## Лабораторная работа 9. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ЦЕПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

*Цели работы*: ознакомление с компенсационным методом измерения на примере электродвижущей силы (ЭДС); приобретение навыков применения правил Кирхгофа для расчета разветвленных цепей.

*Приборы и принадлежности*: стенд для сборки измерительной цепи; источники известной, вспомогательной и измеряемой ЭДС; линейный потенциометр со шкалой (реохорд); микроамперметр с нулем посередине шкалы (нуль-индикатор).

### Методика измерений

Компенсационный метод измерения основан на компенсации измеряемого напряжения (или ЭДС) падением напряжения на известном сопротивлении при прохождении тока от вспомогательного источника. Схема измерения ЭДС компенсационным методом приведена на рис. 9.1.

Вспомогательный источник $G_3$ с ЭДС $E_3$ создает в цепи потенциометра $R_2$ рабочий ток $I_3$. Источник $G_1$ измеряемой ЭДС $E_x$ одноименным полюсом подключен к источнику $G_3$, а другим полюсом – через нуль-индикатор (микроамперметр с нулем в середине шкалы) $PA_1$ и кнопку $SB_1$ – к движку

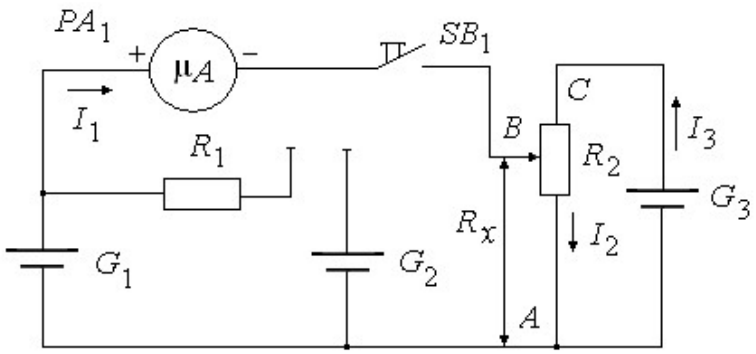


*Рис. 9.1*

потенциометра $R_2$.

При замыкании кнопки $SB_1$ в цепи устанавливаются токи $I_1$, $I_2$, $I_3$. Выберем положительные направления этих токов в соответствии со стрелками на рисунке и применим к рассматриваемой схеме правила

Кирхгофа. Первое правило для узла $A$ дает

$$I_2 - I_3 - I_1 = 0. \qquad (9.1)$$

По второму правилу для контуров $A - G_1 - B - A$ и $A - G_3 - C - B - A$ получим соответственно

$$I_1(r_1 + r_0) + I_2R_x = E_x \qquad (9.2)$$

и

$$I_3r_3 + I_3(R_2 - R_x) + I_2R_x = E_3, \qquad (9.3)$$

где $R_x$ – сопротивление введенного участка потенциометра $R_2$, т. е. между точками $A$ и $B$ (рис. 9.1); $r_1$, $r_3$ и $r_0$ – внутренние сопротивления источников $G_1$ и $G_3$ и микроамперметра $PA_1$ соответственно.

Система уравнений (9.1)–(9.3) полностью определяет все токи в цепи. В частном случае, когда $R_x$ подобрано так, что через микроамперметр тока нет: $I_1 = 0$, из уравнений (9.1)–(9.3) получаем

$$I_2 = I_3 = E_3/(R_2 + r_3), \qquad E_x = I_3R_x\,. \qquad (9.4)$$

Эти соотношения отражают суть метода компенсации: измеряемая ЭДС $E_x$ компенсируется падением напряжения $I_3R_x$, создаваемым на сопротивлении $R_x$ током $I_3$ от вспомогательного источника с ЭДС $E_3$.

Чтобы найти $E_x$, необходимо определить силу рабочего тока $I_3$, протекающего через потенциометр. Для этого вместо измеряемого источника $G_1$ включают источник $G_2$ с известной (эталонной) ЭДС $E_0$ и добиваются ее компенсации ($I_1 = 0$), которая наступает при некотором отличном от $R_x$ сопротивлении $R_0$ введенного участка потенциометра $R_2$. При этом $E_0 = I_3R_0$, откуда, учитывая (9.4), получаем

$$E_x/E_0 = R_x/R_0.$$

Это равенство и лежит в основе изменения ЭДС компенсационным методом. Из него видно, что отношение сравниваемых ЭДС не зависит от внутренних сопротивлений источников и других сопротивлений схемы, а определяется только сопротивлениями участков цепи, к которым подключаются сравниваемые источники.

Для так называемых линейных потенциометров (например, реохордов) отношение $R_x/R_0$ равно отношению соответствующих координат движка

$n_x/n_0$, отсчитываемых по шкале потенциометра

$$E_x = E_0 n_x/n_0. \qquad (9.5)$$

Тогда измерение ЭДС $E_x$ сводится к отсчету по шкале потенциометра показаний $n_0$ при компенсации известной ЭДС $E_0$ и показаний $n_x$ при компенсации известной ЭДС $E_x$ с последующим расчетом по формуле (9.5).

Максимальное значение ЭДС $E_{\max}$, которое можно измерить, определяется наибольшим возможным падением напряжения на введенном участке потенциометра, т. е. при полностью введенном сопротивлении $R_2$ (показание по шкале потенциометра равно $n_{\max}$). Это значение

$$E_{\max} = I_3 R_2 = E_3 R_2/(R_2 + r_3)$$

меньше $E_3$, но поскольку $R_2 >> r_3$, можно считать $E_{\max} \approx E_3$.

**Указания по выполнению наблюдений и обработке результатов**

1. Собрать измерительную цепь и включить установку.

2. Подключить для измерения источник $G_2$ с известной ЭДС $E_0$. Замыкая на короткое время кнопку $SB_1$ и перемещая движок потенциометра, найти такое его положение, при котором ток через микроамперметр равен нулю. Записать показание $n_0$ по шкале потенциометра. Наблюдения выполнить 5 раз.

3. Повторить наблюдения п. 2 с источником $G_1$ неизвестной ЭДС $E_x$.

4. Повторить наблюдения п. 2 с источником $G_1$, включенным последовательно с резистором $R_1$. Показания обозначить $n_x$.

5. Подключить источник $G_1$ ЭДС $E_x$ и, перемещая движок потенциометра, установить значение $I'_1$, отличное от нуля. Записать с учетом знака значение $I'_1$ и соответствующее ему показание $n'$ по шкале потенциометра.

6. Занести в протокол наблюдений указанные на панели установки значения $E_0$ и $R_2$, значение $n_{\max}$, сведения о приборной погрешности реохорда.

7. По результатам наблюдений пп. 2–4 вычислить средние значения и доверительные погрешности величин $n_0$, $n_x$, $n'_x$ и ЭДС $E_x$ и $E'_x$.

Сравнить значения $E_x$ и $E'_x$. Сделать выводы о влиянии на результаты измерений ЭДС сопротивления резистора $R_1$, включаемого последовательно с измеряемым источником.

8 Рассчитать значение $E_{\max}$.

9. По заданным и найденным параметрам электрической цепи и значениям $I'_1$, $n'$ определить внутреннее сопротивление микроамперметра. Для этого составить по правилам Кирхгофа систему уравнений и найти ее решения, полагая $r_1 = r_3 = 0$.

## Контрольные вопросы и задания

1. Почему компенсационный метод является наиболее приемлемым при измерении ЭДС?

2. На чем основаны правила Кирхгофа?

3. Каковы основные источники погрешности при измерении ЭДС методом компенсации?