

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.

Делитель напряжения.

Рассмотрим цепь, составленную из источника с эдс \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r и внешнего сопротивления R (рис.1).

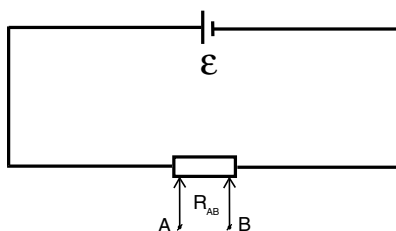


Рис. 1:

В этой цепи будет течь ток

$$\mathcal{I} = \frac{\mathcal{E}}{r + R}. \quad (1)$$

Пусть в двух точках сопротивления R присоединены контакты А и В. Сопротивление участка цепи между ними равно R_{AB} . Тогда между клеммами А и В будет существовать разность потенциалов

$$\mathcal{U}_{AB} = \mathcal{I}_{AB} \quad \text{или} \quad \mathcal{U}_{AB} = \frac{\mathcal{E}}{r + R_{AB}}. \quad (2)$$

Приведенные формулы справедливы, если через оба контакта тока нет или он ничтожно мал.

Описанное устройство называется делителем напряжения или потенциометром.

Если контакты А и В (или один из них) сделаны подвижными, то изменяя сопротивление участка R_{AB} , можно получить на выходе потенциометра любое напряжение, меньшее, чем эдс источника.

Потенциометры широко применяются для регулировки напряжения. Если потенциометр прокалиброван, то есть известны ток \mathcal{I} в цепи делителя и сопротивление R_{AB} между подвижными контактами при любом их положении, то снимаемые с потенциометра напряжения будут точно известны - при желании потенциометр можно отградуировать прямо в вольтах. Такой измерительный потенциометр может использоваться для измерения неизвестных напряжений: неизвестное напряжение сравнивается с известным, снимаемым с потенциометра. Сравнение производится методом компенсации.

Измерительный потенциометр.

Принципиальная схема.

Соединим через индикатор тока (например, нулевой гальванометр) одинаковые полюса выхода делителя напряжения АВ и измеряемой разности потенциалов \mathcal{U}_X (см. рис.2).

В зависимости от того, какая разность потенциалов больше, через индикатор пойдет ток в том или ином направлении.

Перемещая контакты А и В, то есть изменяя величину сопротивления R_{AB} и, следовательно, величину снимаемой с потенциометра разности потенциалов \mathcal{U}_{AB} , мы можем сделать этот ток равным нулю. Условием отсутствия тока через индикатор будет равенство измеряемой разности потенциалов \mathcal{U}_X и напряжения \mathcal{U}_{AB} , снимаемого с потенциометра.

Действительно, предположим, что на участке цепь разорвана. Тогда при выполнении равенства $\mathcal{U}_X = \mathcal{U}_{AB}$ потенциалы точек В и В' одинаковы, следовательно, и при замыкании цепи ток в ней не возникнет. Как говорят, в этом случае измеряемое напряжение скомпенсировано напряжением, снимаемым с делителя.

Существенно, что в момент компенсации (но только в этот момент) ток потенциометра \mathcal{I} не разветвляется. Поэтому разность потенциалов \mathcal{U}_{AB} и равную ей разность потенциалов \mathcal{U}_X можно вычислить по формулам (2).

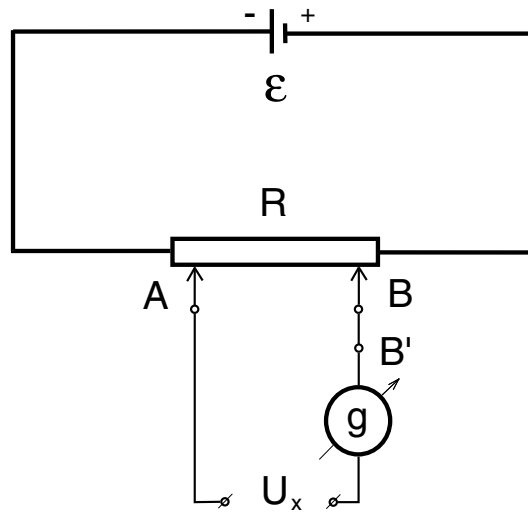


Рис. 2:

Эти результаты нетрудно получить также непосредственно из уравнений Кирхгофа¹. Проделайте это самостоятельно.

Для калибровки потенциометра, как уже говорилось, нужно знать величину сопротивления между подвижными контактами при любом их положении и силу тока в цепи делителя. Ток можно измерить амперметром. Можно также измерить падение напряжения на сопротивлении делителя R или какой либо его части.

