

Нелинейные элементы в электрических цепях

В. МОЖАЕВ

НАИБОЛЬШИЕ ТРУДНОСТИ ДЛЯ АБИТУРИЕНТОВ ПРЕДСТАВЛЯЮТ ЗАДАЧИ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ, В КОТОРЫХ ПРИСУТСТВУЮТ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. К НИМ ОТНОСЯТСЯ ТАКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, У КОТОРЫХ ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА – ЗАВИСИМОСТЬ ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ НИХ ТОКА I ОТ НАПРЯЖЕНИЯ НА НИХ U – НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПРЯМОЙ, ПРОХОДЯЩЕЙ ЧЕРЕЗ НАЧАЛО КООРДИНАТ.

Типичным примером нелинейного элемента, который наиболее часто встречается в задачах, является идеальный диод. Когда к нему приложено запирающее напряжение любой величины, но большей нуля, говорят, что диод закрыт и ток через него не идет. В этом случае сопротивление диода бесконечно велико – ситуация эквивалентна разрыву цепи. В прямом направлении сопротивление диода равно нулю, и он не оказывает никакого влияния на протекающий через него ток.

К нелинейным элементам относятся также резисторы, у которых сопротивление зависит от величины протекающего через них тока. Например, спираль лампочки накаливания: по мере увеличения тока, протекающего через спираль, растет ее температура, а вместе с ней растет и сопротивление. Нелинейными элементами являются и устройства, в которых происходит газовый разряд, например газонаполненные трубки, тиратроны и другие радиотехнические устройства.

А теперь перейдем к рассмотрению конкретных электрических цепей, в которых присутствуют нелинейные элементы.

Задача 1. На рисунке 1 показана вольт-амперная характеристика некоторого нелинейного элемента. До напряжения $U_0 = 100$ В ток через элемент отсутствует, а затем линейно растет с напряжением. При подключении такого элемента к батарее с постоянной ЭДС и внутренним сопротивлением $r = 25$ кОм через элемент течет

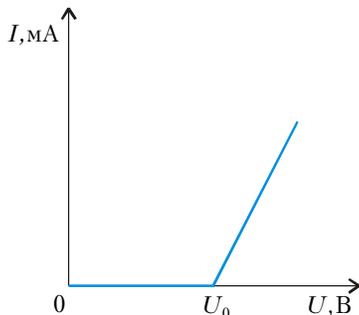


Рис. 1

ток $I_1 = 2$ мА, а при подключении его к той же батарее через балластный резистор с сопротивлением $R = r$ течет ток $I_2 = 1$ мА. Определите ЭДС батареи.

Выразим в аналитическом виде приведенную на рисунке 1 зависимость тока от напряжения: при $0 < U < U_0$

$I = 0$, а при $U > U_0$ $I = \alpha(U - U_0)$, где $\alpha = \Delta I / \Delta U$ – постоянная величина для данной прямой.

Запишем закон Ома для замкнутой цепи, когда нелинейный элемент подключен непосредственно к батарее:

$$E = I_1 r + \frac{I_1}{\alpha} + U_0,$$

где E – ЭДС батареи. Аналогичное уравнение для второго подключения будет иметь вид

$$E = 2I_2 r + \frac{I_2}{\alpha} + U_0.$$

Решая систему этих двух уравнений относительно E , получим

$$E = U_0 + \frac{I_1 I_2 r}{I_1 - I_2} = 150 \text{ В}.$$

Задача 2. В одно из плеч моста (рис. 2) включено нелинейное сопротивление X , для которого зависимость силы тока I от приложенного напряжения U_X задается формулой $I_X = \alpha U_X^3$, где $\alpha = 0,25$ А/В³. Найдите мощность, расходуемую в нелинейном проводнике в условиях, когда ток через гальванометр Γ отсутствует. Сопротивления остальных плеч моста таковы: $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом и $R_3 = 1$ Ом.

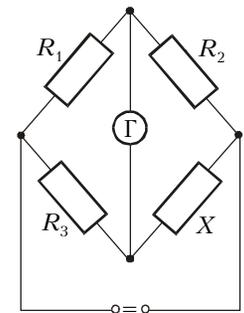


Рис. 2

Обозначим ЭДС источника, подключенного к мосту, через E . Очевидно, что падение напряжения U_2 на резисторе сопротивлением R_2 равно

$$U_2 = \frac{ER_2}{R_1 + R_2}.$$

Поскольку мост сбалансирован (ток через гальванометр не течет), напряжение на нелинейном резисторе X равно падению напряжения на сопротивлении R_2 :

$$U_X = U_2 = \frac{ER_2}{R_1 + R_2},$$

а падение напряжения на сопротивлении R_3 равно падению напряжения на сопротивлении R_1 :

$$U_3 = U_1 = \frac{ER_1}{R_1 + R_2}.$$

Ток I_X через нижнюю ветвь моста равен

$$I_X = \frac{U_3}{R_3} = \frac{ER_1}{(R_1 + R_2)R_3}.$$

Используя связь между током I_X и напряжением U_X на нелинейном сопротивлении:

$$\frac{ER_1}{(R_1 + R_2)R_3} = \alpha \frac{E^3 R_2^3}{(R_1 + R_2)^3},$$

найдем ЭДС источника:

$$E = \sqrt{\frac{R_1 (R_1 + R_2)^2}{\alpha R_2^3 R_3}}.$$

Мощность, выделяемая в нелинейном проводнике, равна

$$P_X = I_X U_X = \alpha U_X^4 = \alpha \left(\frac{ER_2}{R_1 + R_2} \right)^4.$$

Подставляя в это соотношение выражение для E , оконча-