

*А. А. Степанян, В. М. Белоусов*

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГИСТРИРУЮЩИЙ ОММЕТР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В ряде случаев для контроля и управления производственными процессами необходимо осуществлять непрерывное измерение величины сопротивления электрической цепи технологических установок без нарушения режима их работы, например, для контроля электропроводности растворов, изучения механизма электрополирования, при совмещенном отжиге и волочении проволоки и т. д.

Описываемый прибор представляет собой следящую измерительную систему, в которой осуществляется сравнение части напряжения питания контролируемой электрической цепи с падением напряжения на шунте, пропорциональным току нагрузки этой цепи, в результате чего реализуется математическая операция деления напряжения на ток и показание прибора оказывается пропорциональным величине измеряемого сопротивления.

Принципиальная схема автоматического регистрирующего омметра представлена на рис. 1.

Напряжение питания  $U$  подводится к зажимам 1—1, а нагрузка  $R_n$  подключается к зажимам 2—2. На вход электронного усилителя подается разность двух напряжений, одно из которых

$$\frac{R_{\partial 1}}{R_{\partial 1} + R_{\partial 2}} \cdot U \quad (1)$$

пропорционально напряжению  $U$ , а другое

$$U_{\tau} = \alpha R_p I_p + r I_p \quad (2)$$

пропорционально току  $I$ , протекающему через измеряемое сопротивление нагрузки  $R_n$ .

Уравнение баланса напряжений на входе усилителя автоматической измерительной системы имеет вид

$$\frac{R_{\partial 1}}{R_{\partial 1} + R_{\partial 2}} U - U_{\tau} = 0. \quad (3)$$

Положение  $\alpha$  подвижного контакта сопротивления реохорда  $R_p$  (положение каретки с указателем и пером) омметра определяется из выражений (2) и (3):

$$\alpha = \frac{U}{R_p I_p} \cdot \frac{R_{\partial 1}}{R_{\partial 1} + R_{\partial 2}} - \frac{r}{R_p} \quad (4)$$

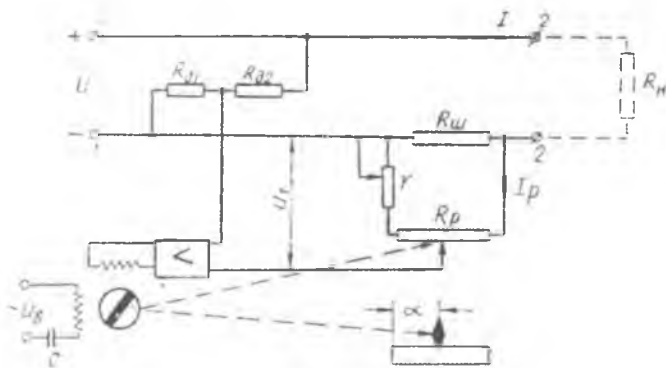


Рис. 1.

С учетом того, что

$$I_p = U \frac{\frac{R_{ш}}{R_{ш} + R_p + r}}{R_{ш} + \frac{(R_p + r) R_{ш}}{R_{ш} + R_p + r}}$$

после несложных преобразований найденное выражение приведем к виду:

$$\alpha = \frac{R_{ш}}{R_p} \left[ 1 + \frac{R_p}{R_{ш}} \left( 1 + \frac{r}{R_p} \right) \right] \cdot \frac{R_{\partial 1}}{R_{\partial 1} + R_{\partial 2}} + \left( 1 + \frac{r}{R_p} \right) \cdot \frac{R_{\partial 1}}{R_{\partial 1} + R_{\partial 2}} - \frac{r}{R_p} \quad (5)$$

После введения обозначений:

$$\frac{R_{\partial 1} + R_{\partial 2}}{R_{\partial 1}} = k_{\partial} \quad \text{коэффициент деления делителя напряжения;}$$

$$\frac{R_p}{R_{ш}} = k_p \quad \text{коэффициент шунтирования;}$$

$$\frac{R_{ш}}{R_p} = \beta \quad \text{относительная величина измеряемого сопротивления нагрузки;}$$

$$\frac{r}{R_p} = \rho \quad \text{относительная величина сопротивления коррекции нуля шкалы прибора,}$$

уравнение (5) примет вид

$$\alpha = \frac{\beta}{k_d} [1 + k_{ш} (1 + \rho)] + (1 + \rho) \frac{1}{k_d} - \rho. \quad (6)$$