Наиболее точный метод калибровки заключается в том, что снимаемым с потенциометра напряжением компенсируют эдс эталонного источника тока (нормального элемента) \mathcal{E}_Δ . Если компенсация произошла при каком-то значении $R_{AB} = R_\Delta$, то $\mathcal{I} = \mathcal{E}_\Delta / R_\Delta$; фактически можно и не вычислять значения \mathcal{I} , а непосредственно воспользоваться пропорциональностью между сопротивлением и снимаемым с него напряжением: если неизвестное напряжение \mathcal{U}_X оказалось скомпенсированным при каком-то $R_{AB} = R_X$, то $\mathcal{U}_X = \mathcal{E}_\Delta \cdot R_X / R_\Delta$.

Применение потенциометра.

Основное назначение потенциометра – измерение напряжений (откуда название). Используя закон Ома, можно применить его для измерения сил токов и сопротивлений.

Как измеритель разности потенциалов потенциометр имеет смысл применять в следующих случаях:

1. Для измерения с большой степенью точности (с малой относительной погрешностью).

Вольтметры прямого отсчета не позволяют измерять напряжение точнее, чем до десятых процента (наиболее точные приборы этого типа делаются класса 0,1). Применение потенциометрического нулевого метода дает возможность значительно превзойти эту точность. Действительно, в качестве индикатора отсутствия тока можно воспользоваться прибором большой чувствительности, а сопротивление и эталон напряжения могут быть изготовлены с высокой степенью точности. Кроме того, при использовании магазинного потенциометра точность отсчета может быть гораздо выше, чем при прямом отсчете даже на очень большой шкале.

2. В качестве вольтметра с малым потреблением тока (практически равным нулю), что эквивалентно вольтметру с очень большим внутренним сопротивлением.

Ток, потребляемый потенциометрической схемой от исследуемой цепи, не превосходит минимального тока, который еще может почувствовать индикатор.

Малое потребление тока бывает необходимо:

а) для производства измерений в цепях с большим сопротивлением, в которых текут малые токи. Подключение к такой цепи вольтметра с большим потреблением тока (то есть малым внутренним сопротивлением) могло бы существенно изменить распределение потенциалов в ней.

б) для измерений электродвижущих сил².

¹ См., например, С.Г.Калашников "Электричество"

² Напомним, что электродвижущей силой источника тока называется величина работы, совершаемой сторонними силами (химическими силами в гальваническом элементе, магнитными в динамомашине и т.п.) при перемещении единичного заряда от одного полюса источника тока до другого. Разделение зарядов в разомкнутом источнике тока будет происходить до тех пор, пока возникшее электрическое поле не уравновесит полностью действие сторонних сил. Равенство сил, очевидно, означает равенство работ, совершаемых ими над единичным зарядом при его перемещении от одного полюса до другого. Отсюда следует, что эдс численно равна разности потенциалов на концах разомкнутого источника тока.

Если через источник протекает ток, то поле сторонних сил не изменяется, а распределение потенциала электрического поля изменяется (например, в химическом элементе появляется падение потенциала в электролите, связанное с наличием сопротивления электролита), и поэтому равенство между эдс с разностью потенциалов на клеммах источника тока нарушается.

Из закона Ома для замкнутой цепи следует, что разность потенциалов между клеммами источника тока равна $\mathcal{U} = i \cdot R_{\text{внеш}} =$

Как измеритель силы тока потенциометр применяется тогда, когда требуется большая точность.

Приборы для измерения силы тока методом прямого отсчета (амперметры), так же как и вольтметры, изготавливаются, в лучшем случае, класса 0,1. Потенциометр допускает измерение со значительно большей точностью, так как измерение силы тока сводится к измерению падения напряжения на эталонном сопротивлении, величина которого может быть известна с большой степенью точности.

Потенциометрический метод измерения сопротивлений может дать такую же точность, как и мостиковый. Хотя он несколько сложнее, чем мостовой метод, он обладает рядом преимуществ.

1. Исключаются ошибки, связанные с сопротивлением соединительных проводов.
2. При измерении удельных сопротивлений и исследовании зависимости сопротивления участка цепи от различных параметров (температура, окружающая атмосфера и т.п.) с применением метода зондов, потенциометрический метод дает возможность исключить влияние сопротивления контактов, роль которых может быть иногда очень велика, в особенности, если приходится измерять сопротивление полупроводников.
3. Допускает возможность измерения сопротивления участка цепи в то время, как эта цепь работает (по сопротивлению идет ток).

