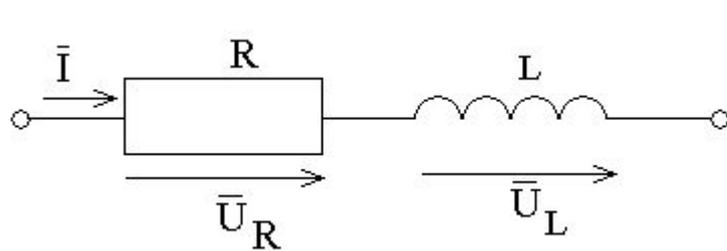


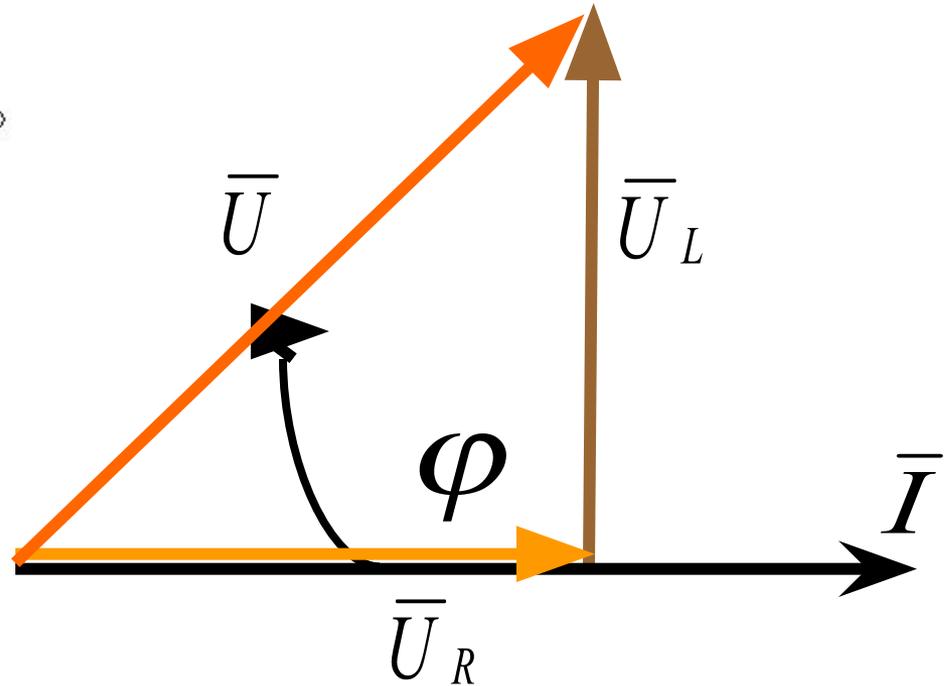
# Последовательное соединение элементов (неразветвленная цепь)



