

Импульсом к раскрытию темы о «переходном сопротивлении электродов сравнения» послужили участвовавшие обращения к нам, как к производителям медносульфатных электродов сравнения в связи с проблемами, возникающими у строительных организаций при сдаче объектов. Ниже приведен фрагмент текста РД 153-39.4-091-01, который был взят на вооружение Технадзором как руководство к действию и стал кошмаром для строителей.

«п.4.4.10 Используемые в качестве стационарных медносульфатные электроды сравнения, например типа ЭНЕС должны быть заполнены незамерзающим электролитом в соответствии с сертификатом качества.

Перед оборудованием контрольно-измерительных пунктов стационарными медно-сульфатными электродами сравнения необходимо проводить лабораторный пре-дустановочный контроль последних, в процессе которого строительной организацией проверяется переходное сопротивление «электрод – влагонасыщенный песок».

С этой целью до начала измерения электроды выдерживают в нормальных кли-матических условиях не менее 3 ч.

Измерение переходного электрического сопротивления электродов производят по схеме, приведенной на рис. 4.4.1.

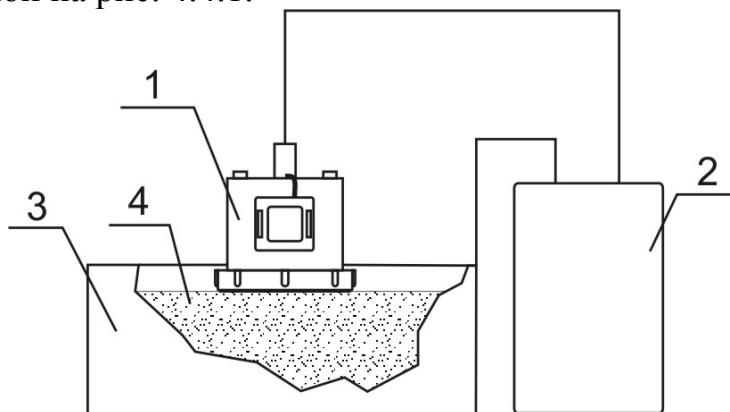


Рис. 4.4.1 Схема измерения переходного электрического сопротивления электродов сравнения

*1 – проверяемый электрод сравнения; 2 – омметр (мультиметр типа 43313.1);
3 – металлическая кювета; 4 – песок, увлажненный NaCl;
в дистиллированной воде.*

Кювету из нержавеющей стали или алюминия размерами 30X30X10 см заполняют на высоту 9 см. Песок увлажняют до полного насыщения раствором NaCl с кон-центрацией 500 мг на 1 литр воды.

Электроды устанавливают поочередно на поверхность песка в средней части кюветы. Для создания надежного электролитического контакта ионообменной мем-браны электрода с песком основание электродов следует обмазать указанным влаж-ным песком, втерев его в защитную решетку на дне электрода.

Через 10 ± 1 мин. после установки электродов в кювету измеряют переходное сопротивление электродов омметром (например, мультиметром 43313.1). Измеритель-ные проводники от омметра присоединяют к электроду сравнения и кювете.

Переходное сопротивление «электрод – влагонасыщенный песок» должно быть не более 15 кОм...»

Простейший способ измерения сопротивления основан на подключении R к ис-точнику постоянного напряжения E и измерению протекающего тока. Однако шкала измерительного средства при этом получается нелинейной (обратно пропорциональ-

ной R , поскольку $R=U/I$). Данный способ применялся в подавляющем большинстве стрелочных тестеров (авометров) в режиме измерения сопротивления.

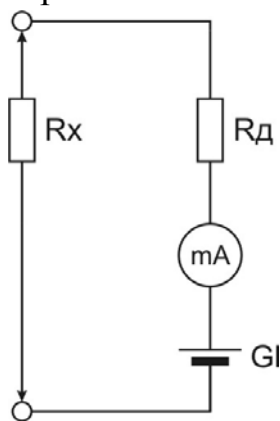


Схема 1.

На схеме:

R_x – неизвестное сопротивление;

Gl – гальванический элемент;

R_d – добавочное сопротивление, от величины которого зависит предел измерения.

В современных цифровых приборах (мультиметрах) измерения сопротивления основаны на пропускании через резистор R неизменного и стабильного постоянного тока I . Тогда напряжение на резисторе $U=RI$ и пропорционально сопротивлению R . Напряжение обычно измеряется достаточно точным цифровым вольтметром с большим входным сопротивлением.

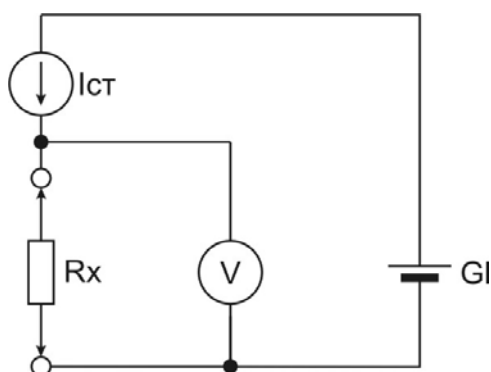


Схема 2.

На схеме:

R_x – неизвестное сопротивление;

Gl – гальванический элемент;

$I_{ст}$ – источник стабильного тока, от величины которого зависит предел измерения.

Именно этот метод используется при измерении сопротивления в рекомендованном РД мультиметре 43313.1.

Следует отметить, что измерение сопротивления как в первом, так и во втором случае, производится на постоянном токе, обеспеченном гальваническим элементом Gl .

Теперь рассмотрим, что собой представляет медносульфатный электрод с электрической точки зрения. Прежде всего – это двухполюсник, имеющий некое сопротивление, однако термин «сопротивление» приемлем только для пассивных элементов, то есть не содержащих в себе источник ЭДС, поэтому, касательно электрода сравнения уместно говорить о «внутреннем сопротивлении» электрода или о его импедансе (иммитансе в новой редакции, что, однако, не меняет сути). Ниже приведена эквивалентная схема электрода.

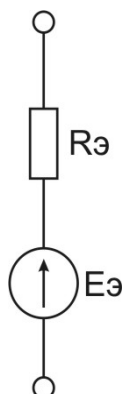


Схема 3.

На схеме:

R_e – внутреннее сопротивление электрода;

E_e – источник ЭДС (потенциал электрода).

Приведенная схема имеет весьма упрощенный вид, так как $R_{\text{э}}$ складывается из величины импеданса на границе электрод – электролит, сопротивления электролита, замедленности диффузии электрохимически активных веществ, не учтена шунтирующая емкостная составляющая двойного электрического слоя и пр., но подробная детализация в нашем случае пока не принципиальна. Непосредственное измерение омметром величины $R_{\text{э}}$ невозможно, поскольку нельзя подключить щупы прибора к выводам внутреннего сопротивления.

Далее логично рассмотреть среду, в которой рекомендуется производить замеры «переходного сопротивления электрод – влагонасыщенный песок», представляющую собой систему, состоящую из песка насыщенного электролитом и металла - нержавеющей стали или алюминия, тем более, что непосредственно подключиться к мембране электрода невозможно, необходим электролитический мост, функцию которого выполняет электролит, насыщающий песок. Эквивалентная схема среды выглядит следующим образом:

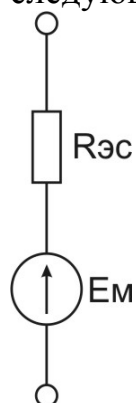


Схема 4.

На схеме:

$R_{\text{эс}}$ – внутреннее сопротивление электролита среды;

$E_{\text{м}}$ – источник ЭДС (потенциал металла, из которого изготовлена кювета).

Часть схемы, иллюстрирующая электрод сравнения в ячейке на рис. 4.4.1 РД может быть рассмотрена как последовательное соединение эквивалентной схемы электрода сравнения и эквивалентной схемы среды:

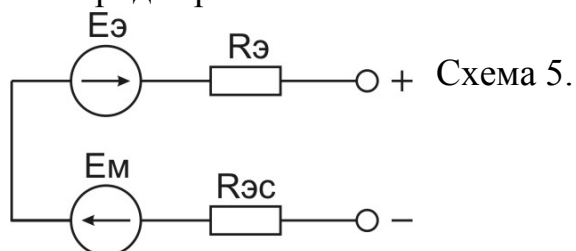


Схема 5.

Следует обратить внимание на направление векторов источников ЭДС $E_{\text{э}}$ и $E_{\text{м}}$ – они имеют одно направление и общий потенциал равен сумме потенциалов электрода сравнения и потенциала металла, при этом потенциал электрода сравнения имеет положительный заряд, а металл ячейки – отрицательный. В алюминиевой ячейке величина общего потенциала составляет приблизительно 800 мВ, в ячейке из нержавеющей стали приблизительно 350 мВ.

В результате схема, изображенная на рис. 4.4.1 РД может выглядеть так:

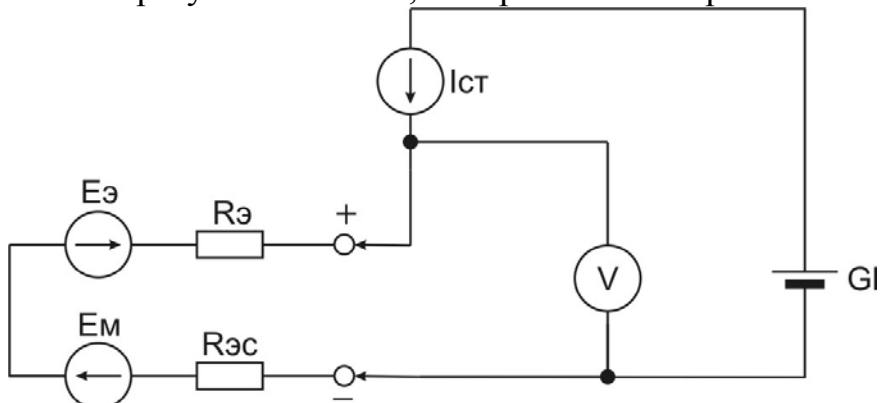


Схема 6.

либо так:

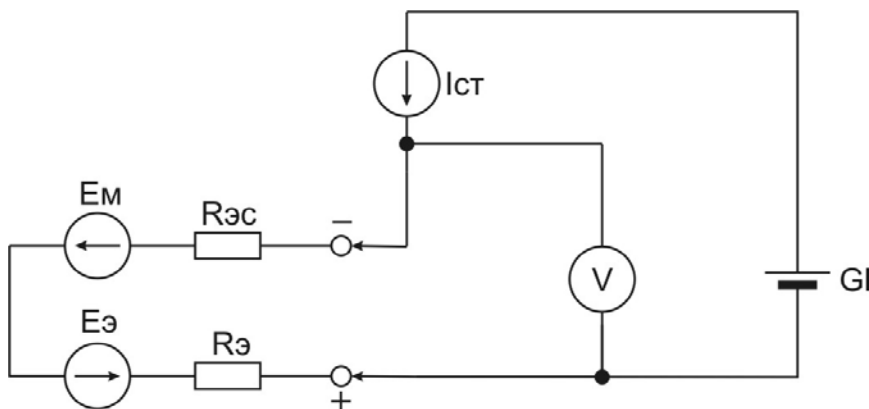


Схема 7.

Не очевидная на первый взгляд разница между схемой 6 и 7 заключается в изменении полярности подключения к мультиметру электрода в ячейке, так как на рис. 4.4.1 РД это не учитывается, то есть мультиметр можно подключить как по схеме 6, так и по схеме 7.

Резонно предположить, что мультиметр будет включен в режим измерения сопротивления и на пределе 20 кОм, поскольку критичной величиной является 15 кОм. Если «переходное сопротивление электрод – влагонасыщенный песок» более этой величины – электрод бракуется, если менее – принимается как годный.

В первом случае (схема 6) на клеммах «+» и «-» присутствует потенциал, превышающий потенциал на разомкнутых клеммах мультиметра даже для ячейки из нержавеющей стали, в результате мультиметр индицирует перегрузку.

Во втором (схема 7) на дисплее мультиметра индицируется отрицательная величина – значение со знаком «-». Возможно, представители технадзора не обращают на это внимание, так как цифровое значение находится в пределах нормы, но, во-первых, данное значение не имеет никакого отношения к измеряемой величине, во-вторых, нет гарантии, что будет выбрана выгодная полярность.

Отсюда вывод – предложенная в РД методика требует изменения.

Между тем в науке и технике широко применяется метод измерения внутреннего сопротивления на переменном токе. Создан целый класс приборов данного типа. К ним относятся Мосты переменного тока, Измерители RLC, Измерители иммитанса, Измерители сопротивления заземления. Кстати во «Временных технических требованиях к электродам сравнения длительного действия для подземных металлических сооружений» Газпрома в «Методике измерения электрического сопротивления электрода сравнения» рекомендовано применение моста переменного тока Е7-11.

Все правильно, перечисленные приборы дают на первый взгляд точные и корректные показания, но вопрос в том, где на практике будут применяться электроды сравнения? Ответ очевиден: в системах ЭХЗ, работающих исключительно на **постоянном** токе, поэтому необходимо измерять внутреннее сопротивление системы электрод – влагонасыщенный песок именно постоянному току, если нас интересует их качество в реальных условиях применения. А разница существенная, напрямую зависящая от частоты измерительного сигнала – чем выше частота, тем меньше импеданс. В данном случае сказывается емкостная составляющая, о которой было сказано в комментариях к схеме 3 и которую уже нельзя не учитывать.