Еще одним существенным преимуществом потенциометрического метода измерения электрических величин является то, что нулевой метод и результат измерения не зависят от возможных ошибок градуировки гальванометра.

В зависимости от стоящей задачи потенциометрические схемы могут содержать те или иные детали, соединенные соответствующим образом.

Потенциометр с реохордом.

Наиболее простой способ осуществления потенциометра - потенциометр, в котором в качестве делителя напряжения используется реохорд. Реохорд - длинная проволока, сопротивление любого участка которого строго пропорционально его длине (то есть очень однородная). Для уменьшения размеров реохорда его часто выполняют в виде проволоки, навитой на барабан, или в виде нескольких последовательно соединенных кусков проволоки. Реохорд снабжается шкалой для отсчета длин.

А. Измерение эдс и напряжений, близких к эдс эталонного источника.

Для этой цели можно воспользоваться схемой рис.3.

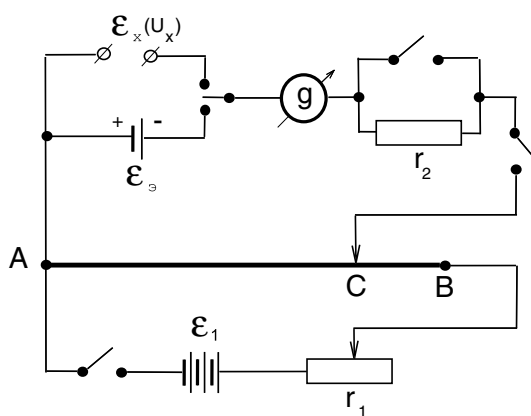


Рис. 3:

AB - реохорд

\mathcal{E}_1 - источник тока, питающего реохорд

$\mathcal{E}_Э$ - эталонная эдс (элемент Вестона)

$\mathcal{E}_X(U_X)$ - измеряемая эдс или напряжение

g - гальванометр

r_1 - реостат, служит для регулировки цены деления реохорда

r_2 - сопротивление порядка 50ком.

$\mathcal{E} - i \cdot R_{\text{внут}}$ или при обратном направлении тока (например, при зарядке аккумуляторов) $U = \mathcal{E} + i \cdot R_{\text{внут}}$

Из этого видно, что эдс равна разности потенциалов на клеммах источника тока только когда *внутри* его ток не идет. Очевидно, что для измерения эдс действительно необходимо пользоваться приборами, не потребляющими тока.

Источник тока, питающий реохорд, берется достаточно большой емкости, чтобы в процессе работы его эдс оставалась постоянной. Для этой цели удобно взять батарею аккумуляторов или элементов большой емкости. Меняя число включенных элементов, можно изменять величину ее эдс.

Регулируя сопротивление r_1 , а также изменяя величину \mathcal{E}_1 , можно добиться компенсации измеряемой или эталонной эдс в любом месте реохорда. Место компенсации можно выбирать исходя из двух соображений:

- а) получение минимальной погрешности при измерениях;
- б) при большом числе измерений, если нет необходимости добиваться особо высокой точности, выбирают удобную цену деления реохорда. При этом, конечно, необходимо обеспечить возможность компенсации любой исследуемой эдс в пределах реохорда.

Сопротивление r_2 в цепи гальванометра служит для предохранения гальванометра и эталона эдс - элемента Вестона от перегрузки при первоначальном подборе места компенсации. Когда место компенсации определено с максимально возможной, при включенном r_2 , точностью (отклонение гальванометра едва заметно), сопротивление r_2 закорачивают и уточняют положение движка, соответствующее отсутствию тока в гальванометре. (Иногда сопротивление r_2 может состоять из нескольких сопротивлений, отличающихся на 1-2 порядка друг от друга и соединенных последовательно. Постепенно уменьшая сопротивление, уточняют место компенсации на реохорде).

Вычисление измеряемого напряжения или эдс \mathcal{E}_X производится по формуле

$$\mathcal{E}_X = \mathcal{E}_\ominus \frac{l_X}{l_\ominus}, \quad (3)$$

где l_X - отсчет по реохорду при компенсации измеряемого напряжения, l_\ominus - то же при компенсации эталонной эдс.

Б. Измерение малых эдс.

а). Если измеряемая эдс много меньше эталонной, то использование схемы рис.3 дает большую ошибку. В этом случае имеет смысл применить схему рис.4. Здесь r_3 - магазин сопротивлений, остальные обозначения см. на рис.3.

