

РАБОТА 9

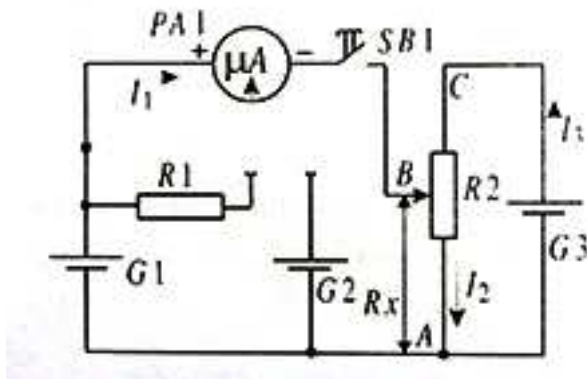
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЁННЫХ ЦЕПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: ознакомление с компенсационным методом измерения на примере электродвижущей силы (ЭДС), приобретение навыков применения правил Кирхгофа для расчёта разветвлённых цепей.

Приборы и принадлежности: стенд для сборки измерительной цепи; источники известной, вспомогательной и измеряемой ЭДС; линейный потенциометр со шкалой (реохорд); микроамперметр с нулём 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 рисунке.



Вспомогательный источник $G3$ с ЭДС E_3 создаёт в цепи потенциометра $R2$ рабочий ток I_3 . Источник $G1$ измеряемой ЭДС E_x одноимённым полюсом подключён к источнику $G3$, а другим полюсом – через нуль-индикатор (микроамперметр с нулём в середине шкалы) $PA1$ и кнопку $SB1$ – к движку потенциометра $R2$.

При замыкании кнопки $SB1$ 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 даёт

$$I_2 - I_3 - I_1 = 0. \quad (4.1)$$

По второму правилу для контуров $A-G1-B-A$ и $A-G3-C-B-A$ получим соответственно

$$I_1(r_1 + r_0) + I_2R_x = E_x \quad (4.2)$$

и

$$I_3r_3 + I_3(R_2 - R_x) + I_2R_x = E_3, \quad (4.3)$$

где R_x – сопротивление введённого участка потенциометра $R2$, т. е. между точками A и B (рисунок); r_1 , r_3 и r_0 – внутренние сопротивления источников $G1$ и $G3$ и микроамперметра $PA1$ соответственно. Система уравнений (4.1), (4.2), (4.3) полностью определяет все токи в цепи.

В частном случае, когда R_x подобрано так, что через микроамперметр тока нет: $I_1 = 0$, из уравнений (4.1), (4.2), (4.3) получаем

$$I_2 = I_3 = E_3 / (R_2 + r_3) \text{ и } E_x = I_3 R_x. \quad (4.4)$$

Эти соотношения отражают суть метода компенсации: измеряемая ЭДС E_x компенсируется падением напряжения $I_3 R_x$, 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 $G1$ включают источник $G2$ с известной (эталонной) ЭДС E_0 и добиваются её компенсации ($I_1 = 0$), которая наступает при некотором отличном от R_x сопротивлении R_0 введённого участка потенциометра $R2$. При этом $E_0 = I_3 R_0$, откуда, учитывая (4.4), 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, тогда

$$E_x = E_0 n_x/n_0. \quad (4.5)$$

Таким образом, измерение ЭДС E_x сводится к отсчёту по шкале потенциометра показаний n_0 при компенсации известной ЭДС E_0 и показаний n_x при компенсации известной ЭДС E_x с последующим расчётом по формуле (4.5).

Максимальное значение ЭДС E_{max} , которое можно измерить, определяется наибольшим возможным падением напряжения на введённом участке потенциометра, т. е. при полностью введённом сопротивлении $R2$ (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 $R_2 \gg r_3$, 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 $G2$ с известной ЭДС E_0 . Замыкая на короткое время кнопку $SB1$ 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 $G1$ неизвестной ЭДС E_x .
4. Повторить наблюдения п.2 с источником $G1$, включённым последовательно с резистором $R1$. Показания обозначить n_x .
5. Подключить источник $G1$ ЭДС E_x и, перемещая движок потенциометра, установить значение I_1' , отличное от нуля. Записать с учётом 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 $R2$, значение n_{max} , сведения о приборной погрешности реохорда.
7. По результатам наблюдений пп.2,3,4 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 $R1$, 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 её 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?

Литература

Калашников С.Г. Электричество. – М., Наука, 1985.

Савельев И.В. Курс общей физики. – М., Наука, 1982, т.2.