Ради простоты принимаем

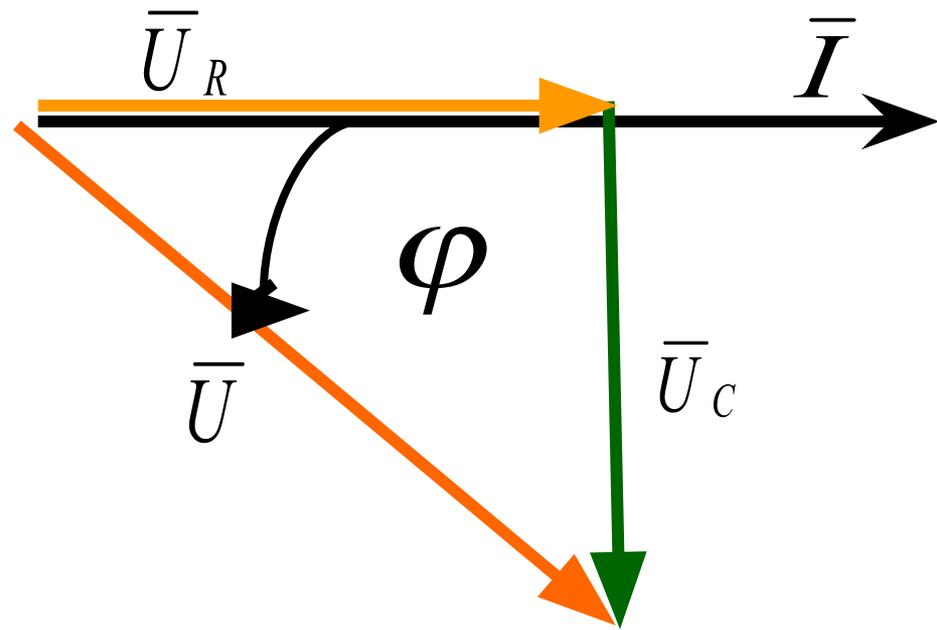
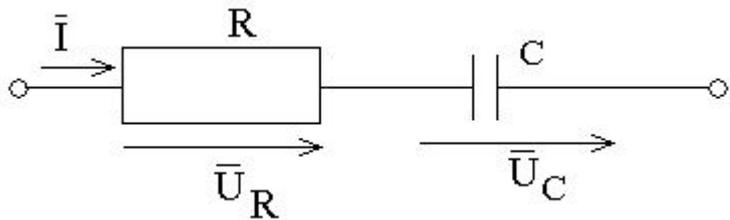
$$\psi_i = 0$$

$$\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_L$$