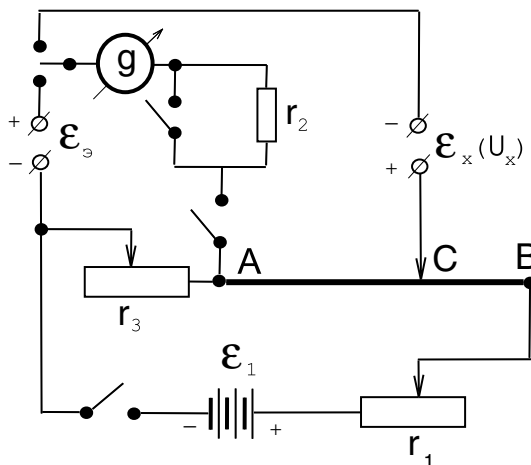


Рис. 4:

Величины сопротивлений r_1 и r_3 подбираются такими, чтобы получилась минимальная погрешность при измерении \mathcal{E}_X , либо исходя из удобства отсчета (получение целочисленной цены деления реохорда в вольтах). Если не требуется предельно допустимая точность для всех измерений, то режим подбирается по наибольшей из измеряемых эдс. Величина измеряемой эдс вычисляется по формуле

$$\mathcal{E}_X = \frac{r_{AC}}{r_3} \mathcal{E}_\ominus = \frac{l_{AC}}{l_{AB}} \frac{r_{AB}}{r_3} \mathcal{E}_\ominus. \quad (4)$$

б). Если при измерении малых эдс или разности потенциалов не требуется большая точность, а только малое потребление тока, то можно применить схему рис.5.

V - вольтметр (остальные обозначения см. рис. 3 и 4).

Величина искомой эдс определяется по формуле

$$\mathcal{E}_X = \frac{l_{AC}}{l_{AB}} \frac{r_{AB}}{r_{AB} + r_3} \mathcal{U}, \quad (5)$$

\mathcal{U} - показания вольтметра V .

Величина r_3 выбирается исходя из условия получения минимума погрешности в величине \mathcal{E}_X или удобства ее вычисления.

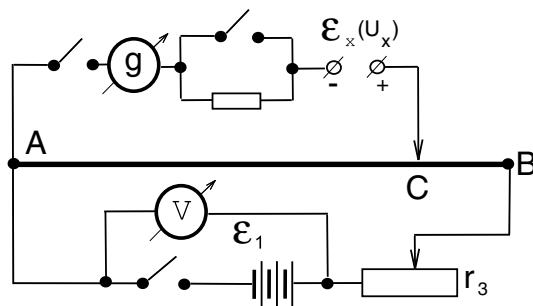


Рис. 5:

В. Измерение больших напряжений.

Для измерения больших напряжений можно воспользоваться схемой рис. 4, поменяв в ней местами эталонное и измеряемое напряжения. При этом надо взять напряжение батареи \mathcal{E}_1 достаточно большим. Можно использовать также схему рис.3, подав измеряемое напряжение на вход делителя напряжения (см. схему рис.1) с таким коэффициентом деления, чтобы напряжение на его выходе измерить потенциометром (см. схему рис.3). Ввиду того, что сопротивление делителя напряжения не равно бесконечности, данная схема принципиально не дает возможности точно измерить эдс, а также вносит искажения в те цепи, в которых измеряют напряжения. Однако ввиду того, что потенциометр может измерять напряжения в цепях с большим выходным сопротивлением, делитель напряжения можно делать весьма высокоомным, так что в ряде случаев эти ошибки могут быть практически устранены.

Г. Измерение тока.

Для измерения тока включают в исследуемую цепь эталонное сопротивление и измеряют с помощью потенциометра падение напряжения на нем.

Сила тока рассчитывается по формуле

$$i = \frac{\mathcal{U}_r}{r}, \quad (6)$$

где r - эталонное сопротивление в исследуемой цепи, а \mathcal{U}_r - падение напряжения на r , измеренное потенциометром.

Величина сопротивления r выбирается такой, чтобы была наименьшей ошибка при измерении падения напряжения на нем, учитывая однако, влияние сопротивления на режим исследуемой цепи.

Для измерения тока можно включить в качестве эталонного сопротивления сам реохорд (величина сопротивления которого должна быть точно известна). Реохорд следует зашунтировать магазином сопротивлений:

- 1) для уменьшения сопротивления такого измерителя тока;
- 2) для возможности регулировки области компенсации на реохорде, с целью получения наименьшей погрешности, удобной цены деления и одновременно предохранение реохорда от больших токов, могущих привести к его перегоранию.

