Б. И., Раздельное уравнивание мостов переменного тока, Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, Львов, 1951.
3. Силамаа Х. В., Автоматические мосты переменного тока, Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, Львов, 1955.
4. Кнеллер В. Ю., Об одном типе мостов переменного тока с автоматическим уравниванием двумя параметрами, Автоматика и телемеханика, том XIX, 12, 1958.
5. Ройтман М. С., Устройство для раздельного измерения активной и реактивной составляющих комплексных сопротивлений, Авторское свидетельство № 121862.