8 Параллельное соединение катушки индуктивности и конденсатора

8.1 Общие сведения

В общем случае, на входе цепи синусоидального тока, содержащей сопротивления, индуктивности и ёмкости (рис. 8.1а) протекает ток, сдвинутый по фазе относительно напряжения на угол φ, что можно показать на векторной диаграмме (рис. 8.1б). Действующее значение этого тока определяется по закону Ома:

$$I = U/Z = UY,$$

где Y = 1/Z – ***полная проводимость*** цепи.

Если ток отстаёт от напряжения (φ>0), то говорят, что цепь носит индуктивный характер, если опережает (j<0) – ёмкостный характер. Второй случай показан на векторной диаграмме пунктиром.

Ток можно представить в виде суммы двух составляющих: ***активной***, совпадающей по фазе с приложенным напряжением и ***реактивной***, сдвинутой относительно напряжения на + или -90°.

Активная составляющая тока $I_a = I\cos\varphi = UY\cos\varphi = UG$, где $G = Y\cos\varphi$ называется ***активной*** проводимостью.

Реактивная составляющая тока $I_p = I\sin\varphi = UY\sin\varphi = UB$, где $B = Y\sin\varphi$ называется ***реактивной*** проводимостью.

Все соотношения между проводимостями Y, G, и B, а также углом φ могут быть наглядно представлены в виде треугольника проводимостей, подобного треугольнику токов (рис.8.1.в).

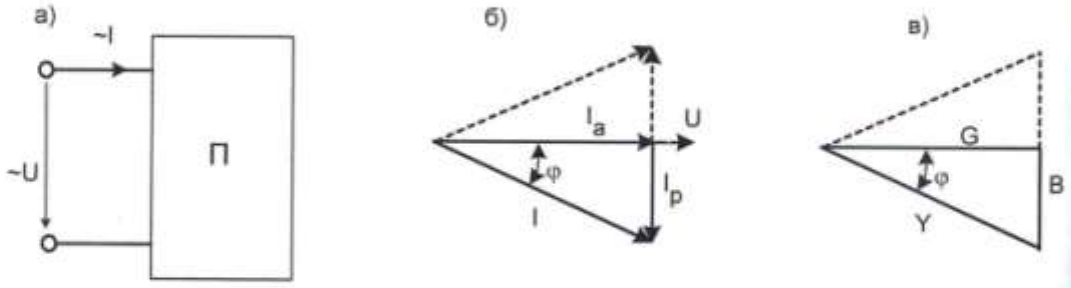


Рис. 8.1

Если катушка, обладающая индуктивностью L и активным сопротивлением R, соединена параллельно с конденсатором ёмкостью C (рис.8.2а), то напряжение на них одно и то же, а ток I на входе цепи представляет сумму тока в катушке $I_к$, отстающим от напряжения на угол φ, и тока в конденсаторе I_C, опережающего напряжение на 90°.

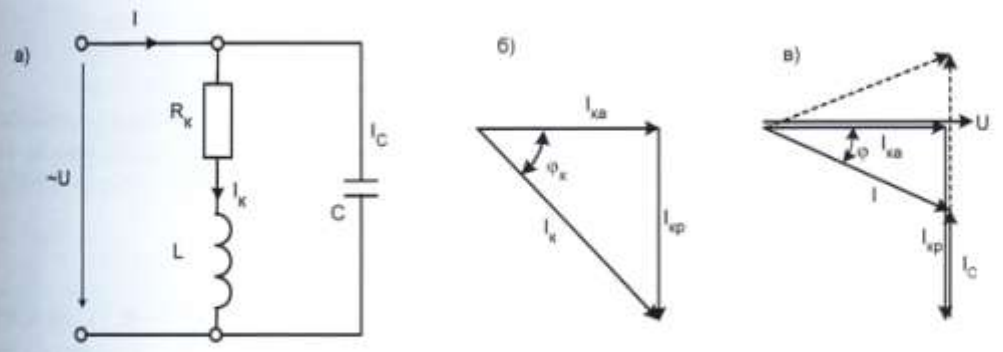


Рис.8.2

Для сложения токов сначала представим ток в катушке в виде двух составляющих: активной $I_{ка}$, и реактивной $I_{кр}$, как показано на рис.8.2б, а затем нарисуем из конца вектора $I_{кр}$ вектор тока в конденсаторе (рис. 8.2.в), опережающий напряжение на 90° и получим суммарный ток. Из векторной диаграммы следует, что

$$I = \sqrt{I_{ка}^2 + (I_{кр} - I_C)^2} = \sqrt{U^2G^2 + U^2(B_L - B_C)^2} = U\sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = UY,$$

где $Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = \sqrt{G^2 + B^2}$, - полная проводимость этой цепи.