Для указанной цели собирается схема рис.6

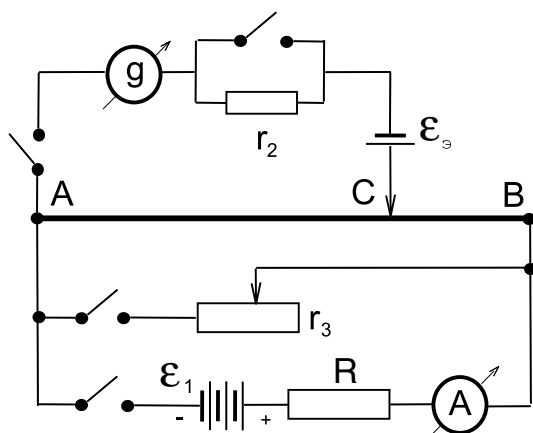


Рис. 6:

R - суммарное сопротивление исследуемой цепи,
 r_2, r_3 - мажорирующие сопротивления.

Величина тока вычисляется по формуле

$$I = \frac{l_{AB}}{l_{AC}} \varepsilon_{\text{Э}} \frac{r_{AB} + r_3}{r_{AB} \cdot r_3}. \quad (7)$$

Выведите эту формулу.

Д. Измерение сопротивлений.

а) Измеряемое сопротивление и эталон включаются последовательно во вспомогательную цепь (см. рис.7). С помощью потенциометра измеряют падение напряжения на каждом из этих сопротивлений. Величина измеряемого сопротивления определяется по формуле

$$r_X = r_{\text{Э}} \frac{U_X}{U_{\text{Э}}}, \quad (8)$$

где r_X - величина измеряемого сопротивления,

$r_{\text{Э}}$ - величина эталонного сопротивления,

U_X - падение напряжения на r_X , измеренное с помощью потенциометра,

$U_{\text{Э}}$ - падение напряжения на эталонном сопротивлении.

В абсолютной калибровке потенциометра по напряжению в этом случае нет необходимости. Вместо напряжений здесь можно пользоваться соответствующими значениями сопротивлений или отрезков реохорда.

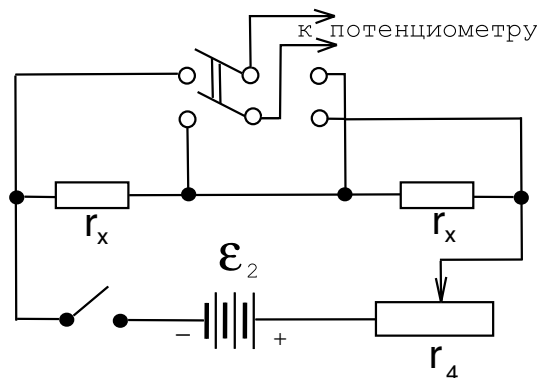


Рис. 7:

Для получения *наименьшей погрешности* регулируют силу тока, как в цепи потенциометра, так и во вспомогательной цепи.

б) Если требуется измерить удельное сопротивление какого-либо проводника, либо надо исследовать зависимость сопротивления участка цепи от некоторых параметров при наличии больших сопротивлений в контактах (например, при наличии зазорных слоев), пользуются методом зондов. Для этого используют схему рис.7, но на потенциометре подают напряжение не со всего сопротивления r_X , а только с его части (см. рис.8).

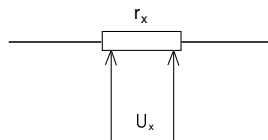


Рис. 8:

в) Иногда при использовании метода зондов не требуется особо высокой точности, а нужно только исключить влияние сопротивления контактов. В этом случае можно измерять ток во вспомогательной цепи (рис.7) не с помощью эталонного сопротивления, а с помощью амперметра.

Величина сопротивления в этом случае вычисляется по формуле

$$R = \frac{U_X}{I}, \quad (9)$$

где U_X - показания потенциометра, I - сила тока через исследуемое сопротивление, измеренное амперметром.

Разные практические замечания.

1. Если требуется точно отрегулировать ток или напряжение с помощью реостата или потенциометра полезно последовательно с реостатом включить реостат на 1-2 порядка меньше или параллельно - на 1-2 порядка больше. Однако во втором случае вспомогательный реостат нельзя выводить больше, чем наполовину, чтобы не перегрузить его.

2. Для определения погрешности при измерении на реохорде добиваются компенсации при приближении движка к положению равновесия то с одной стороны, то с другой. При этом рекомендуется не смотреть на шкалу реохорда, пока не установлено отсутствие тока в гальванометре.

