

РАБОТА 3-3

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы: экспериментальное изучение зависимости сопротивления электролитов от температуры.

Оборудование: стеклянная трубка с электролитом, помещенная в термостат, термометр, магазин сопротивлений, реохорд, осциллограф, источник питания.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Закон Ома для электролитов Электролитическими называют вещества, молекулы которых состоят из ионов противоположных знаков, удерживаемых друг около друга кулоновскими силами притяжения. К электролитическим веществам относятся кислоты, щелочи и соли. При растворении этих веществ в воде значительная часть молекул распадается на ионы. Вода имеет высокую диэлектрическую проницаемость ($\epsilon=81$), в силу чего электрическое взаимодействие между ионами сильно уменьшается. Сравнительно небольшая кинетическая энергия молекул, обусловленная их тепловым движением, становится достаточной для разделения молекулы на ионы. Это явление называется электролитической диссоциацией.

Таким образом, при растворении электролитических веществ в воде или в другой полярной жидкости в ней возникает значительное количество свободных ионов обоого знака. При этом число ионов тем больше, чем выше концентрация вещества в электролите. Обозначим число свободных положительных ионов в единице объема раствора электролита через n_+ и отрицательных ионов - n_- . Величины зарядов зависят от валентности ионов. Обозначим эти валентности соответственно через Z_+ и Z_- . Так как раствор в целом нейтрален, то суммарные заряды положительных и отрицательных ионов в единице объема по абсолютной величине равны друг другу:

$$n_+ Z_+ e = n_- Z_- e. \quad (1)$$

Для упрощения дальнейшей записи введем сокращения:

$$n_+ Z_+ = n_- Z_- = nZ. \quad (2)$$

При растворении в воде, например, серной кислоты H_2SO_4 она диссоциирует (распадается) на положительно заряженные ионы водорода и кислотный остаток, несущий двойной отрицательный заряд:



Следовательно, в этом случае $Z_+ = 1$ и $Z_- = 2$, а число ионов водорода в растворе n_+ соответственно в 2 раза больше, чем число отрицательных ионов n_- .

Высокая диэлектрическая проницаемость воды обусловлена тем, что ее молекулы представляют собой жесткие диполи, обладающие электрическим дипольным моментом. Ближайшие к иону электролита дипольные молекулы воды поворачиваются, образуя вокруг иона своеобразное «облако», перемещающееся вместе с ним. Это облако не вполне стабильно; в результате теплового движения отдельные молекулы отрываются от иона, а на их место приходят другие.

При движении иона в растворе под радиусом иона следует понимать радиус r его гидратной оболочки (рис. 1).

Эта оболочка препятствует соединению (рекомбинации) ионов в нейтральные молекулы. Само притяжение к окружающим диполям и является тем фактором, что ослабляет внутримолекулярные связи,

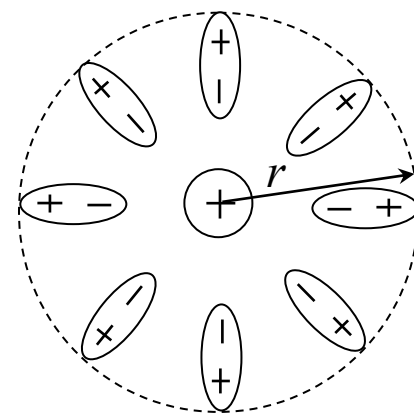


Рис. 1.

обуславливающие диссоциацию молекул на составляющие их ионы.

Если в растворе электролита создать электрическое поле напряженностью \vec{E} , то положительные ионы начнут двигаться по полю, а отрицательные – против поля и возникнет электрический ток. Рассмотрим для примера положительный ион с зарядом Z_+e . На этот ион в электрическом поле будет действовать сила:

$$\vec{F}_{эл} = (Z_+e) \cdot \vec{E}. \quad (3)$$

Под ее действием ион начнет ускоренно двигаться вдоль поля, и скорость его направленного движения v_+ будет возрастать. Вследствие большого радиуса гидратной оболочки движущийся в растворе ион испытывает значительную силу трения $F_{тр}$. Рассматривая ион вместе с оболочкой как сферу радиуса r_+ , движущуюся в вязкой жидкости с коэффициентом внутреннего трения (вязкостью) η , можно определить силу трения по закону Стокса:

