

## Условие

### Задача 1. «Вольтамперная характеристика воды»

Приборы и оборудование: сосуд с чистой водой и двумя электродами (медный и алюминиевый), мультиметр, реостат, постоянный резистор с известным сопротивлением, переключатель, соединительные провода, батарейка 4,5 В.

Стакан с водой и двумя электродами из разных металлов представляет собой гальванический элемент (на рисунке показано его обозначение на схемах). В данной работе вам предстоит исследовать этот элемент.



**Внимание! Электрические свойства воды изменяются при протекании тока. Ток через воду пропускайте только во время проведения измерений! Мультиметр используйте только в режиме вольтметра!**

### Часть 1. ЭДС и внутреннее сопротивление?

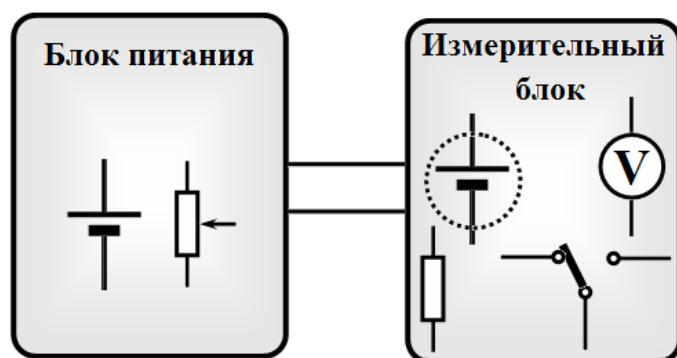
1.1 Измерьте напряжение на электродах вашего элемента при прямом подключении к нему мультиметра в режиме вольтметра. Измерения проведите при нескольких расстояниях между электродами. Можно ли считать это напряжение равным ЭДС источника?

**В дальнейших измерениях расстояние между электродами должно быть максимальным (равным диаметру стакана), закрепите электроды на краях стакана!**

1.2 Переключите мультиметр в режим измерения сопротивления. Измерьте показания мультиметра (в режиме омметра) при его подключении к электродам элемента. Объясните почему показания изменяются при изменении полярности подключения. Можно ли считать данные показания сопротивлением воды?

### Часть 2. Электрическая схема.

В работе Вам предстоит изучить вольтамперную характеристику гальванического элемента, поэтому вам будет необходимо изменять напряжение на исследуемом элементе, а также измерять напряжение и силу тока. Поэтому электрическую схему можно разделить на две части – блок питания и измерительный блок. В качестве подсказки на рисунке показаны элементы, которые мы рекомендуем использовать в каждом блоке.



2.1 Предложите электрическую схему блока питания, позволяющую изменять напряжение в максимальном диапазоне. Учтите, что сопротивление переменного резистора (потенциометра) значительно меньше сопротивления исследуемых элементов.

2.2 Предложите электрическую схему измерительного блока, позволяющую с помощью одного вольтметра измерять как напряжение на гальваническом элементе, так и силу тока через

него (естественно с использованием переключателя).

### Часть 3. Измерительная.

3.1 Измерьте зависимость напряжения на гальваническом элементе от силы тока через него. Постройте график полученной зависимости. Не забудьте провести измерения при двух направлениях тока.

*Условимся считать, положительными значениями силы тока, если он протекает от медного электрода к алюминиевому (аналогично для напряжения).*

### Часть 4. Эквивалентная схема гальванического элемента.

4.1 Источник электрического тока имеет две характеристики – ЭДС и внутреннее сопротивление. Поэтому реальный источник можно представить в эквивалентном виде: источник ЭДС с нулевым сопротивлением и резистор (без ЭДС). Нарисуйте эквивалентную схему источника, заменив его на два указанных идеальных элемента.

4.2 Для найденных диапазонов напряжений рассчитайте ЭДС и внутреннее сопротивление вашего гальванического элемента, оцените погрешности этих величин.

### Решение

#### Задача 11-1 Вольтамперная характеристика воды.

1.1 Вольтметр действительно показывает ЭДС данного гальванического, так как внутреннее сопротивление вольтметра значительно больше сопротивления воды. Показания вольтметра примерно 1,5 В и практически не зависят от расстояния между электродами.

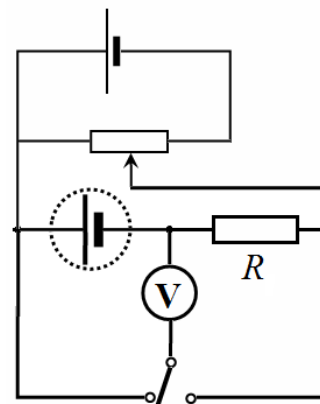
1.2 Показания омметра значительно различают (от кОм до МОм) при изменении полярности подключения – так как источник создает собственную ЭДС, поэтому омметр может показывать все, что угодно. Измерить таким способом внутреннее сопротивление невозможно.