Измеряемое и эталонное напряжения компенсируют по 3-4 раза каждое, причем по очереди - U_{Σ} , U_X , U_{Σ} , U_X , U_{Σ} , U_X и т.д. Этот прием избавляет от промахов и кроме того позволяет исключить систематическую ошибку, связанную с постепенным уменьшением эдс аккумулятора. (Подумайте, как это сделать).

3. Для того, чтобы возможно скорее добиться компенсации, следует пользоваться методом "вилки". Первоначально убеждаются, что при крайних положениях движка указатель индикатора отклоняется в разных направлениях. Записывают, чему соответствует отклонение гальванометра в ту или иную сторону (например, "вправо - много, влево - мало"). Далее перемещают движок на середину реохорда; если отклонение есть, то перемещают движок в середину интервала между последним его положением и одним из предыдущих, в котором отклонение было в обратную сторону, и т.д. Действуя таким образом, находим положение движка реохорда, при котором индикатор не отклоняется. Чтобы убедиться, что отсутствие отклонения индикатора не связано с плохим контактом, очень незначительно сдвигают движок реохорда влево и вправо и проверяют, отклоняется ли при этом индикатор в разные стороны.

4. При поисках места компенсации индикатор отсутствия тока включается только очень кратковременно нажатием кнопки. Как только определено направление отклонения, кнопка отпускается. Думать о том, куда следует передвинуть движок реохорда, следует уже после того, как кнопка отпущена.

Магазинный потенциометр.

С помощью реохорда трудно получить большую точность, так как для этого нужен очень длинный реохорд, а длинную проволоку сложно изготовить однородной. Кроме того, в силу механических причин проволоку реохорда нельзя брать тонкой, благодаря чему сопротивление реохорда всегда бывает малым; это приводит к необходимости пропускать через него довольно большой ток, что не выгодно, так как с одной стороны вызывает нагревание прибора, а с другой - приводит к большому расходу источников питания и нестабильности их эдс. Все вместе является источником ошибок.

Заменить реохорд одним магазином сопротивления нельзя, так как его нельзя разделить в произвольном отношении. Необходимо минимум два магазина; при этом, производя компенсацию, надо все время следить, чтобы общее их сопротивление было постоянным. Промышленностью выпускаются специальные магазинные потенциометры, конструкция которых обеспечивает удобство измерений при большой их точности.

Решение различных задач с помощью магазинного потенциометра смотри в главе, посвященной потенциометру с реохордом.

Высокоомный потенциометр постоянного тока (типа Р307)

Одним из распространенных магазинных потенциометров является потенциометр Р307. Принципиальная схема этого потенциометра изображена на рис.9. Сходную схему имеют также потенциометры Р375, ППТВ1 и потенциометр РАПСa.

На рис.9: B - батарея питания потенциометра, $HЭ$ - нормальный элемент, X_1 и X_2 - измеряемые напряжения, G - гальванометр, K - переключатель, включающий гальванометр либо в цепь нормального элемента, либо в цепь измеряемой эдс X_1 или X_2 ; $r_1 \div r_7$ - сопротивления потенциометра, r_8 и r_9 - защитные сопротивления в цепи гальванометра.

В потенциометре Р307 (а также в других сходных с ним потенциометрах) предусматривается непосредственный отсчет измеряемого напряжения в вольтах. Для этого всегда работают с одним и тем же рабочим током $1,000 \cdot 10^{-4} A$. Рабочий ток устанавливают, изменяя сопротивление r_1 и добиваясь компенсации эдс нормального элемента на участке CO . Предварительно движок "О" на сопротивлении r_7 устанавливают таким образом, чтобы падение напряжения на участке CO при принятом значении рабочего тока равнялось эдс применяемого нормального элемента при температуре опыта (у соответствующих положений щетки "О" указаны эдс нормального элемента, которым они соответствуют). При измерении неизвестного напряжения его компенсируют на потенциометре между точками H и M . При этом перемещение щеток на декадах r_5 и r_7 и одновременное перемещение 2-х щеток на декаде r_3 не влияет на величину тока, текущего через потенциометр. При перемещении щеток на

