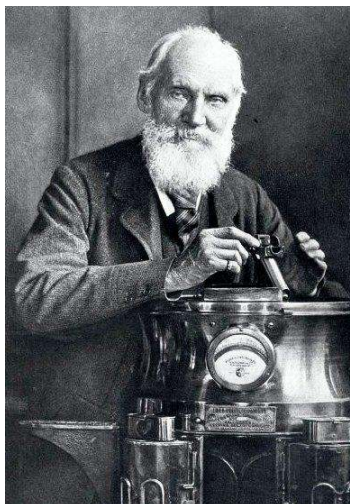


Условие

Задание 1. Как Уильям Томсон стал лордом Кельвином

Задание состоит из 4 логично связанных между собой задач.



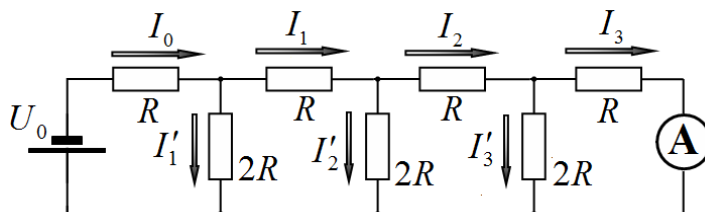
Уильям Томсон (1824 – 1907) – британский физик и инженер, известен своими работами в области механики, термодинамики, электродинамики. За необыкновенные заслуги Томсона в науке 1866 году Томсон был посвящён в рыцарское достоинство. В 1892 году королева Виктория пожаловала Томсону наследственное пэрство. Вследствие этого известный уже как «лорд Кельвин» стал первым британским учёным, получившим право заседать в палате лордов. Одной из самых существенных заслуг Уильяма Томсона являлось разработка теории и усовершенствование трансатлантического кабеля.*

Данное задание касается изучения некоторых теоретических проблем, связанных с распространением электрического тока по длинному проводящему кабелю с неидеальной изоляцией.

Может и вам удастся получить дворянский титул?

Задача 1.

На рисунке показана электрическая цепь, состоящая из источника постоянного напряжения U_0 и семи резисторов, сопротивления которых указаны на рисунке. Сопротивление амперметра пренебрежимо мало.



1.1 Рассчитайте значения сил токов через все резисторы, считая силу тока I_3 через амперметр известной.

Используйте обозначения сил токов, приведенные на рисунке.

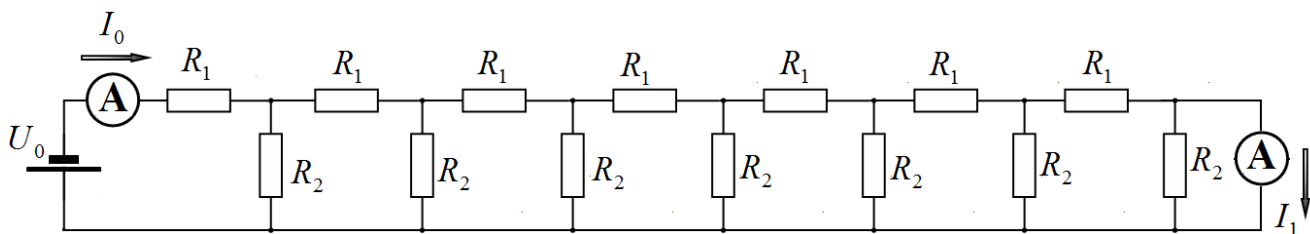
*Подсказка. Расчет таких цепей удобно начинать с крайних элементов. Чтобы облегчить Ваши расчеты, в Листе ответов приведена Таблица 1. Заполнять эту таблицу следует слева направо и сверху вниз. Пунктиром выделены участки цепи, сопротивления которых обозначены $R_{x3}, R_{x2}, R_{x1}, R_{x0}$ (R_{x0} - конечно, сопротивление всей цепи). Удобно каждое *следующее* из этих сопротивлений выразить через предыдущее.

Приведите в Таблице 1 формулы для расчета этих сопротивлений, рассчитайте их значения, выраженные через величину R . Все коэффициенты должны быть записаны в виде обыкновенных дробей. Запишите в соответствующих ячейках Таблицы 1 расчетные формулы для сил токов и их значения, выраженных через I_3 .

1.2 Выразите значения сил токов I_0 и I_3 через напряжение источника U_0 и сопротивление R .

1.3 Рассчитайте численные отношений сил токов $\frac{I_1}{I_0}$ и $\frac{I_2}{I_1}$.

Задача 2.

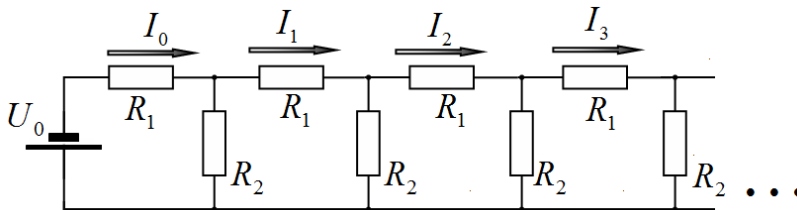


В цепи, показанной на рисунке сопротивления $R_1 = 1,0$ Ом, а сопротивления $R_2 = 1,0$ кОм. Напряжение источника $U_0 = 7,0$ В. Амперметры идеальные.

2.1 Рассчитайте значения сил токов I_0 и I_1 . 2.2 Рассчитайте разность сил токов $\Delta I = (I_0 - I_1)$

Подсказка. Нет необходимости решать эту задачу абсолютно точно. Посмотрите внимательно на заданные значения сопротивлений и проведите расчет с необходимым числом значащих цифр.

Задача 3.



Бесконечная цепочка, состоящая из одинаковых звеньев, подключена к источнику постоянного напряжения U_0 .

Пусть в бесконечной цепочке сопротивления резисторов равны $R_1 = R_0$, $R_2 = 2R_0$.

3.1 Найдите полное сопротивление цепи. 3.2 Покажите, что силы токов $I_0, I_1, I_2, \dots$ образуют геометрическую прогрессию. Найдите отношение сил токов $\frac{I_1}{I_0}$. 3.3 Получите формулу, позволяющую рассчитать значения всех сил токов I_k ($k = 0, 1, 2, \dots$) через заданные значения U_0 и R_0 .

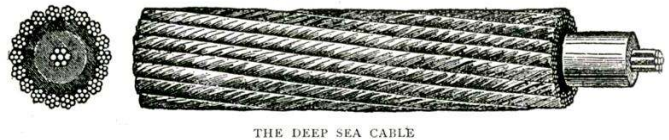
Подсказка. Если от бесконечности отнять единицу, то получится та же бесконечность.

Пусть в бесконечной цепочке, показанной на рисунке, сопротивления R_2 в несколько тысяч раз больше сопротивлений R_1 , что позволяет делать разумные приближения при расчетах.

3.4 Получите формулу для общего сопротивления всей цепочки, при условии $R_2 \gg R_1$. 3.5 Получите формулу для расчета силы тока в произвольном звене I_k ($k = 0, 1, 2, \dots$) через заданные значения U_0, R_1, R_2

Задача 4

Телеграфный кабель, который изучал У. Томсон, имел достаточно сложную структуру (см. рисунок): медная жила, резиновая изоляция, бронева защита.



Для расчетов существенно: - диаметр медной жилы $d_0 = 20$ мм (удельное сопротивление меди $\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м); - толщина слоя резиновой изоляции $h = 10$ мм (удельное сопротивление резины считайте равным $\rho_2 = 1,7 \cdot 10^{10}$ Ом·м). - длина кабеля $L = 5000$ км.

Кабель проложен по дну Атлантического океана, поэтому можно считать, что внешний слой изоляции контактирует с хорошо проводящей электрический ток морской водой. Не смотря, на высокое удельное сопротивление изоляции электрический ток частично проходит через изоляционный слой и уходит в океанскую воду.

4.1 Рассчитайте электрическое сопротивление R_1 десяти километров ($\Delta l = 10$ км) медной жилы кабеля. Рассчитайте полное сопротивление медной жилы кабеля. 4.2 Рассчитайте (приблизенно, но с хорошей точностью) электрическое сопротивление R_2 десяти километров изоляции кабеля. Рассчитайте полное сопротивление изоляции. Учтите направление тока в изоляции. 4.3 Предложите приближенную эквивалентную электрическую схему подводного телеграфного кабеля, описывающую протекание электрических токов в кабеле. 4.4 Рассчитайте отношение силы тока на выходе из кабеля I_1 к силе тока на его входе I_0 .