2.1 В работе следует использовать традиционную схему для измерения силы тока и напряжения, а также изменения напряжения. Сила тока рассчитывается как

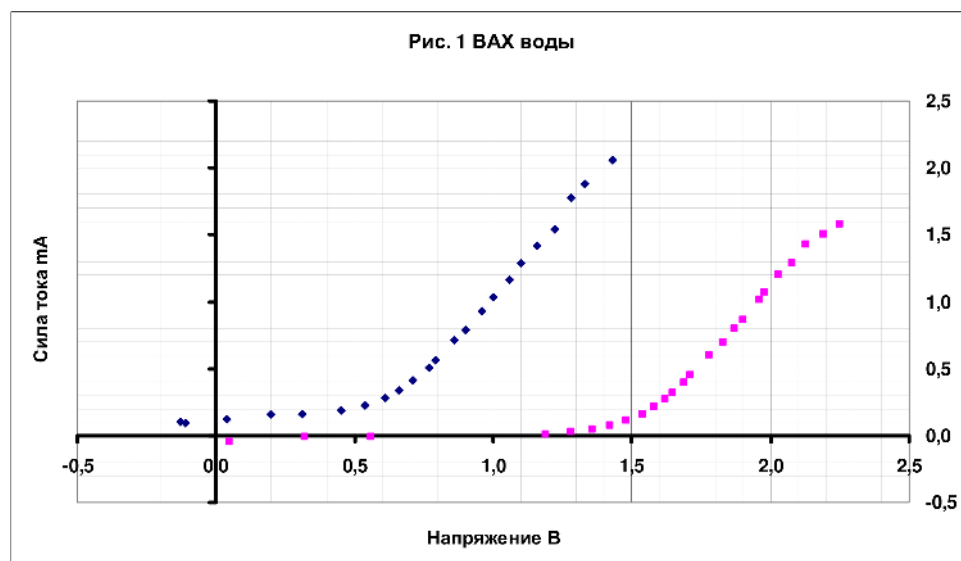
$$I = \frac{U_R}{R} \quad (1)$$

где  $U_R$  - напряжение на резисторе,  $R$  - его сопротивление.

Результаты измерений зависимости силы тока через элемент от напряжения на нем (при двух полярностях подключения источника) приведены в Таблице 1.



| - медь         |                |                   | + медь         |                |                   |
|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|
| $U_{\text{э}}$ | $U_{\text{г}}$ | $I_{\text{э}}$ мА | $U_{\text{э}}$ | $U_{\text{г}}$ | $I_{\text{э}}$ мА |
| 1,43           | 2,80           | 2,059             | 2,25           | 2,15           | 1,581             |
| 1,33           | 2,55           | 1,875             | 2,19           | 2,05           | 1,507             |
| 1,28           | 2,42           | 1,779             | 2,13           | 1,94           | 1,426             |
| 1,22           | 2,10           | 1,544             | 2,08           | 1,75           | 1,287             |
| 1,16           | 1,93           | 1,419             | 2,03           | 1,64           | 1,206             |
| 1,10           | 1,75           | 1,287             | 1,98           | 1,45           | 1,066             |
| 1,06           | 1,58           | 1,162             | 1,96           | 1,38           | 1,015             |
| 1,00           | 1,41           | 1,037             | 1,90           | 1,18           | 0,868             |
| 0,96           | 1,26           | 0,926             | 1,87           | 1,09           | 0,801             |
| 0,90           | 1,07           | 0,787             | 1,83           | 0,94           | 0,691             |
| 0,86           | 0,97           | 0,713             | 1,78           | 0,82           | 0,603             |
| 0,79           | 0,77           | 0,566             | 1,71           | 0,61           | 0,449             |
| 0,77           | 0,69           | 0,507             | 1,69           | 0,53           | 0,390             |
| 0,71           | 0,56           | 0,412             | 1,65           | 0,43           | 0,316             |
| 0,66           | 0,46           | 0,338             | 1,62           | 0,37           | 0,272             |
| 0,61           | 0,38           | 0,279             | 1,58           | 0,29           | 0,213             |
| 0,54           | 0,30           | 0,221             | 1,54           | 0,22           | 0,162             |
| 0,45           | 0,26           | 0,191             | 1,48           | 0,15           | 0,110             |
| 0,31           | 0,21           | 0,154             | 1,42           | 0,10           | 0,074             |
| 0,20           | 0,22           | 0,162             | 1,36           | 0,06           | 0,044             |
| 0,04           | 0,16           | 0,118             | 1,28           | 0,03           | 0,022             |
| -0,11          | 0,12           | 0,088             | 1,19           | 0,01           | 0,007             |
| -0,13          | 0,14           | 0,103             | 0,56           | -0,02          | -0,015            |
|                |                |                   | 0,32           | -0,02          | -0,015            |
|                |                |                   | 0,05           | -0,06          | -0,044            |