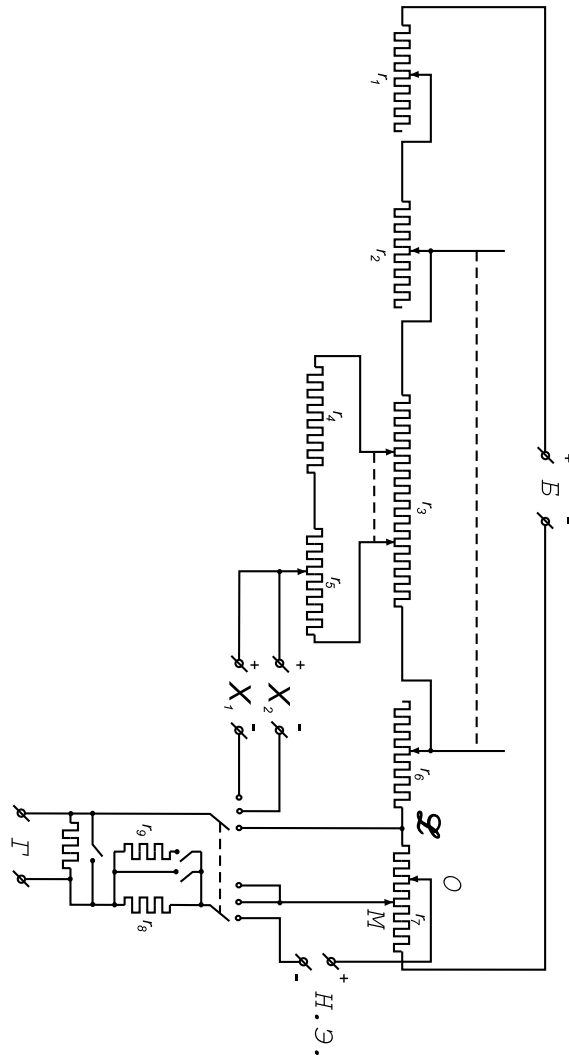


Рис. 9:

трех декадах, входящих в сопротивление r_6 , общее сопротивление изменяется; чтобы исключить последнее обстоятельство, щетки этих декад соединены со щетками трех декад, входящих в сопротивление r_2 , таким образом, что общее сопротивление $r_2 + r_6$ всегда остается постоянным.

Разберитесь детально, как устроен потенциометр, сравнив упрощенную принципиальную схему (рис.9) с подробной (рис.10).

Покажите, что допустимые пределы напряжения батареи, питающей потенциометр - $1,95 \div 3,5$ вольт. Обратите внимание, что для получения достаточной стабильности питания в качестве этой батареи надо брать батарею с достаточной емкостью - не менее 6 ампер-часов.

Обратите внимание на устройство декад регулировки рабочего тока и декад измерительной части цепи. Почему они устроены по-разному?

Докажите, что перемещение щетки на сопротивлении r_5 с одного контакта на соседний приводит к изменению компенсирующего напряжения на 1 мкв.

Вычислите верхний предел измеряемого потенциометром напряжения и цену его деления. Учтите, что для получения даваемой потенциометром точности необходим гальванометр с вольтовой чувствительностью не менее $10 \frac{\text{мм}}{\text{вольт}}$.

Определите допустимые пределы напряжений нормального элемента.

Обратите внимание на устройство сопротивления r_7 , на котором компенсируется измеряемое напряжение и эдс нормального элемента. Вычислите изменение компенсирующего напряжения при перемещении щетки "О" на одно деление.

Выясните, что происходит при нажатии кнопок "430ком", "О" и "успокоение" в цепи гальванометра.

Прежде, чем начать работать с потенциометром, выясните назначение всех ручек, кнопок и переключателей на панели приборов.

Производя установку рабочего тока и измерения сначала добивайтесь компенсации грубо, пользуясь декадами с большим сопротивлением и кратковременно нажимая кнопку "430ком", а окончательной компенсации добивайтесь ручками "точно" или декадами с малым сопротивлением, пользуясь кнопкой "О". Обе кнопки "О" и

