

вынужденные колебания, возбуждаемые сторонним источником — гармонической эдс $\sim E_0 \cos pt$ с амплитудой E_0 и частотой p — в колебательной контуре (рис. 1, а). Амплитуда x и фаза φ вынужденных колеба-

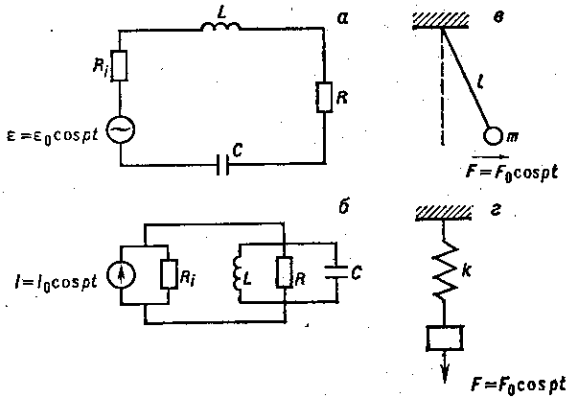


Рис. 1. Колебательные системы с одной степенью свободы: последовательный (а) и параллельный (б) колебательные контуры, математический маятник (в) и упругий осциллятор (г).

ний заряда $[q(t) = x \cos(pt + \varphi)]$ определяются амплитудой и частотой внеш. силы:

$$x = \frac{F}{\sqrt{(\omega_0^2 - p^2)^2 + 4\delta^2 p^2}}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{2\delta p}{\omega_0^2 - p^2}, \quad (1)$$

где $F = E_0/L$, $\delta = (R + R_i)/2L$.

Зависимость амплитуды x стационарных вынужденных колебаний от частоты p вынуждающей силы при постоянной её амплитуде наз. резонансной кривой (рис. 2). В линейном колеб. контуре резонансные кривые, соответствующие различным F , подобны, а фазово-частотная характеристика $\varphi(p)$ не зависит от амплитуды силы.

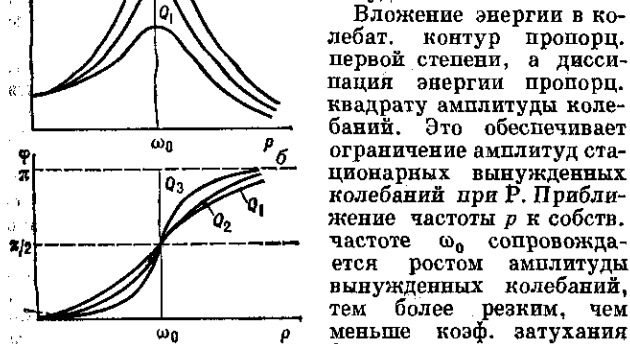


Рис. 2. Резонансные кривые (а) и фазово-частотные характеристики (б) колебательных контуров при разных значениях добротности, $Q_1 < Q_2 < Q_3$.

Уменьшение амплитуды вынужденных колебаний при неточной настройке обусловлено нарушением синфазности тока и напряжения в цепи.

Важной характеристикой резонансных свойств колеб. системы (осциллятора) является добротность Q , ярая, по определению, равна умноженному на 2π отношению энергии, запасённой в системе, к энергии, рассеиваемой за период колебаний. При воздействии на резонансной частоте амплитуда вынужденных колебаний x в Q раз больше, чем в квазистатич. случае,

при $p \ll \omega_0$ ($x = QF$). Число периодов колебаний, в течение к-рых происходит установление стационарной амплитуды, также пропорц. Q . Наконец, добротность определяет частотную избирательность резонансных систем. Ширина полосы $P \Delta\omega$, в пределах к-рой амплитуда вынужденных колебаний падает в $\sqrt{2}$ раз от x , обратно пропорц. добротности: $\Delta\omega = \omega_0/Q = 2\delta$.

При P в электрич. цепях реактивная часть комплексного импеданса обращается в нуль. При этом в последоват. цепи падения напряжения на катушке индуктивности и на конденсаторе имеют амплитуду QE_0 . Однако они складываются в противофазе и взаимно компенсируют друг друга. В параллельной цепи (рис. 1, б) при P происходит взаимная компенсация токов в ёмкостной и индуктивной ветвях. В отличие от последоват. P , при к-ром внеш. силовое воздействие осуществляется источником напряжения, в параллельном контуре резонансные явления реализуются только в том случае, когда внеш. воздействие задаётся источником тока. Соответственно P в последоват. контуре называют P напряжений, а в параллельном контуре — P токов. Если в параллельный контур вместо генератора тока включить генератор напряжения, то на резонансной частоте будут выполняться условия не максимума, а минимума тока, поскольку вследствие компенсации токов в ветвях, содержащих реактивные элементы, проводимость цепи оказывается минимальной (явление антирезонанса).

Подобными чертами обладает явление P в механич. и др. колеб. системах. В линейных системах, согласно принципу суперпозиции, реакцию системы на периодич. несинусоидальное воздействие можно найти как сумму откликов на каждую из гармонич. компонент воздействия. Если период несинусоидальной силы равен T , то резонансное возрастание колебаний может происходить не только при условии $\omega_0 \approx 2\pi/T$, но в зависимости от формы $E(t)$ и при условиях $\omega_0 \approx 2\pi n/T$, где $n = 1, 2, \dots$ (P на гармониках).

Резонансные кривые определяют, наблюдая изменение амплитуды вынужденных колебаний либо при медленной перестройке частоты p вынуждающей силы, либо при медленном изменении собств. частоты ω_0 . При высокой добротности осциллятора ($Q \gg 1$) оба способа дают практически одинаковые результаты. Частотные характеристики, полученные при конечной скорости изменения частоты, отличаются от статич. резонансных кривых, соответствующих бесконечно медленной перестройке: на динамич. частотных характеристиках наблюдается смещение максимума в направлении перестройки частоты, пропорц. μ , где $\mu = \dot{t}/t^*$, $\dot{t} = Q/\omega_0$ — время релаксации колебаний в контуре,

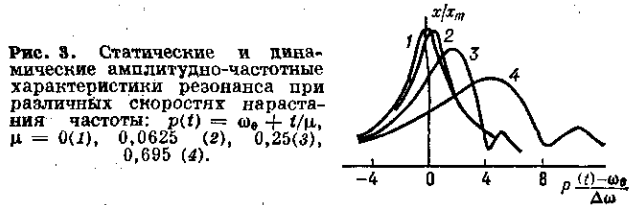


Рис. 3. Статические и динамические амплитудно-частотные характеристики резонанса при различных скоростях нарастания частоты: $p(t) = \omega_0 + \dot{t}/\mu$, $\mu = 0(1)$, $0,0625(2)$, $0,25(3)$, $0,695(4)$.

t^* — время, в течение к-рого частота p находится в пределах полосы резонанса $\Delta\omega$. При быстрой перестройке частоты, по мере роста μ , происходит уменьшение высоты и расширение резонансных кривых, причём их форма становится более асимметричной (рис. 3).

Резонансы в линейных колебательных системах с несколькими степенями свободы. Колеб. системы с неск. степенями свободы представляют собой совокупность взаимодействующих осцилляторов. Примером может служить пара колеб. контуров, связанных за счёт взаимной индукции (рис. 4). Вынужденные колебания в такой системе описываются ур-ниями