В свою очередь:

$B = B_L - B_C$ - реактивная проводимость всей цепи;

$B_L = Y_к \sin\varphi_к$ – индуктивная проводимость катушки;

$B_C = \omega C$ – ёмкостная проводимость конденсатора;

$G = Y_к \cos\varphi_к$ - активная проводимость катушки;

Из векторной диаграммы следует также, что угол сдвига между током и напряжением

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{I_{кр} - I_C}{I_{ка}} = \operatorname{arctg}\frac{B_L - B_C}{G} = \operatorname{arctg}\frac{B}{G}.$$

Если $B_L > B_C$, то угол φ положительный и напряжение опережает ток. Этот случай показан на векторной диаграмме сплошными линиями. Если же $B_L < B_C$, то угол φ отрицательный, и напряжение отстаёт от тока (показано на векторной диаграмме пунктиром). Если же, наконец, $B_L = B_C$, тогда и $I_{кр} = I_C$ и $\varphi = 0$, и ток совпадает с напряжением по фазе. Этот случай называется резонансом токов.

Условие резонанса $B_L = B_C$ или $\varphi = 0$ можно также записать в виде:

$$Y_к \sin\varphi_к = \omega C \quad .$$

В свою очередь,

$$Y_к = \frac{1}{Zк} = \frac{1}{\sqrt{R_к^2 + \omega^2 L^2}}, \quad \text{а} \quad \sin\varphi_к = \frac{\omega L}{\sqrt{R_к^2 + \omega^2 L^2}}, \text{ поэтому } \frac{L}{R_к^2 + \omega^2 L^2} = C.$$

Отсюда можно определить ёмкость, индуктивность или частоту, при которой в цепи будет наблюдаться резонанс.

8.2 Экспериментальная часть

Задание

Определить экспериментально параметры катушки индуктивности, рассчитать резонансную ёмкость параллельно включенного конденсатора, снять зависимость токов в цепи от ёмкости, построить векторные диаграммы для трёх случаев C<Cрез, C=Cрез и C>Cрез.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь (принципиальная схема рис. 8.2, монтажная – 8.3), включив в каждую ветвь по миниблоку для подключения амперметра. Конденсаторы в первом опыте не включайте.