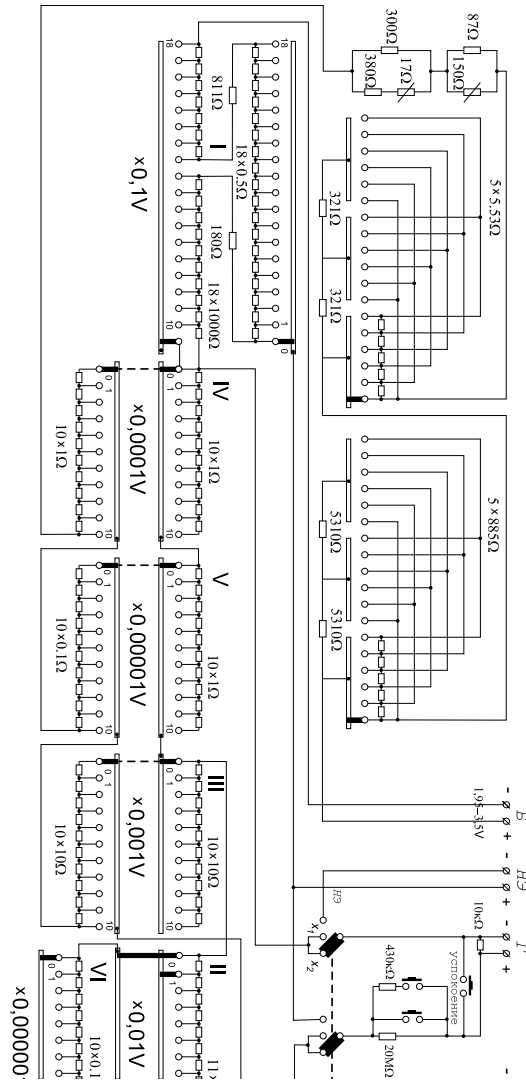


Рис. 10:

"430ком" могут фиксироваться в нижнем положении, но этого никогда не следует делать.

Погрешность измерения на потенциометре при температуре $20 \pm 2^\circ C$ и влажности менее 80% не более величины, вычисленной по формуле

$$\Delta U = \pm(150U + 0,5) \cdot 10^{-6} \text{ Вольт,}$$

где ΔU - абсолютная погрешность в вольтах, а U - показание прибора в вольтах.

Нулевое напряжение прибора не превышает 0,35мкв.

Так как потенциометр весьма высокоомный и потребляет очень малый ток, то можно проверку рабочего тока делать не после каждого измерения, а несколько раз в течение длительной работы.

Для расширения пределов измерения пользуются делителем напряжения.

При измерении сопротивлений калировка рабочего тока не обязательна, следует только следить, чтобы ток потенциометра не был больше 0,1 миллиампера.

Нормальный элемент.

Нормальным элементом служит элемент Вестона (рис.11). Он состоит из стеклянного Н-образного сосуда, в нижние концы которого впаяны проволоки, служащие электродами. В одно из колен этого сосуда налита ртуть, в другое - амальгама кадмия. Над ртутью находится слой пасты. Электролитом служит насыщенный раствор $CdSO_4$. Чтобы раствор всегда был насыщен, в элемент кладут несколько кристаллов $CdSO_4$. Положительным полюсом служит ртуть.

Электродвижущая сила элемента Вестона мало зависит от температуры, поэтому в настоящее время он и принимается за нормальный. При температуре t электродвижущая сила элемента Вестона равна

$$\mathcal{E}_t = [1,0183 - 0,0000406(t^{\circ}C - 20)] \text{ вольт.}$$

От элемента Вестона нельзя брать сильных токов, так как элемент легко поляризуется, и необходимо продолжительное время отдыха для того, чтобы он принял свою нормальную электродвижущую силу. Так, после пятиминутного замыкания накоротко (на сопротивление 0) надо 1,5 часа отдыха, после пятичасового - три недели.

В нашей лаборатории все элементы Вестона смонтированы с защитными сопротивлениями и с кнопками для их закорачивания. Поскольку другие элементы схем не слишком боятся перегрузок, дополнительного защитного сопротивления можно не использовать.

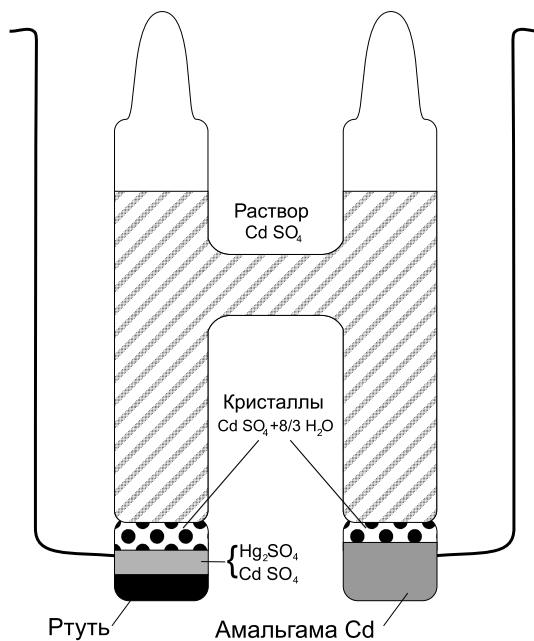


Рис. 11: