

85 Резонанс напряжений

Резонанс напряжений возникает в цепи с последовательным соединением катушки индуктивности L и конденсатора C и проявляется в резком увеличении силы тока, а также напряжений на элементах. Сверхток может пережечь провода и контакты, а перенапряжения пробить изоляцию катушки и конденсатора.

Резонансная частота контура $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, с^{-1} , $f_0 = \omega_0/2\pi$, Гц.

Ро $\rho = \sqrt{L/C}$, Ом, называется волновым сопротивлением контура.

Добротность контура $Q = \rho / R$ показывает во сколько раз резонансные индуктивные и емкостные напряжения больше чем входное.

Простейшая электрическая цепь, в которой может возникнуть резонанс напряжений, состоит из последовательно соединенных конденсатора и индуктивной катушки (рис. 10.6).

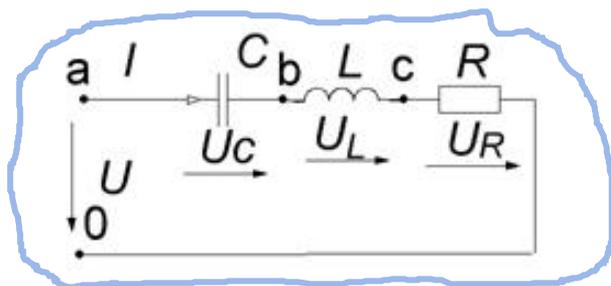


Рис. 10.6. Цепь последовательного соединения R, L, C

Подключив колебательный контур к внешнему источнику, ЭДС которого изменяется по синусоидальному закону, можно возбудить вынужденные электрические колебания в цепи. При приближении частоты внешней ЭДС к частоте собственных колебаний колебательного контура резко возрастают амплитуды вынужденных колебаний тока и напряжений – в цепи возникает электрический резонанс.

Условие резонанса вытекает из определения резонанса. Так как для рассматриваемой цепи полное сопротивление

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

то для условия резонанса необходимо иметь реактивное сопротивление, равное нулю, т. е.

$$X = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0,$$

из чего следует, что условием резонанса напряжений является равенство индуктивного и емкостного сопротивлений:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}. \quad (10.8)$$

При равенстве индуктивного и емкостного сопротивлений полное сопротивление становится равным активному сопротивлению: $Z = R$, т. е. принимает минимальное из всех возможных значение, что приведет к максимальному значению тока. Ток в режиме резонанса будет ограничиваться только активным сопротивлением:

$$I_{\text{рез}} = \frac{U}{R}.$$

Напряжения на индуктивном и емкостном элементах будут равны, но противоположны по фазе, причем эти напряжения могут достигать достаточно больших значений (при малом активном сопротивлении цепей) и превышать напряжение источника, поэтому резонанс в рассматриваемой цепи носит название *резонанса напряжений*. Ток и напряжение на входе цепи совпадают по фазе (рис. 10.7), $\varphi = 0$, а $\cos \varphi = 1$.

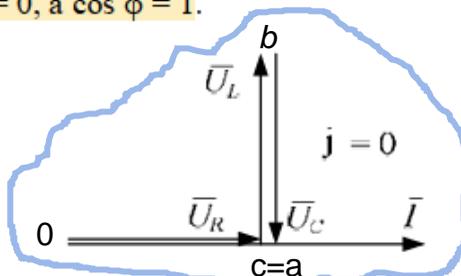


Рис. 10.7. Векторная диаграмма при резонансе напряжений

Из условия резонанса напряжений можно определить угловую частоту ω_0 , при которой наступает резонанс при неизменных параметрах L и C , $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$, откуда

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Угловая частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ есть частота собственных колебаний последовательного колебательного контура. Следовательно, можно получить резонанс напряжения, изменяя частоту вынужденных колебаний, т. е. частоту источника ЭДС, либо изменяя параметры колебательного контура L и C .

Перенапряжения на элементах электрической цепи при резонансе возможны, когда активное сопротивление R меньше индуктивного: $R < \omega L$, а следовательно, и емкостного: $R < \frac{1}{\omega C}$. Поскольку при резонансе напряжение источника $U = IR$, то при выше принятых условиях

$$U = IR < U_L = I\omega_0 L; \quad (10.9)$$

$$U = IR < U_C = I \frac{1}{\omega_0 C}. \quad (10.10)$$

Подставив в неравенства (10.9) и (10.10) $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, получим одно общее условие возникновения повышенных напряжений:

$$R < \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (10.11)$$

Величина $\sqrt{\frac{L}{C}}$ имеет размерность сопротивления, она именуется характеристическим или волновым сопротивлением колебательного контура и обозначается ρ .

Отношение волнового сопротивления к активному сопротивлению колебательного контура характеризует важные резонансные свойства контура и называется *добротностью контура*:

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{\sqrt{L}}{R \sqrt{C}}.$$

Добротность контура показывает, во сколько раз резонансные индуктивные и емкостные напряжения больше входного напряжения.

Подбор параметров цепи с целью получить в цепи резонанс называют *настройкой цепи в резонанс*.

При резонансе ω , L и C связаны соотношением, вытекающим из условия резонанса напряжений (10.8): $\omega^2 LC = 1$. Таким образом, настройку цепи в резонанс можно осуществить по-разному. Например, меняя угловую частоту ω источника энергии при неизменных L и C , меняя индуктивность L при неизменных ω и C , меняя емкость C при неизменных ω и L и т. д.

Так как при резонансе напряжения U_C и U_L равны по величине и находятся в противофазе, то в любой момент времени равны по величине и противоположны по знаку мгновенные мощности на элементах L и C , т. е.

$$p_L = -p_C.$$

Поэтому накопление энергии магнитного поля происходит только за счет энергии электрического поля, и наоборот. Вся энергия, получаемая цепью от генератора, преобразуется в теплоту в активном сопротивлении.