Действующее значение напряжения  $U$  (В):

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

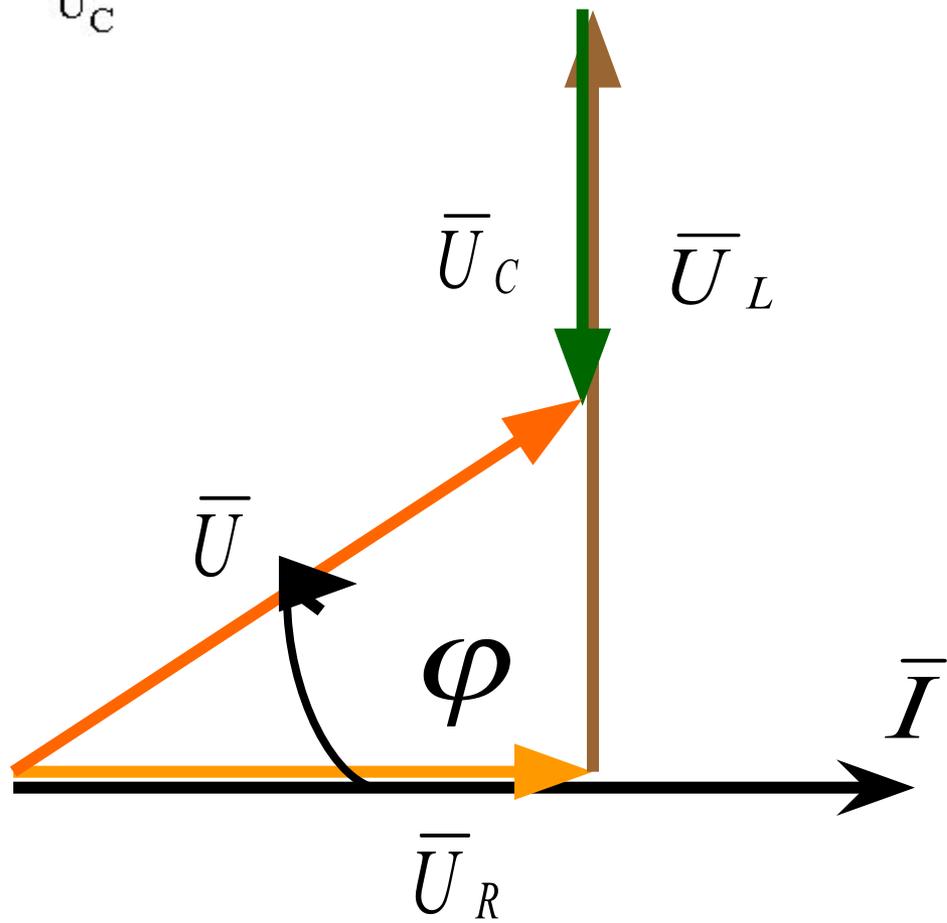
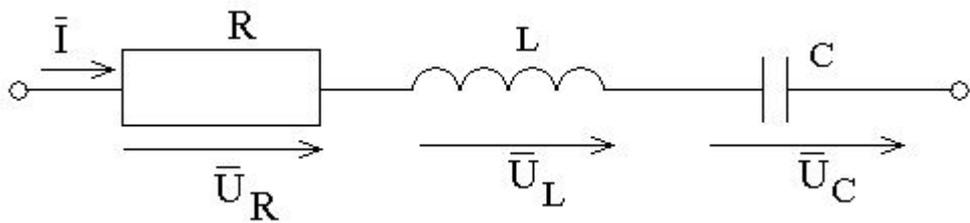


