

ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКООМНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Измерение высокоомных сопротивлений порядка 10^9 — 10^{15} ом и больше имеет ряд известных трудностей, связанных главным образом с работой чувствительных гальванометров или электрометров различных конструкций. В этом случае приходится измерять очень малые токи, следовательно, применять приборы высокой чувствительности. Повышение чувствительности приборов приводит к увеличению времени успокоения стрелки прибора, что в свою очередь увеличивает время, затрачиваемое на одно измерение.

За последние 10—15 лет разработано много различных электрометрических схем, так называемых ламповых электрометров, позволяющих надежно измерять токи порядка 10^{-15} — 10^{-16} а, преимущества которых перед обычными гальванометрами не вызывает сомнения. Прежде всего ламповые электрометры не нуждаются в установке на неподвижных консолях, не требуют исключительной осторожности в работе, имеют достаточно стабильный нулевой отсчет и высокую чувствительность. Кроме этого, ламповые электрометры имеют большое внутреннее сопротивление и малую собственную емкость. К сожалению, в нашей печати освещено незначительное количество схем ламповых электрометров, работающих на лампах отечественного производства.

Автором статьи разработана схема лампового электрометра, работающего на электрометрическом тетраде 1ЭП.

Ламповый электрометр, построенный по нижеописанной схеме, используется для изучения электропроводности древесины, имеющей в сухом состоянии удельное сопротивление порядка 10^{14} — 10^{16} ом/см.

1. СХЕМА ЛАМПОВОГО ЭЛЕКТРОМЕТРА

Ламповый электрометр собран по мостовой схеме Дюбриджа на электрометрическом тетраде 1Э1П. В схеме (рис. 1) микроамперметр включен в диагональ моста, два плеча которого образуют переменные сопротивления R_1 и R_4 , а два других плеча — сопротивления интервала анод-катод лампы- R_p и интервала защитная сетка-катод лампы- R_v .

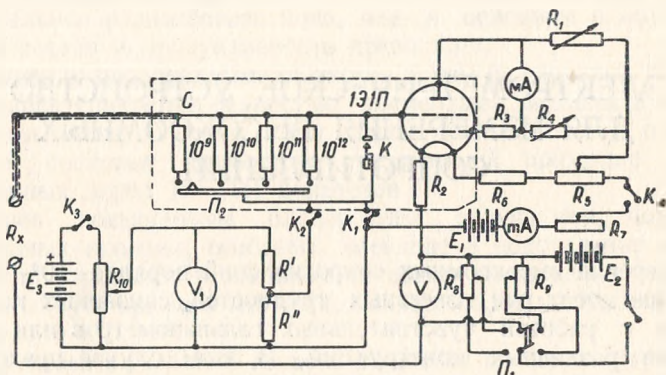


Рис. 1. Принципиальная схема лампового электрометра:

μA — микроамперметр, чувствительностью 10^7 а/дел; V и V_1 — вольтметры; R_1, R_4, R_3 и R_7 — переменные сопротивления: 2,2 ком, 5,5 ком, 100 ом, 35 ом; R_2, R_3 и R_6 — сопротивления: 65 ом, 5 ком, 41 ом; R^1 и R^{11} — образцовые сопротивления — 400 ом и 100 ом; R_8, R_9 и R_{10} — потенциометры: 2,2 мом, 2,2 ком, 500 ом; E_1, E_2 и E_3 — источники питания схемы, образца и градуировочного устройства.

Эквивалентная схема моста изображена на рис. 2. Здесь при равенстве потенциалов точек a и b мост будет сбалансирован и ток, идущий через гальванометр, станет равным нулю. В схеме сохраняется баланс моста даже в том случае, если изменятся ток накала и ток эмиссии, произойдут изменения, связанные со старением или мерцанием катода.

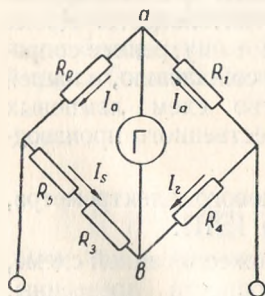


Рис. 2. Эквивалентная схема моста.

В этих случаях соответствующим подбором режима лампы можно обеспечить достаточную стабильность нулевого отсчета.

Баланс моста устанавливается путем изменения сопротивлений R_1 и R_4 соответственно условию равенства потенциалов точек a и b или выполнению соотношения:

$$\frac{R_4}{R_1} = \frac{I_3}{I_5}$$

Питание схемы производится от батареи свинцовых аккумуляторов 12 в. Сопротивления R_2 , R_5 , R_6 подобраны так, чтобы обеспечить напряжение на аноде плюс 6 в и смещение на управляющей сетке минус 3 в. Сопротивления R_7 и R_3 позволяют в небольших пределах изменять ток накала и анодный режим лампы. Миллиамперметр в цепи накала лампы служит для контроля тока накала. При помощи переключателя Π_2 к управляющей сетке лампы может быть подключено любое из четырех высокоомных сопротивлений. Кнопка K служит для заземления сетки лампы.

