болы, описываемой уравнением

$$U = a + \frac{b}{I}.$$

Очевидно, что дуговой разряд возникнет при размыкании рубильника в том случае, если нагрузочная прямая будет пересекаться с вольт-амперной характеристикой разряда. Максимальное значение сопротивления R, при котором дуговой разряд еще может возникнуть, соответствует такому случаю, когда нагрузочная прямая касается вольт-амперной характеристики разряда. Такая ситуация изображена на рисунке 6 – нагрузочная прямая *1* касается вольт-амперной характеристики разряда *2*. Для этой нагрузочной прямой при $U = 0$ $I = 5$ А; следовательно, сопротивление резистора $R = \mathcal{E}/I = 20$ Ом. Таким образом, мы получили, что при сопротивлениях $R \le 20$ Ом возникает дуговой разряд.

Разобранный графический способ решения обладает определенной погрешностью, поэтому для более точного определения верхней границы сопротивлений проведем аналитический расчет. Полагая, что дуговой разряд возник, запишем закон Ома для нашей цепи:

$$\mathcal{E} = IR + a + \frac{b}{I}.$$

После приведения к общему знаменателю и подстановки числовых значений получим квадратное уравнение для тока:

$$RI^2 - 90I + b = 0,$$

откуда

$$I = \frac{45 \pm \sqrt{45^2 - 100R}}{R}.$$

Поскольку нас интересует случай, когда мы имеем единственное значение тока в точке касания нагрузочной прямой и вольт-амперной характеристики разряда, то в приведенном решении подкоренное выражение должно быть равно нулю. Отсюда получаем $R = 20{,}25$ Ом. Значит, дуговой разряд в случае размыкания рубильника может возникнуть при сопротивлениях

$$0 \le R \le 20{,}25 \text{ Ом}.$$

Теперь разберем случай, когда сопротивление резистора равно 8 Ом. Нагрузочная прямая для этого случая изображена на рисунке 6 в виде прямой *3*. Как видно из рисунка, прямая *3* пересекает вольт-амперную характеристику разряда в двух точках, т.е. мы имеем два решения. Для нахождения этих двух значений тока запишем закон Ома в виде

$$\mathcal{E} = 8I + a + \frac{b}{I},$$

или, после приведения к общему знаменателю и подстановки числовых значений,

$$8I^2 - 90I + 100 = 0.$$

Это уравнение имеет два решения: $I_1 = 1{,}25$ А и $I_2 = 10$ А. Дуговой разряд при токе $I_1 = 1{,}25$ А ($U = 90$ В) оказывается неустойчивым. Следовательно, в цепи установится ток

$$I_2 = 10 \text{ А}.$$

Задача 5. *В схеме, представленной на рисунке 7, ключ K замыкают на время τ, а затем размыкают. В момент размыкания ключа ток в катушке равен I_0. Через какое время после размыкания ключа ток в катушке достигнет максимального значения, которое равно $2I_0$? Постройте график зависимости тока в катушке от времени, начиная с момента замыкания ключа. Омическим сопротивлением в данной схеме пренебречь.*

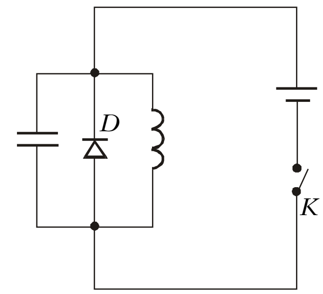

Рис. 7

После замыкания ключа конденсатор сразу зарядится до напряжения, равного ЭДС батареи $\mathcal{E}$, а в катушке ток будет нарастать по линейному закону

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{L}t,$$

где L – индуктивность катушки. В момент размыкания ключа мы будем иметь колебательный контур с такими начальными условиями: напряжение на конденсаторе $U_C(0) = \mathcal{E}$, ток в катушке $I_L(0) = I(\tau) = \mathcal{E}\tau/L = I_0$ (рис.8). Отсчет времени ($t = 0$) начинается с момента размыкания ключа, диод при этом закрыт. Уравнение для тока в данном колебательном контуре будет иметь вид

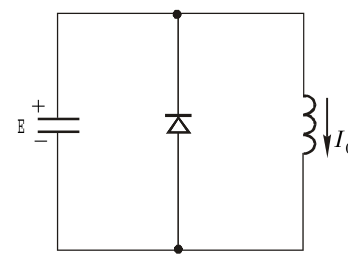

Рис. 8

$$I_L'' + \omega_0^2 I_L = 0,$$

где $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ – частота собственных колебаний контура, C – емкость конденсатора. Решение уравнения ищем в виде

$$I_L = A\cos\omega_0 t + B\sin\omega_0 t,$$

где A и B – константы. Из условия, что при $t = 0$ $I_L = I_0$, получаем $A = I_0$. Для нахождения константы B запишем уравнение контура в другом виде:

$$L\frac{dI_L}{dt} = U_C.$$

Подставив в это уравнение наше решение и положив $t = 0$, получим $B = \mathcal{E}/(L\omega_0)$. Для выражения B через заданные параметры запишем закон сохранения энергии в контуре для $t = 0$ и $t = t_1$, когда ток достигает максимального значения $2I_0$:

$$\frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{LI_0^2}{2} = \frac{4LI_0^2}{2}.$$

Отсюда

$$C\mathcal{E}^2 = 3LI_0^2, \text{ и } B = \frac{\mathcal{E}}{L\omega_0} = \sqrt{3}I_0.$$

Следовательно, зависимость тока в контуре от времени будет иметь вид

$$I_L(t) = I_0\cos\omega_0 t + \sqrt{3}I_0\sin\omega_0 t.$$

При достижении максимального значения тока $dI_L(t_1)/dt = 0$. Из этого условия следует

$$\operatorname{tg}(\omega_0 t_1) = \sqrt{3}, \quad \omega_0 t_1 = \frac{\pi}{3},$$

$$t_1 = \frac{\pi}{3\omega_0} = \frac{\pi\tau}{\sqrt{3}}.$$

В момент t_1, когда ток достигнет максимального значения, диод будет открыт, и ток начнет циркулировать по контуру катушка – диод с постоянным значением $I_L = 2I_0$.

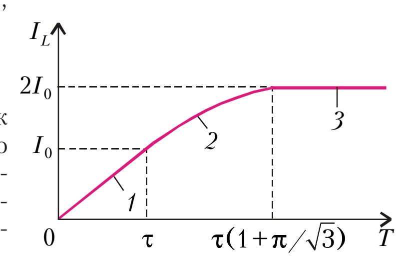

Рис. 9