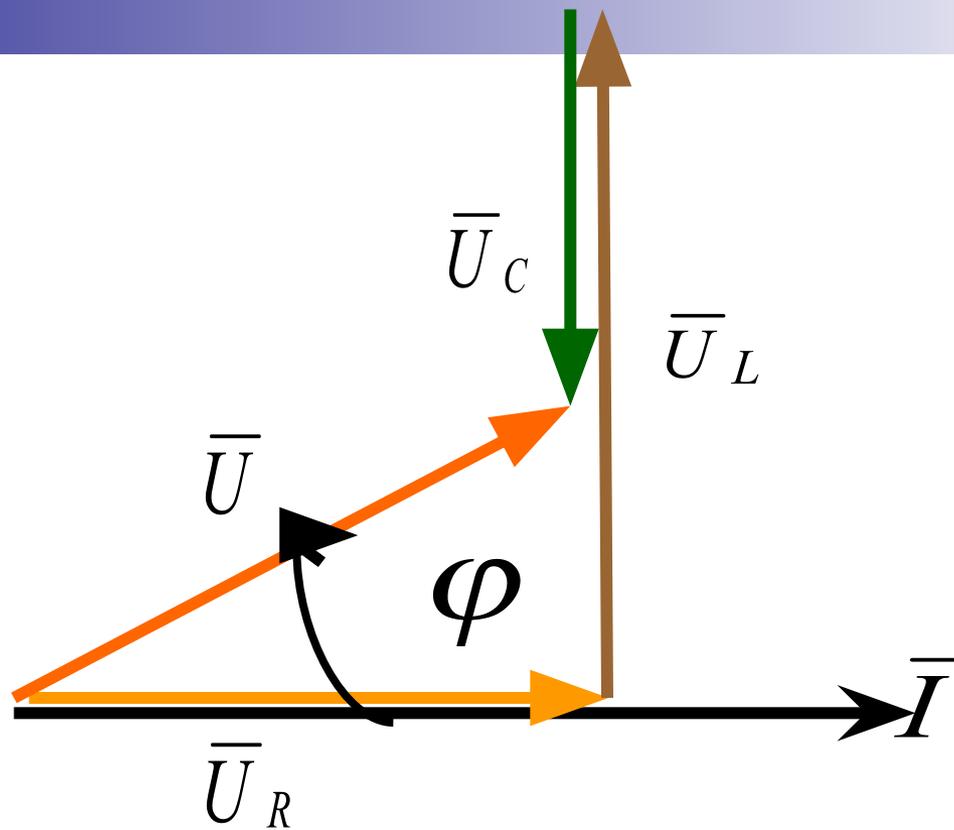
Напряжение на зажимах цепи

$$\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_C$$

Действующее значение напряжения

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

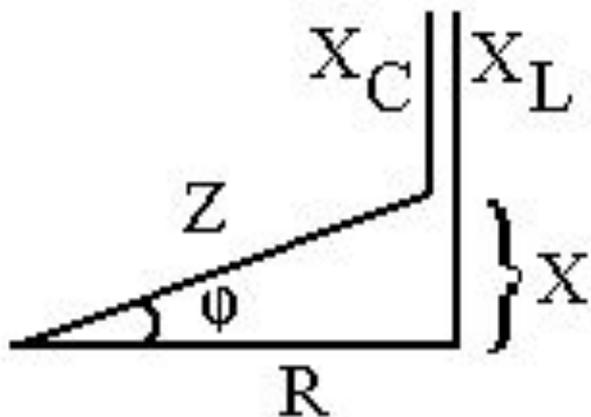




Значение напряжения на зажимах этой цепи равно сумме значений трех составляющих:

$$\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_L + \bar{U}_C$$

Действующее значение  $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$

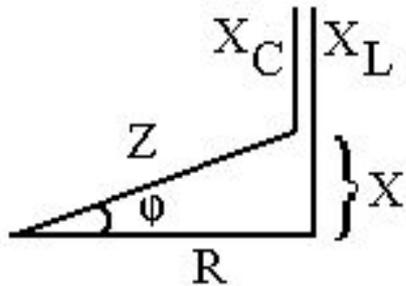


$X = X_L - X_C$  – реактивное  
сопротивление

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

- полное сопротивление цепи

## Разность фаз напряжения и тока



$$\varphi = \psi_u - \psi_i =$$

$$= \operatorname{arctg} \frac{X}{R} = \operatorname{arctg} \frac{X_L - X_C}{R}$$

В зависимости от соотношения между индуктивным и емкостным сопротивлениями в данной цепи возможны 3 режима работы.

Активно-индуктивный режим

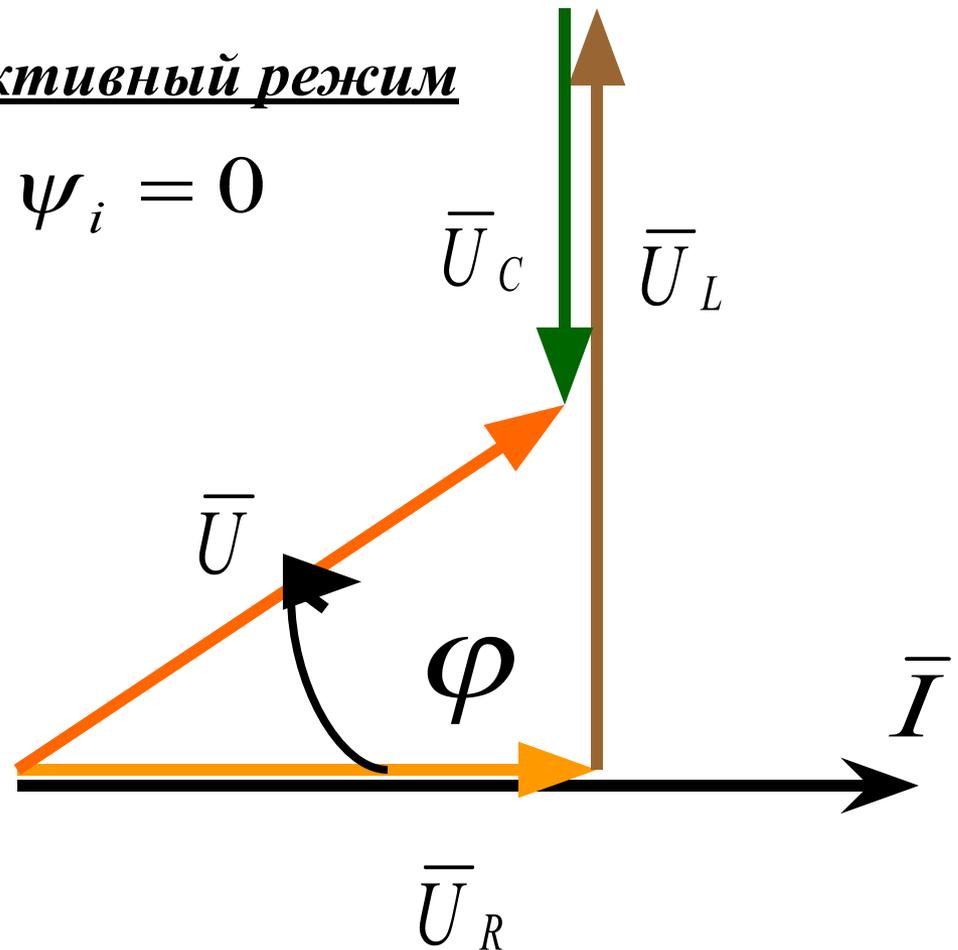
Ради простоты принимаем  $\psi_i = 0$

$$X_L > X_C$$

$$U_L > U_C$$

$$X > 0$$

$$\varphi > 0$$



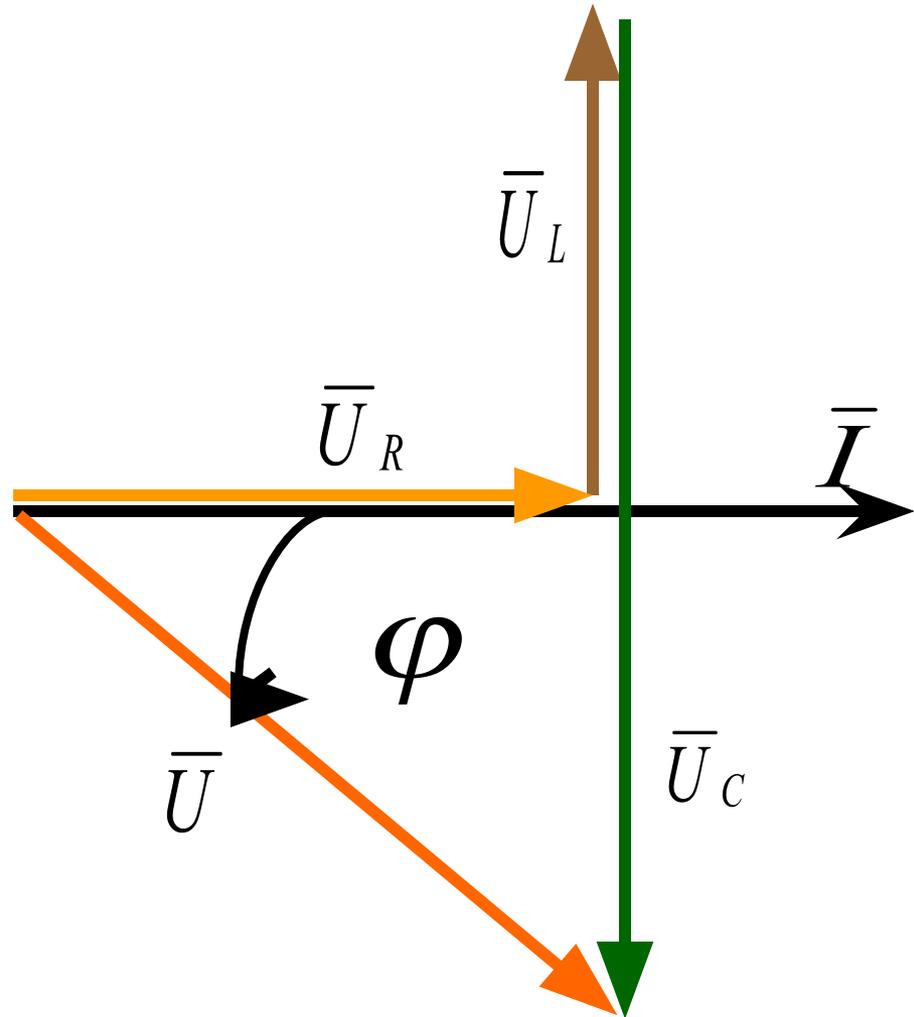
## Активно-емкостный режим

$$X_L < X_C$$

$$U_L < U_C$$

$$X < 0$$

$$\varphi < 0$$



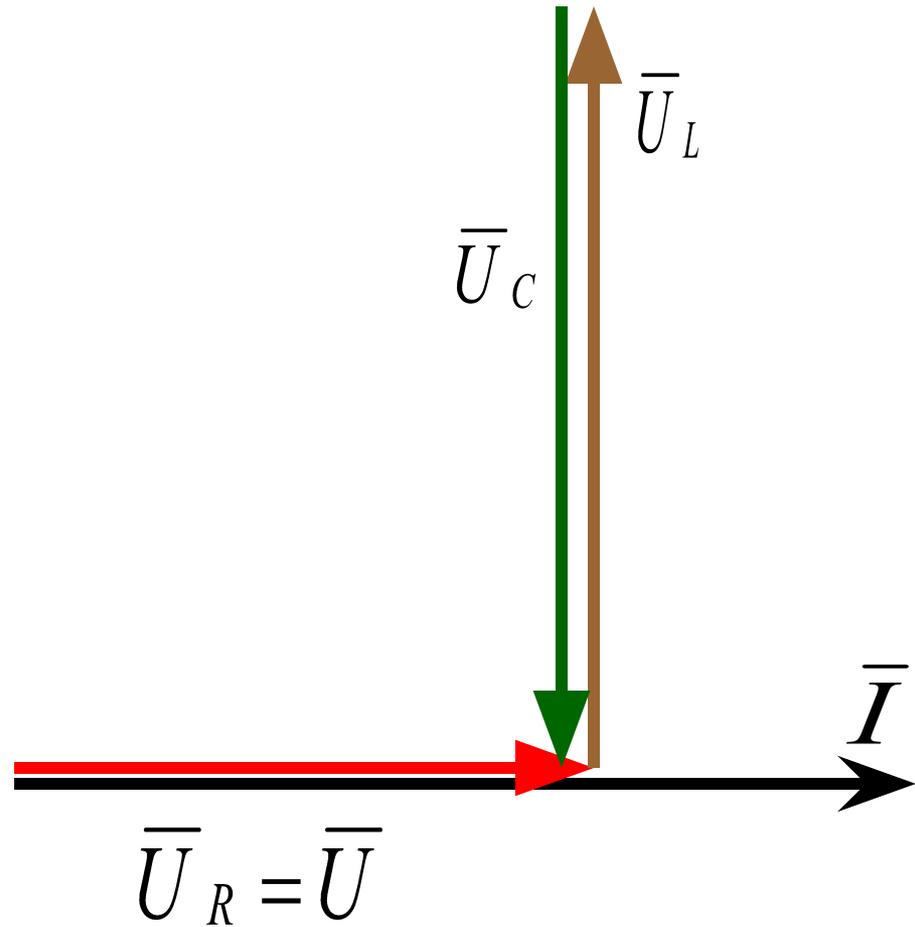
## Резонанс напряжений

$$X_L = X_C$$

$$U_L = U_C$$

$$X = 0$$

$$\varphi = 0$$