$$\vec{F}_{тр} = -6\pi r_+ \vec{v}_+ \eta. \quad (4)$$

По мере увеличения скорости иона возрастает сила трения и уменьшается его ускорение. Практически через очень короткий промежуток времени сила трения станет равной по величине силе электрического поля, и ион далее будет двигаться равномерно с некоторой постоянной скоростью v_+ . При равномерном движении геометрическая сумма сил, действующих на ион, равна нулю:

$$\vec{F}_{эл} + \vec{F}_{тр} = 0$$

или

$$Z_+e \cdot \vec{E} - 6\pi r_+ \vec{v}_+ \eta = 0.$$

Отсюда можно найти скорость иона:

$$\vec{v}_+ = \frac{Z_+e}{6\pi\eta r_+} \cdot \vec{E} = k_+ \vec{E}. \quad (5)$$

Коэффициент пропорциональности

$$k_+ = \frac{Z_+e}{6\pi\eta r_+} \quad (6)$$

называется **подвижностью положительного иона**. Подвижность иона зависит от величины заряда и размера иона и от вязкости раствора. Из (5) следует, что $k_+ = v_+$ при $E = 1$. **Иными словами, подвижность иона численно равна скорости равномерного движения при напряженности электрического поля, равной единице.**

Аналогичным образом мы получим выражение для отрицательных ионов

$$\vec{v}_- = -\frac{Z_-e}{6\pi\eta r_-} \cdot \vec{E} = -k_- \vec{E}, \quad (7)$$

где

$$k_- = \frac{Z_-e}{6\pi\eta r_-} \quad (8)$$

- подвижность отрицательного иона. При комнатной температуре подвижности ионов в воде имеют порядок

$$k = 10^{-7} \div 10^{-3} \frac{\text{м/с}}{\text{В/м}}.$$

С повышением температуры вязкость раствора резко падает и подвижности ионов, соответственно, возрастают.

Как известно, плотность электрического тока при направленном движении однозарядных частиц одного знака:

$$\vec{j} = ne\vec{v}. \quad (9)$$

Эту формулу можно обобщить на растворы, содержащие ионы обоих знаков

$$\vec{j} = n_+(Z_+e)\vec{v}_+ + n_-(-Z_-e)\vec{v}_-. \quad (9a)$$

Подставляя в (9a) вместо \vec{v}_+ и \vec{v}_- их выражения (5) и (7) и учитывая (2) получим

$$\vec{j} = nZe(k_+ + k_-) \cdot \vec{E}, \quad (10)$$

Коэффициент пропорциональности в этой формуле

$$\sigma = nZe(k_+ + k_-) \quad (11)$$

есть электропроводность раствора электролита, которая зависит от концентрации свободных ионов и от их подвижностей. Закон Ома в дифференциальной форме будет:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

В противоположность металлам электропроводность растворов электролитов возрастает с температурой благодаря увеличению подвижностей ионов, за счет уменьшения вязкости жидкости с повышением температуры электролита.

Около металлических электродов, опущенных в раствор электролита, картина процесса усложняется и возникает целый ряд побочных явлений.

Если внутри электролита ток переносится зарядами обоого знака, то вблизи, например, отрицательного электрода - катода – отрицательно заряженные ионы уходят от него, их концентрация n_- падает практически до нуля и ток переносится только положительными ионами – катионами. В противоположность этому к положительному электроду – аноду подходят только отрицательные ионы – анионы. Поэтому вблизи электродов перестает соблюдаться равенство (2) и электрическое поле искажается.

Подходя к электродам, ионы разряжаются и превращаются в нейтральные атомы и радикалы.

Выделение на электродах первичных или вторичных продуктов разложения раствора, при прохождении через него электрического тока, называется электролизом. Вопросы электролиза в данной лабораторной работе не рассматриваются. Зависимость сопротивления электролитов от температуры можно представить следующей приближенной формулой:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t), \quad (12)$$

где R_t и R_0 – сопротивления при температурах t и 0°C ; коэффициент α носит название **температурного коэффициента сопротивления**. Написанное линейное соотношение неточно передает зависимость сопротивления электролитов от температуры, и найденная из

него для разных значений температуры величина α не оказывается величиной вполне постоянной, что указывает на ограниченную применимость написанного выражения. Однако в узких интервалах температуры можно применять и линейное соотношение между R_t и R_0 .

Рис.2. 1- корпус установки, заполненный водой; 2- стеклянная трубка, с исследуемым электролитом; 3- термометр; 4- электроды; 5- электролит; 6- нагреватель; 7- мешалка; 8- регулируемый источник питания нагревателя.

Измерение сопротивления электролитов можно проводить с помощью моста переменного тока. Применение переменного тока при измерении сопротивления электролитов необходимо потому, что под действием постоянного тока происходит поляризация электродов продуктами

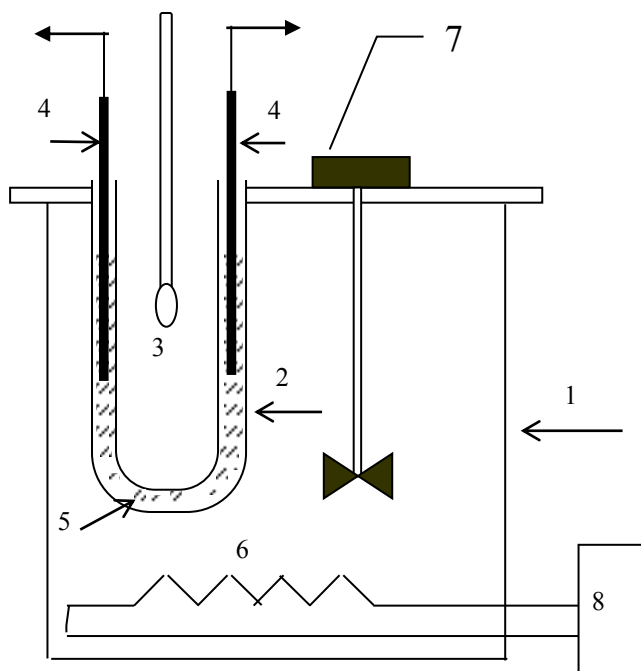


Рис.2

электролиза и измеренное сопротивление не соответствует истинному значению сопротивления объемного слоя электролита. Кроме этого, при прохождении постоянного тока постепенно изменяется состав электролита вследствие электролиза.

Работа с мостом переменного тока осложняется тем, что в этом случае надо учитывать не только активные сопротивления элементов схемы, но и их индуктивные и емкостные сопротивления. Сам сосуд с электролитом и введенными в него электродами представляет собой конденсатор. Когда мост уравновешен, то определенное из измерений значение сопротивления сосуда с электролитом не дает, строго говоря, величины активного сопротивления электролита и расчет электропроводности или удельного сопротивления усложняется. Возможное наличие в схеме нескомпенсированной разности фаз между напряжениями в разных ветвях схемы приводит к нерезкому минимуму тока в цепи регистрирующего устройства. Компенсация емкостных эффектов возможна путем включения емкости параллельно другой ветви моста.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Универсальный мост Уитстона отличается от простого моста, питаемого постоянным током, тем, что он позволяет производить измерения на постоянном и переменном токе. В работе используется внешний источник переменного напряжения.

Сосуд для испытуемого электролита представляет собой U-образную стеклянную трубку, в которую вводятся неокисляющиеся металлические электроды (рис.2). Сосуд с электролитом помещается в термостат. Термостат нагревается электрическим нагревателем. В термостате имеется мешалка, приводимая во вращение электромотором, и термометр для измерения температуры воды в термостате (рис.2).

Электрическая схема установки приведена на рис.3. Измерительный мост состоит из исследуемого сопротивления электролита R_1 , магазина сопротивлений R_2 и реохорда с сопротивлениями r_1 и r_2 . Сопротивление магазина R_2 изменяется ручками настройки на его панели. Индикация состояния равновесия моста осуществляется осциллографом. Питание моста производится от внешнего источника переменного напряжения.

Определение величины исследуемого сопротивления производится при так называемом состоянии “баланса моста” или равновесия моста. Это условие для схемы, изображенной на рис.3, можно записать следующим образом: $\varphi_1 = \varphi_2$, или $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$. При этом ток в измерительной диагонали моста будет отсутствовать и индикатор состояния моста – осциллограф – покажет нулевой сигнал. В практически реализованной схеме напряжение в измерительной диагонали моста будет несколько отличаться от нуля, поскольку балансировка моста производится только омическими сопротивлениями, без учёта реактивной составляющей переменного тока. Условие баланса моста можно записать через величины сопротивлений моста следующим образом: $R_1 \cdot r_2 = R_2 \cdot r_1$. Тогда сопротивление исследуемого сопротивления электролита будет равно:

$$R_1 = R_2 \frac{r_1}{r_2} \quad (13)$$

Поскольку реохорд представляет собой провод с высоким удельным сопротивлением постоянного сечения, то сопротивление участка этого провода будет равно:

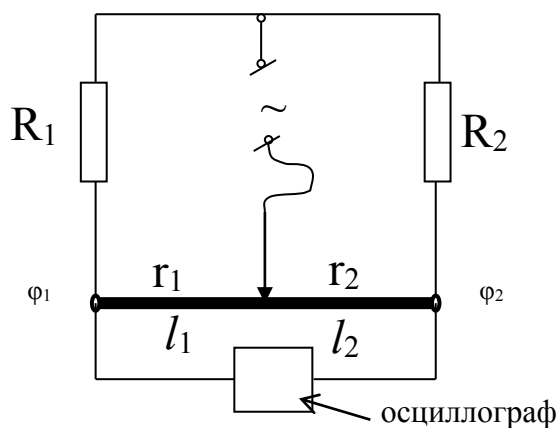


Рис. 3

$$r = \rho \frac{l}{S} \quad (14)$$

Подставив в формулу (13) значение сопротивления из формулы (14) получим величину исследуемого сопротивления:

$$R_1 = R_2 \frac{l_1}{l_2} \quad (15)$$

На первом этапе измерений, проведя балансировку моста при одинаковых длинах плеч реохорда ($l_1 = l_2$) настройкой магазина сопротивлений R_2 , мы получаем величину сопротивления исследуемого электролита при исходной (комнатной) температуре.

Последующие значения сопротивления электролита при более высоких температурах мы получаем балансировкой моста при **неизменном значении сопротивления магазина R_2** только изменением длин плеч реохорда.

Изменяя соотношение l_1/l_2 добиваются минимального размаха колебаний на экране осциллографа и по формуле (15) находят искомое сопротивление электролита R_1 .

ИЗМЕРЕНИЯ И ИХ ОБРАБОТКА

1. Изучить теорию работы, установку и порядок выполнения измерений и получить у преподавателя допуск к выполнению экспериментов.
2. Собрать электрическую цепь согласно рис.3.
3. Ознакомится с указаниями по работе со схемой.
4. Измерить не менее трёх раз сопротивление электролита при комнатной температуре.
5. После чего, повышая температуру термостата на 5°C измерить величину сопротивления электролита при различных температурах. Максимальное значение температуры 70°C .

Табл.1.

$t_{\text{ком}}, ^\circ\text{C}$	$(R_{\text{ком}})_1, \text{ Ом}$	$(R_{\text{ком}})_2, \text{ Ом}$	$(R_{\text{ком}})_3, \text{ Ом}$	$(R_{\text{ком}})_{\text{ср}}, \text{ Ом}$

Табл.2.

$T, [^\circ\text{C}]$	$T_{\text{комн}}$	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
$l_1, [\text{мм}]$	250										
$l_2, [\text{мм}]$	250										
$R_1, [\text{Ом}]$											

6. Используя данные из табл.2 построить график зависимости сопротивления электролита R от температуры T . Если зависимость $R(t)$ линейна, то коэффициент α находится из графика, иначе он вычисляется для разных участков графика по формуле:

$$\alpha_k = \frac{R_{k+1} - R_k}{R_k \cdot (t_{k+1} - t_k)}$$

7. Выделить на кривой участок близкий к линейному.
8. Вычислить температурный коэффициент сопротивления для этого участка.

ЕОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Выведите закон Ома для электролитов.
2. От каких факторов зависит электрическое сопротивление электролита?
3. Поясните принцип измерения сопротивления с помощью моста Уитстона.
4. Объясните характер зависимости сопротивления электролита от температуры..

5. Что является причиной нелинейной зависимости сопротивления электролитов от температуры?

ЛИТЕРАТУРА:

1. Савельев И.В. Курс общей физики Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М.: Наука, 1976
3. Иродов И. Е. Электромагнетизм. -М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.
4. Калашников Э.Г. Электричество. – М.:Наука, 1977.
5. Трапицын Н.Ф. Краткий курс общей физики. Ч.3. Электричество и магнетизм. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 1996
6. Зисман Г.А., Годес О.М. Курс общей физики. Т.2. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1974.
7. Физический практикум. Ч.2./ Под ред. В.И. Ивероновой. -М.: «Наука». -1968.