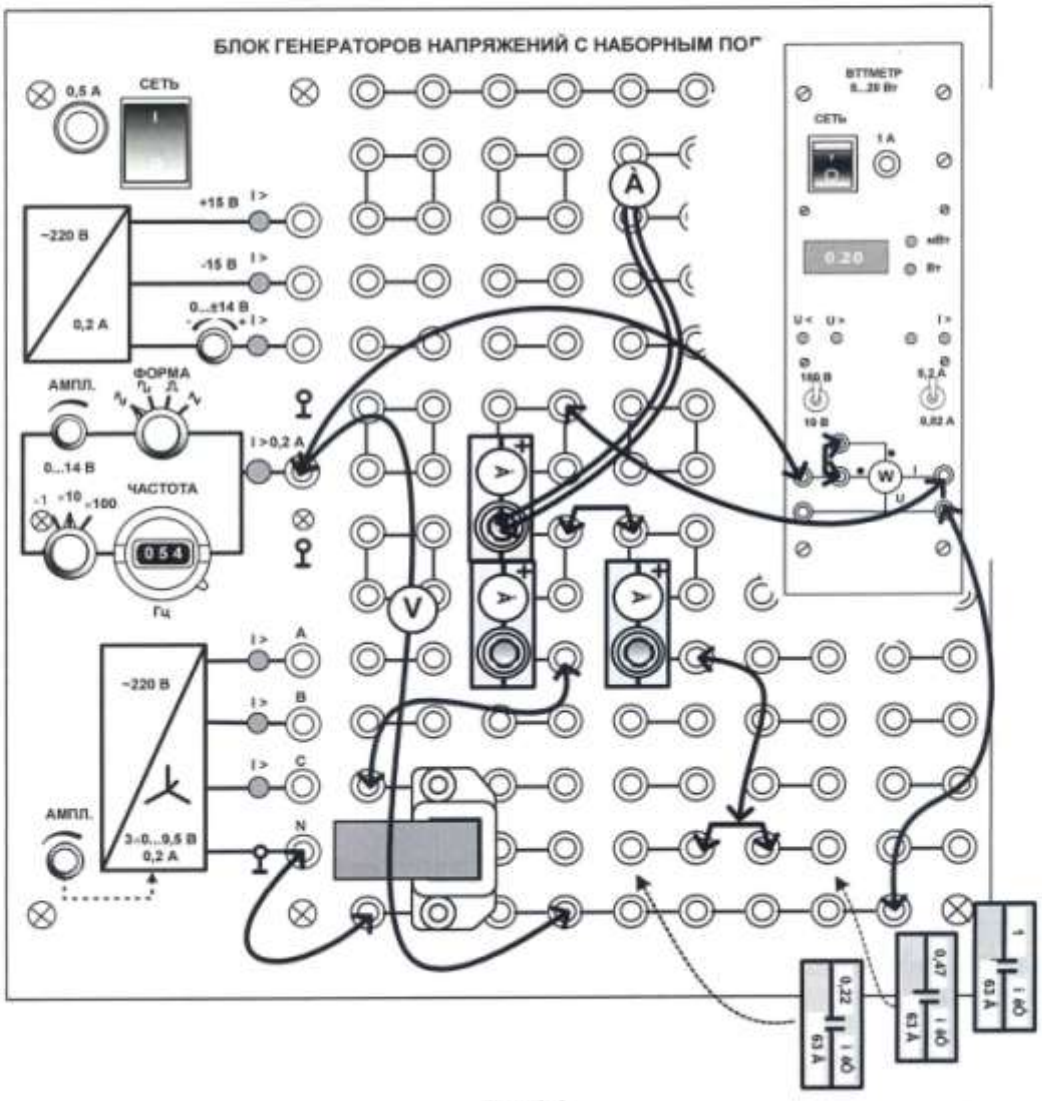


Рис.8.3

- Установите частоту питающего напряжения 1000 Гц, максимальную амплитуду и измерьте напряжение, на входе цепи, ток и мощность, потребляемые цепью. Результаты измерений запишите в табл. 8.1.
- Вычислите параметры катушки и ожидаемую резонансную ёмкость. Все формулы приведены в разделе «Общие сведения»

Таблица 8.1

Измерения			Вычисления			
U, В	I, мА	P, мВт	$Y_к$, 1/Ом	$\varphi_к$, град	B_L,	$C_{рез}$, мкФ

- Устанавливайте параллельно индуктивности поочерёдно различные конденсаторы как показано на рис. 8.3, измеряйте и записывайте в табл. 8.2 значения токов в трёх ветвях цепи.
- На рис. 8.4 постройте графики изменения токов от ёмкости параллельно включенного конденсатора и по минимуму тока определите фактическую резонансную ёмкость. Сравните её с расчётным значением.

Таблица 8.2

C, мкФ	0,22	0,47	0,69 (0.22+0.47)	1	1.22 (1+0.22)	1.47 (1+0.47)
$I_к$, мА						
I_C, мА						
I, мА						

- На рис. 8.5 постройте векторные диаграммы для трёх случаев: C<Срез, C=Срез и C>Срез. Для резонансного режима значения токов возьмите из графика.

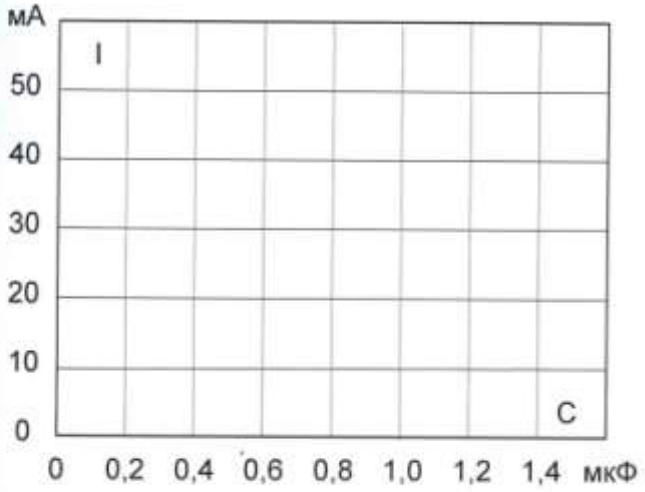


Рис. 8.4

Векторные диаграммы, масштаб токов: .....мА/см

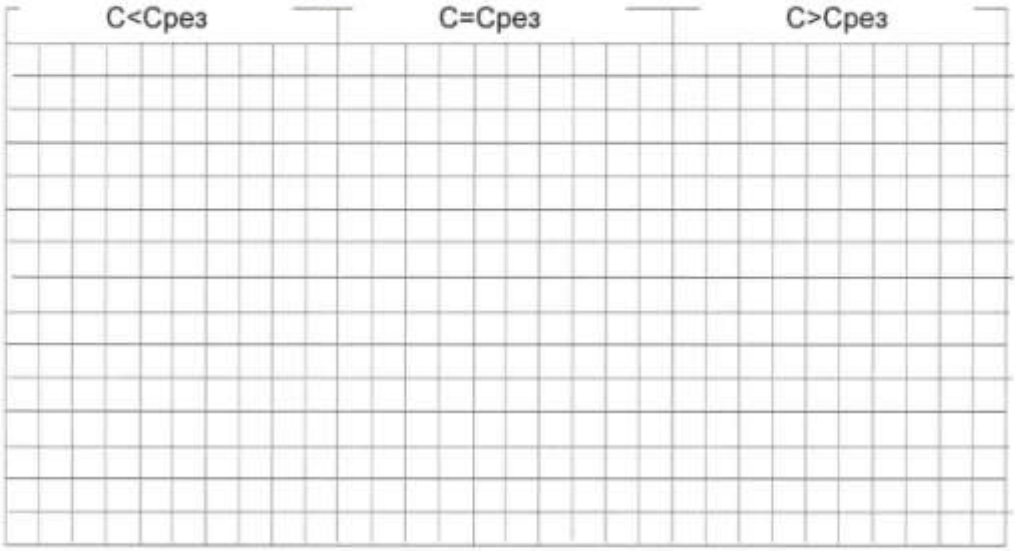


Рис.8.5