

139 Борьба с пиком перенапряжения

Полностью избавиться от пика обратного напряжения можно, если параллельно катушке подключить полупроводниковый диод VD так, чтобы обеспечить путь току после размыкания контактов S (рис. 1). При этом обратное напряжение катушки не превышает напряжения на открытом $p-n$ переходе (для кремниевых диодов около 1 В), а постоянная времени спада тока $\tau = L/r$. На рисунке 1 показаны слева осциллограммы тока и напряжения с диодом, а справа – без него.

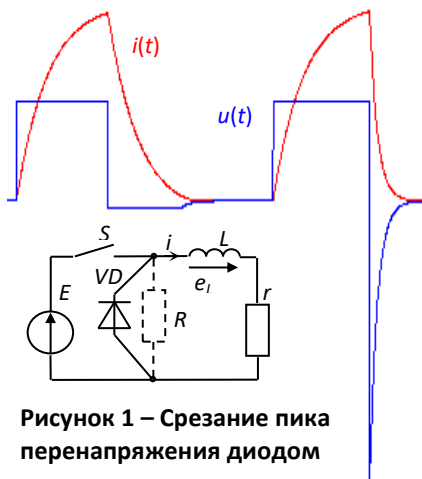


Рисунок 1 – Срезание пика перенапряжения диодом

Сглаживание пика перенапряжения с помощью RC -цепочки

При обрыве тока в индуктивности L (рис. 2) конденсатор C , перезаряжаясь, поглощает часть накопленной в ней энергии, а затем, разряжаясь, отдаёт эту энергию резистору R , рассеивая в виде тепла. По 2 правилу Кирхгофа

$$u_C + e_L = (r + R) i \quad (1)$$

Учтём что $e_L = -L di/dt$, а $i = -C du/dt$, после и преобразований получим

$$d^2 u_C / dt^2 + [(r + R) / L] du_C / dt + u_C / (LC) = 0 \quad (2)$$

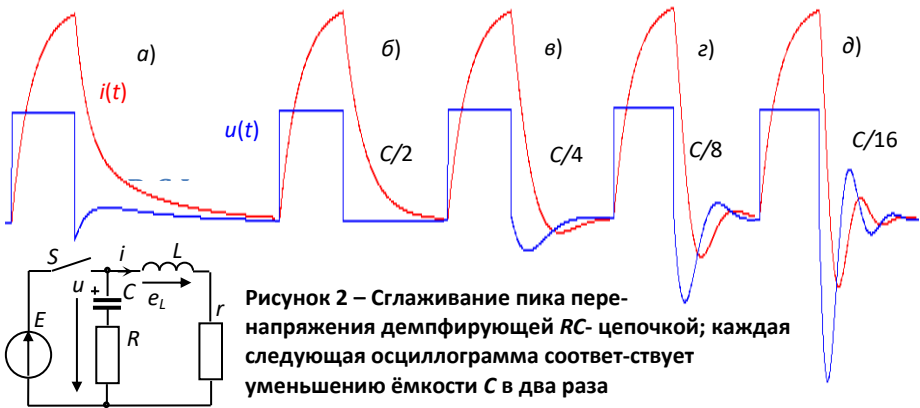
Так как в цепи присутствуют два накопителя энергии, то процесс описывается дифференциальным уравнением второго порядка. Характеристическое уравнение

$$p^2 + [(r + R) / L] p + 1 / (LC) = 0 \quad (3)$$

При решении характеристического уравнения получаем два корня

$$p_{1,2} = -(r + R) / 2L \pm \sqrt{(r + R)^2 / 4L^2 - 1 / LC} \quad (4)$$

На осциллограммах рисунка 2 показаны графики изменения токов и напряжений при коммутации реле для случая, когда разрядный резистор R равен сопротивлению обмотки реле r , а ёмкость конденсатора C уменьшается в два раза при переходе к каждой следующей осциллограмме. Рассмотрим, как зависит характер переходного процесса от вида корней.



На осциллограммах 2а видно, что ёмкость конденсатора C слишком велика, и он, разряжаясь на индуктивность, затягивает процесс спадания тока. Это аperiодический режим; решениями характеристического уравнения являются два разных действительных корня (обязательно отрицательных, так как процесс затухает). Свободные составляющие тока и/или напряжения представляют собой сумму двух экспонент с разными показателями, вида

$$A_1 e^{p_1 t} \pm A_2 e^{p_2 t} \quad (5)$$

Осциллограммы 2б соответствуют критическому режиму, когда сопротивление равно $2\sqrt{L/C}$, характеристическое уравнение имеет один действительный корень, в нашем случае $p = -(r + R) / 2L$. Выражение вида $\Sigma R / 2L$ называют коэффициентом затухания и обозначают буквой α , таким образом $p = -\alpha$.

Свободные составляющие тока и/или напряжения представляют собой экспоненты вида $(A_1 \pm A_2 t) e^{-\alpha t}$.

Осциллограммы 2в,г,д представляют собой затухающие синусоиды вида

$$Ae^{-\alpha t}\sin(\omega t+\psi) \quad (6)$$

Эти синусоиды получаются при сложении экспонент с комплексно сопряжёнными показателями

$$p_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} = -\alpha \pm j\omega \quad (7)$$

в соответствии с формулами Эйлера и описывают колебания энергии между ёмкостью C и индуктивностью L ; затухание колебаний α определяется действительной частью комплексно-сопряжённых корней характеристического уравнения, а частота колебаний ω – мнимой. С уменьшением ёмкости C пик обратного напряжения возрастает, а главное, появляется явно выраженная волна тока прямого направления (рис 2д), которая может привести, например, к дребезгу контактов в момент выключения реле.