

## 3.2. Резонанс токов

*Резонанс токов (РТ)* возникает в **параллельном колебательном контуре** (рис. 3.5) и условием его возникновения является равенство нулю реактивной проводимости цепи:  $b_{РезТ} = b_{L(РезТ)} - b_{C(РезТ)} = 0$ . В этом случае возможно появление токов в ветвях цепи (**индуктивной  $L$  и емкостной  $C$** ), значительно превышающих ток  $I$  источника.

*Резонанс любого колебательного контура* можно получить подбором любого из трех параметров или любых сочетаний параметров: **частота источника  $f$** , эквивалентная индуктивность катушек  $L$ , эквивалентная ёмкость конденсаторов  $C$ .

Ниже подробно рассматривается частный случай – **подбор частоты источника энергии  $f$**  в простейшем **параллельном** контуре (рис. 3.5) при **любых значениях** индуктивности катушки  $L$  и емкости конденсатора  $C$ . Аналогично может быть рассмотрен любой другой частный случай подбора параметров резонанса.

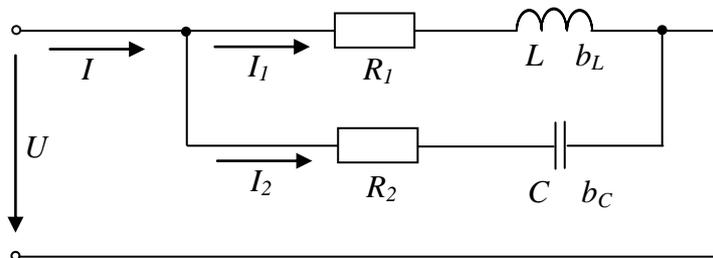


Рис. 3.5

Реактивная проводимость участков цепи записывается в виде:

$$b_L = \frac{\omega L}{R_1^2 + (\omega L)^2}; \quad b_C = \frac{1/(\omega C)}{R_2^2 + 1/(\omega C)^2} \quad (1)$$

В режиме резонанса токов:

$$\boxed{b_L = b_C} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{\omega_{РТ} L}{R_1^2 + (\omega_{РТ} L)^2} = \frac{1/(\omega_{РТ} C)}{R_2^2 + 1/(\omega_{РТ} C)^2}}, \quad (2)$$

откуда резонансная угловая частота:

$$\omega_{РТ} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\rho^2 - R_1^2}{\rho^2 - R_2^2}} \quad (3)$$

где  $\rho = \sqrt{L/C}$  – характеристическое сопротивление контура.

Для случая, когда  $R_1=R_2=0$  **угловая  $\omega$  (в рад/с) и циклическая  $f$  (в Гц) резонансные частоты** контура рассчитываются по тем же соотношениям, что и для резонанса напряжений:

$$\boxed{\omega_{PT} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}} \quad \text{и} \quad \boxed{f_{PT} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}} \quad (4)$$

Резонансные свойства цепи с двумя ветвями  $R_1L$  и  $R_2C$  (рис. 3.3) удобно изучать применительно к её эквивалентной схеме замещения с тремя параллельно соединёнными ветвями (рис. 3.3).

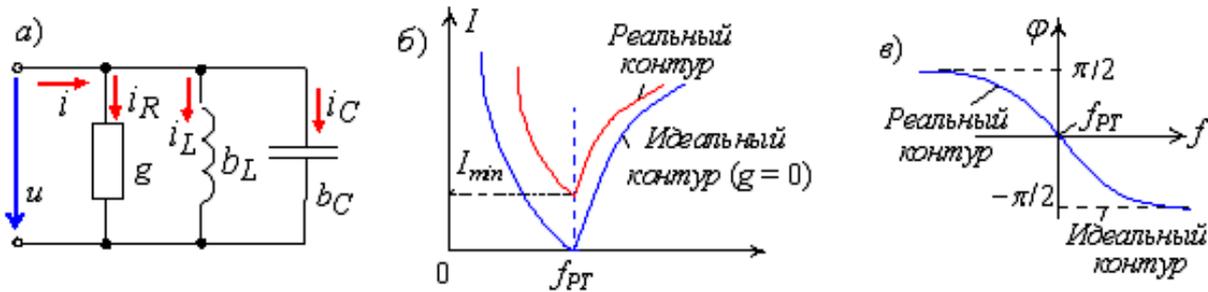


Рис. 3.6

где параметры  $g$ ,  $b_L$  и  $b_C$ , равны:

$$g = g_1 + g_2 = \frac{R_1}{R_1^2 + X_L^2} + \frac{R_2}{R_2^2 + X_C^2}; \quad b_L = \frac{\omega L}{R_1^2 + (\omega L)^2}; \quad b_C = \frac{1/(\omega C)}{R_2^2 + 1/(\omega C)^2}. \quad (5)$$

*Добротность* параллельного колебательного контура  $Q_{(PT)}$  равна отношению тока  $I_{C(PT)}$  в ветви с конденсатором и тока  $I_{PT}$  на входе контура в режиме резонанса:

$$Q_{(PT)} = \frac{I_{C(PT)}}{I_{(PT)}} = \frac{I_{L(PT)}}{I_{(PT)}} \quad (6)$$

Ток  $I_{PT}$  при резонансе токов имеет минимальное значение,

$$I_{PT} = \frac{U}{Z_{PT}} = U \cdot Y_{PT} = U \cdot \sqrt{g_{PT}^2 + (b_{L(PT)} - b_{C(PT)})^2} = U \cdot g_{PT} = I_{\min} \quad (7)$$

так как полная проводимость контура в этом режиме  $Y_{PT} = g_{(PT)} = Y_{\min}$ , а сопротивление контура  $Z_{PT} = 1/Y_{PT} = Z_{\max}$ .

*Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)* тока и *фазо-частотная характеристика (ФЧХ)* реального и идеального контуров приведены на рис. 3.6, б и в.

Приближённо *полосу пропускания* контура определяют по формуле

$$\boxed{\Delta f \approx \frac{f_{PT}}{Q}} \quad \text{или} \quad \boxed{\Delta \omega \approx \frac{\omega_{PT}}{Q}}. \quad (8)$$

Аналогично полосе пропускания может быть найден интервал индуктивности катушек  $\Delta L$  или емкости конденсаторов  $\Delta C$ , если резонанс достигается подбором  $L$  или  $C$  параметров соответственно: [см ссылку 36](#)

## Характерные векторные диаграммы токов

При построении векторных диаграмм рассматриваются три частных случая подбора параметров **параллельного** колебательного контура путем увеличения значения выбранного параметра:

1. **Подбор частоты источника энергии  $f$**  при **любых значениях** индуктивности катушек  $L$  и емкости конденсаторов  $C$ .
2. **Подбор индуктивности катушки  $L$**  при **любых значениях** частоты источника  $f$  и емкости конденсатора  $C$ .
3. **Подбор емкости конденсатора  $C$**  при **любых значениях** частоты источника  $f$  и индуктивности катушки  $L$ .

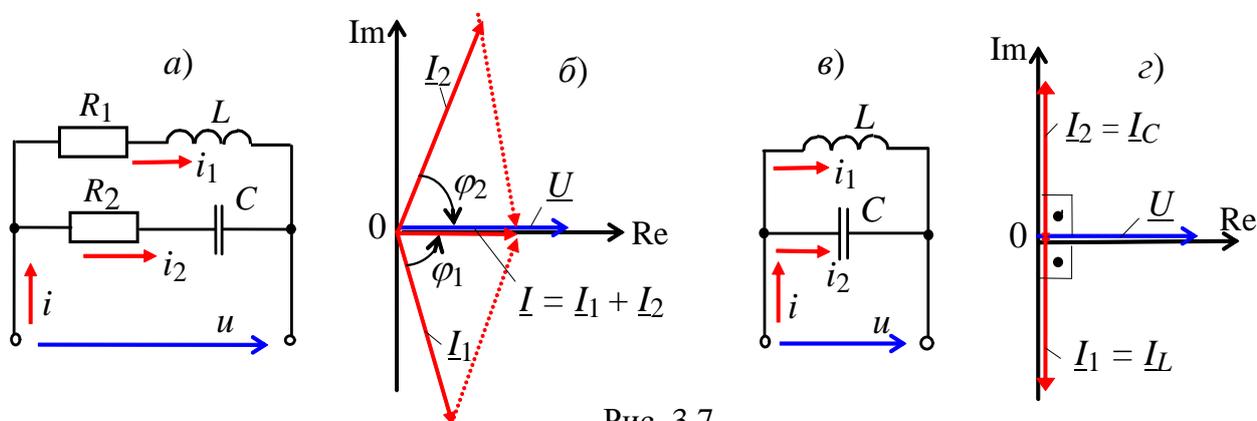


Рис. 3.7

**Векторные диаграммы** токов ветвей и тока на входе **реального (а)** и **идеального (в)** колебательных контуров в режиме резонанса токов представлены на рис. 3.7, б и г; ток  $I_1$  в первой ветви отстаёт от напряжения по фазе на угол  $\varphi_1$ , а ток  $I_2$  во второй ветви его опережает по фазе на угол  $\varphi_2$  (рис. 3.7, б). При резонансе угол сдвига фаз на входе цепи  $\varphi = 0$ , т. е. цепь при резонансе носит чисто активный характер.

**До резонанса ( $\varphi > 0$ )** цепь носит активно-индуктивный характер в зависимости от выбранного параметра ( $f < f_{PH}$  или  $L < L_{PH}$  или  $C < C_{PH}$ ),

**После резонанса ( $\varphi < 0$ )** цепь носит активно-ёмкостный характер в зависимости от выбранного параметра ( $f > f_{PH}$  или  $L > L_{PH}$  или  $C > C_{PH}$ ).

Резонанс токов широко используется в электронных устройствах, и в силовых электроустановках для увеличения коэффициента мощности.

## Основные выводы

*Резонанс любого колебательного контура* можно получить подбором любого из трех параметров или любых сочетаний параметров: частота источника  $f$ , эквивалентная индуктивность катушек  $L$ , эквивалентная ёмкость конденсаторов  $C$ .

Параметры параллельного колебательного контура при резонансе токов принимают следующие значения:

- полная проводимость контура минимальна:  $Y_{PT} = g_{(PT)} = Y_{min}$
- ток общий на входе контура минимальный:  $I_{PT} = UY_{PT}$ ;
- коэффициент мощности максимальный:  $\cos(\varphi_{PT}) = 1, \sin(\varphi_{PT}) = 0$ ;
- реактивная мощность общая равна нулю:  $Q_{PT} = Q_L - Q_C = I_{PT} U \sin(\varphi_{PT}) = 0$ ;
- реактивные токи в ветвях, содержащих «L» и «C», равны между собой и могут значительно превышать ток общий контура:  $I_{L(PT)} = I_{C(PT)} \gg I_{PT}$ .
- собственная частота контура равна частоте источника и обе равны резонансной частоте:  $f_{Cоб} = f_{Исм} = f_{PT}$ . Равенство справедливо при любом из трех вышеуказанных способов подбора резонансных параметров.