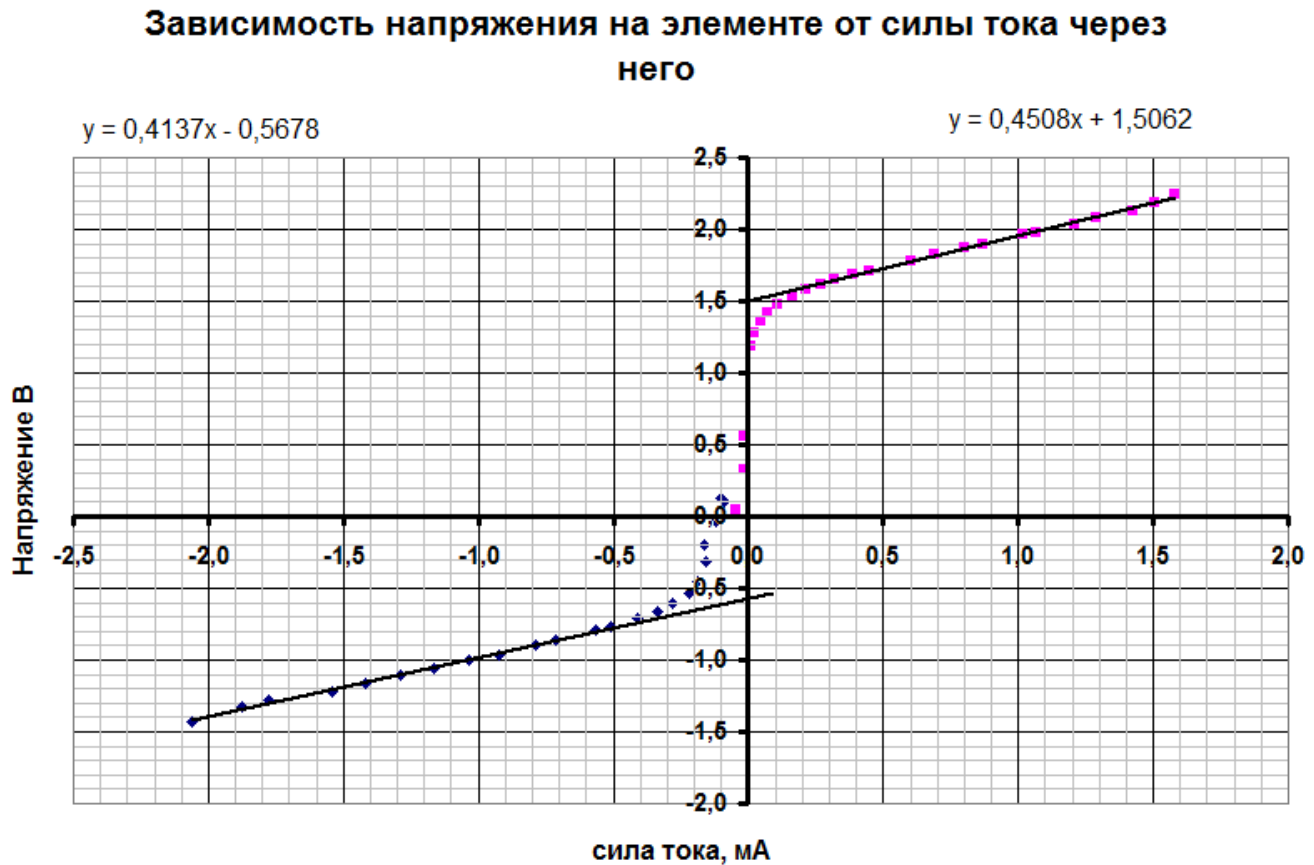


Графики полученных зависимостей показаны на рис. 1 (без учета изменения знака при изменении полярности подключения источника) Полученные зависимости не линейны и не совсем

обычны. Для их объяснения и анализа запишем выражение для напряжения на участке цепи, содержащем источник ЭДС

$$U = \varepsilon + Ir \quad (1)$$

Для проверки этого соотношения следует построить график обратной зависимости: напряжения от силы тока, причем с учетом знаков напряжений и токов (рис. 2) **Зависимость напряжения на элементе от силы тока через него**



При каждой полярности подключения источника формула (1) выполняется – что говорит о том, что «чистый» источник ЭДС и его сопротивление на эквивалентной схеме должны быть подключены последовательно.

Однако две ветки полученной зависимости не соответствуют друг другу. Так ЭДС в этих случаях различаются. Следовательно, необходимо признать, что ЭДС зависит от направления протекания тока, так существенно перестраиваются области ионных слоев вблизи электродов.

Значения ЭДС и внутреннего сопротивления могут быть найдены по линейным участкам полученной зависимости как коэффициент наклона (внутренне сопротивление) и сдвига прямой (ЭДС). В обоих случаях внутренне сопротивления остается примерно одинаковым и равным примерно 0,4 кОм. Значение ЭДС существенно изменяется от +1,5 В до –0,6 В. Эти параметры и их погрешности могут быть найдены по методу наименьших квадратов.