Электрометрическая лампа 1Э1П, переключатель Π_2 и эталонные сопротивления размещены в специальной герметизированной камере. Вывод C из камеры выполнен на янтарной изоляции экранированным кабелем.

Напряжение на измеряемый образец подводится от питающего устройства, состоящего из переключателя Π_1 , двух потенциометров R_8 и R_9 и источника питания E_2 . Напряжение, поданное на образец, измеряется электростатическим вольтметром V .

Одновременно в схему включено градуировочное устройство, состоящее из образцовых сопротивлений R' и R'' , вольтметра V_1 , потенциометра R_{10} и батареи E_3 .

Схема собрана на алюминиевом листе, служащем крышкой ящика. Последний сделан из ферромагнитного материала, обеспечивающего полную экранировку ее от воздействия внешних электрических и магнитных полей.

2. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ

Измерение производится следующим образом. Искомое сопротивление R_x (рис. 3) включается последовательно с эталонным сопротивлением R_m . Напряжение от источника питания E_2 подается одновременно на два сопротивления R_x и R_m . Поэтому напряжение U , отсчитываемое по вольтметру V при замкнутом ключе K_1 и разомкнутом ключе K_2 , состоит из суммы падений напряжений на искомом сопротивлении $\Delta U_x = JR_x$ и эталонном $\Delta U_m = JR_m$.

Таким образом:

$$U = \Delta U_x + \Delta U_m$$

или

$$U = JR_x + JR_m = J(R_x + R_m),$$

где J — ток, протекающий через эталонное и искомое сопротивления.

Откуда:

$$R_x = \frac{U}{J} - R_m.$$

Чтобы определить R_x , необходимо знать ток, протекающий через искомое сопротивление, который равен току, протекающему через эталонное сопротивление.

Для определения тока поступают следующим образом. Потенциометр R_8 (или R_9) приводят сначала в такое положение, при котором микроамперметр даст отклонение на n делений, отсчитываемых от нулевого положения. При этом регистрируют показания вольтметра.

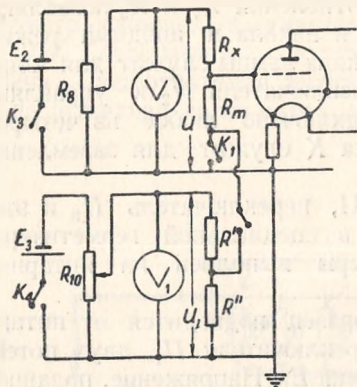


Рис. 3. Принципиальная схема включения измеряемого сопротивления.

Затем потенциометр R_8 (или R_9) приводят в положение, при котором показания вольтметра V станут равными нулю, замыкают ключ K_1 и замыкают ключи K_2 и K_3 . При помощи потенциометра R_{10} напряжение, снимаемое с сопротивления R'' , подают на сопротивление R_m . При этом следует добиваться такого положения, при котором гальванометр даст отклонение на те же, что и в прошлом случае, n делений. В этом случае ток, идущий через сопротивление R_m , будет равен току, проходившему ранее через измеряемое сопротивление R_x .

Принимая во внимание, что

$$U = U' + U'' \text{ и } J = \frac{U''}{R_m} = \frac{UR''}{R' + R''} \cdot R_m,$$

находим:

$$R_x = \left[\frac{U(R' + R'')}{U_1 R''} - 1 \right] \cdot R_m.$$

В последнем выражении R' , R'' и R_m являются постоянными для данного прибора. Следовательно, для определения искомого сопротивления достаточно знать напряжение U на сопротивлениях R_x и R_m и градуировочное напряжение U_1 .

Так как ток, проходящий через измеряемый образец, пропорционален напряжению U , т. е. подчиняется закону Ома, то шкала вольтметра V может быть проградуирована непосредственно в омах. Следует отметить, что точность измерения зависит от степени точности эталонных сопротивлений и применяемых в схеме вольтметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный ламповый электрометр представляет собою достаточно портативный и удобный в обращении прибор. В нем сочетается электроизмерительное и градуировочное устройство, что обеспечивает быструю градуировку прибора.

При питании измеряемого и эталонного сопротивления от

источника напряжения в диапазоне от 10 до 1 000 в прибор позволяет надежно измерять сопротивление порядка 10^9 — 10^{15} ом. При измерении сопротивления до 10^{12} ом можно пользоваться магнитоэлектрическим вольтметром. При измерении сопротивления большего порядка необходимо пользоваться электростатическим вольтметром.

При применении микроамперметра чувствительностью 10^7 а/дел. дрейф нуля отсутствует.

Микроамперметр и вольтметры могут быть легко заменены, так как для измерений они подключаются к соответствующим выводам, сделанным на передней панели прибора. Предусмотренная возможность замены позволяет расширить пределы измерения сопротивлений и менять чувствительность схемы.

ЛИТЕРАТУРА

А. И. Бонч-Бруевич. Применение электронных ламп в экспериментальной физике. ГИТЛ, Москва, 1955 г.

И. Шинтльмейстер. Электронная лампа как прибор для физических измерений. ГТТИ, М.-Л., 1949 г.

Под редакцией А. А. Жинарева. Электроника. ГЭИ, М.-Л., 1951 г.