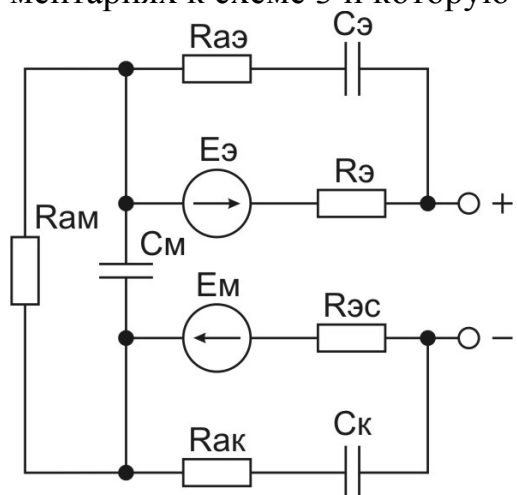


Схема 8.

На схеме:

$R_{аэ}$ – активное сопротивление электролита электрода;
 $C_{э}$ – емкость перехода медный стержень – электролит электрода;

$R_{ак}$ – активное сопротивление электролита кюветы;
 $C_{к}$ – емкость перехода металл кюветы – влагонасыщенный песок;

$R_{ам}$ – активное сопротивление мембраны;

$C_{м}$ – емкость мембраны.

Как видно из схемы, при измерениях на переменном токе сказывается шунтирующее воздействие реактивного сопротивления емкостных составляющих системы электрод сравнения – влагонасыщенный песок. При измерениях на переменном токе частотой 1 кГц, измеренные значения имеют в 3 – 5 раз меньшие значения, относительно измеренных на постоянном токе.

Реализовать способ измерения внутреннего сопротивления электрод сравнения – влагонасыщенный песок постоянному току можно с использованием незаменимого закона Ома и второго правила Кирхгофа. Не вдаваясь в подробности расчета, формула в конечном виде выглядит так:

$$R_{ЭП} = R_H \times (U_O / U - 1)$$

где: $R_{ЭП}$ – внутреннее сопротивление системы электрод сравнения – влагонасыщенный песок;

R_H – сопротивление нагрузки;

U_O – потенциал системы электрод сравнения – влагонасыщенный песок;

U – потенциал системы электрод сравнения – влагонасыщенный песок под нагрузкой.

Величина сопротивления нагрузки выбирается с учетом следующих соображений:

1. Она не должна существенно отличаться от измеряемой величины внутреннего сопротивления системы, так как при большом значении данной величины будут затруднены расчеты, ввиду малой разницы измеренных значений;

2. Не оказывать существенного воздействия на цепь, в которой производятся измерения. Так, при выборе низкого сопротивления нагрузки происходит выход системы из гомеостаза, в дальнейшем требуется время, для ее восстановления.

По субъективной оценке величина сопротивления нагрузки 10 кОм наиболее оптимальна.

Измерение производится следующим образом:

- измеряется и фиксируется значение потенциала системы;
- к системе подключается резистор сопротивлением 10 кОм, измеряется и фиксируется значение потенциала под нагрузкой;
- измеренные значения подставляются в приведенную выше формулу;
- вычисляется значение внутреннего сопротивления постоянному току системы электрод сравнения – влагонасыщенный песок.

В заключение несколько слов о терминах (определениях), применяющихся в п.4.4.10 РД.

По моему убеждению, применяемые термины должны характеризовать суть явления и не противоречить друг другу, тем более в документах уровня РД.

Возьмем цитируемый фрагмент РД.

Второй абзац:

– Перед оборудованием контрольно-измерительных пунктов стационарными медно-сульфатными электродами сравнения необходимо проводить лабораторный предустановочный контроль последних, в процессе которой строительной организацией проверяется *переходное сопротивление «электрод – влагонасыщенный песок»*.

Интересующие нас фразы выделены жирным курсивом.

Четвертый абзац:

– Измерение *переходного электрического сопротивления электродов* производят по схеме, приведенной на рис. 4.4.1.

Седьмой и восьмой абзацы:

– Через 10 ± 1 мин. после установки электродов в кювету измеряют *переходное сопротивление электродов* омметром (например, мультиметром 43313.1). Измерительные проводники от омметра присоединяют к электроду сравнения и кювете.

Переходное сопротивление «электрод – влагонасыщенный песок» должно быть не более 15 кОм...

Текст к рис. 4.4.1:

– Схема измерения *переходного электрического сопротивления электрода сравнения*.

Что измеряется? Переходное сопротивление электрода или переходное сопротивление электрод – влагонасыщенный песок, ведь это далеко не одно и то же. И может быть все-таки «внутреннее электрическое сопротивление системы электрод сравнения - влагонасыщенный песок»? , поскольку термин «Переходное сопротивление» в электротехнике характеризует сопротивление перехода, не затрагивая смежные элементы схемы, например переходное сопротивление контакта реле, или переходное сопротивление паяного соединения и т.п.