Из условия  $\alpha |_{\beta=0} = 0$  имеем

$$(1 + \rho) \frac{1}{k_d} - \rho = 0,$$

откуда определяется относительная величина сопротивления коррекции нуля шкалы прибора

$$\rho = \frac{1}{k_d - 1}. \quad (7)$$

При выполнении условия (7) уравнение шкалы омметра имеет вид

$$\alpha = \frac{\beta}{k_d} \left( 1 + \frac{k_{ш} \cdot k_d}{k_d - 1} \right). \quad (8)$$

Значение необходимой величины коэффициента шунтирования при заданном коэффициенте деления напряжения определяется из выражения (8), если положить

$$\alpha = \beta = \beta_{\max} = 1.$$

При этом

$$k_{ш} = (k_d - 1) \cdot \left( \frac{1}{\beta_{\max}} - \frac{1}{k_d} \right). \quad (9)$$

Если коэффициент деления делителя напряжения омметра выбрать неизменным и, кроме того, обеспечить выполнение условий

$$k_d \geq 1000 = \text{const}, \quad (10)$$

$$k_{ш} \geq 1000, \quad (11)$$

то полученные выше формулы представляется возможным упростить

$$\rho = \frac{1}{k_d} = \text{const}, \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{\beta \cdot k_{ш}}{k_d}. \quad (13)$$

$$k_{ш} = \frac{k_d}{\beta_{\max}}, \quad (14)$$

причем, возникающая при этом погрешность не превышает 0,2%.

В этом случае величина коэффициента деления делителя напряжения и величина сопротивления коррекции нуля шкалы омметра устанавливаются при наладке прибора и остаются неизменными при его эксплуатации независимо от величины измеряемого сопротивления нагрузки, если соблюдаются условия (10) и (11).

Основная погрешность описанного омметра при этом складывается

из погрешности автоматической компенсационной системы постоянного тока, на базе которой строится омметр... 0,3%;

из конструктивной погрешности, обусловленной градуировкой шкалы прибора в соответствии с уравнением (13)... 0,2%;

из конструктивной погрешности, обусловленной подгонкой элементов электрической схемы омметра... 0,2%.

Среднеквадратичное значение основной погрешности измерения омического сопротивления электрической цепи определится величиной:

$$\gamma_{\Omega} \approx 0,42 \%$$

Это подтверждается приведенными ниже результатами поверки макета прибора, собранного на базе автоматического потенциометра ЭПП-09М.

Показание $\alpha$ по шкале прибора, <i>ом</i>	Действительное значение $R_n$ измеряемого сопротивления, <i>ом</i>	Приведенная $\gamma_{\Omega}$ погрешность, %
10,3	10	0,3
20,2	20	0,2
30,1	30	0,1
40	40	0
50	50	0
60	60	0
69,8	70	-0,2
79,8	80	-0,2
89,7	90	-0,3
99,6	100	-0,4

Максимальный предел измерения омметра при заданной основной погрешности определяется выбранной величиной сопротивления реохорда.

Например, при

$$R_p = 100 \text{ ом.}$$

$$\beta_{\max} = 1, \text{ т. е. } R_{n \max} = 100 \text{ ом,}$$

$$k_d = 1000,$$

и, следовательно,

$$r \approx 0,1 \text{ ом}$$

из (14) получаем

$$k_{\omega} = 1000,$$

т. е. условия (10) и (11) выполняются.

При  $R_{n \max} = 10 \text{ ом}$  ( $\beta_{\max} = 0,1$ ) имеем  $k_{\omega} = 10000$ , т. е. указанные условия также выполняются.

Если же  $R_{n \max} = 1000 \text{ ом}$  ( $\beta_{\max} = 100$ ), то  $k_{\omega} = 10$ , т. е. условие (11) не соблюдается. При этом составляющая основной погрешности, обусловленная градуировкой шкалы омметра в со-

ответствии с уравнением (13) недопустимо возрастает, что вызывает необходимость увеличить сопротивление реохорда прибора до величины  $R_{p1} = 10000 \text{ ом}$  ( $\beta_{\text{max1}} = 1,0$  и  $k_{\text{ш1}} = 1000$ ) и коррекции нуля шкалы до величины  $\gamma_1 \approx 10 \text{ ом}$ .

Описанный регистрирующий омметр имеет линейную шкалу, обеспечивает высокую точность измерения и возможность унификации на базе выпускаемых отечественной промышленностью автоматических потенциометров.