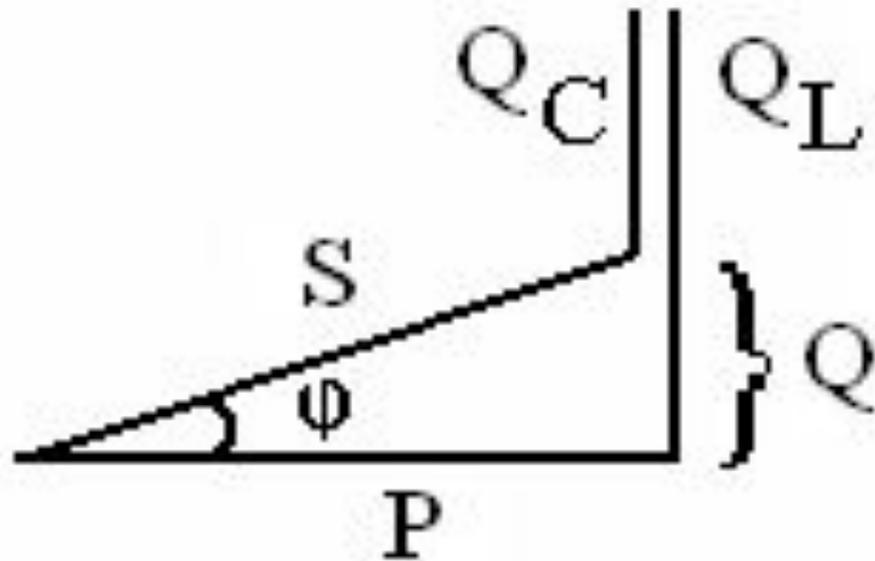
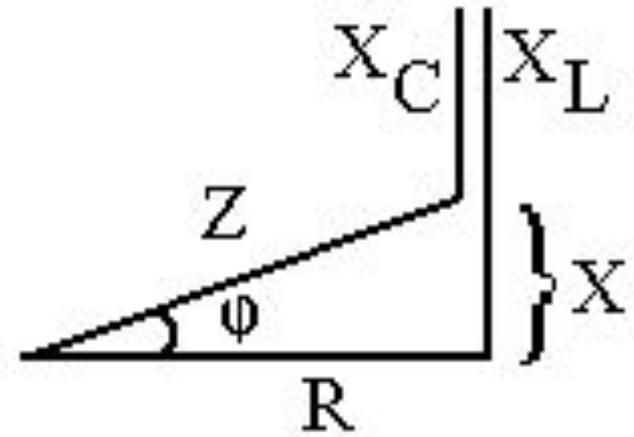
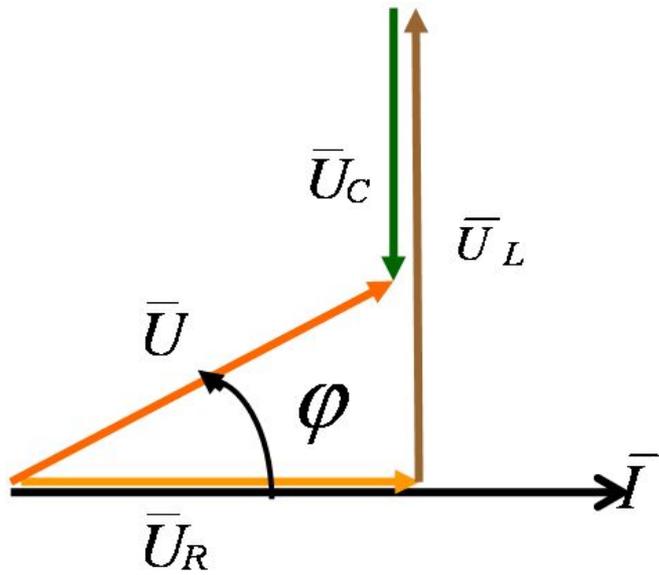


При резонансе напряжений полное сопротивление минимально

$$Z_{рез} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$$

В связи со снижением полного сопротивления значение силы тока максимально

$$I_{рез} = \frac{U}{R}$$



Активная мощность, Вт:

$$P = U I \cos\varphi = U_R I = I^2 R$$

Реактивная мощность, вар:

$$Q = U I \sin\varphi = X I^2 = (X_L - X_C) I^2 = X_L I^2 - X_C I^2 = Q_L - Q_C$$

Полная мощность, ВА:

$$S = U I = I^2 Z = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

## Коэффициент мощности цепи

- отношение активной мощности  $P$  к полной мощности  $S$ , потребляемой цепью, т. е.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z}$$

Коэффициент мощности  $\cos \varphi$  - важнейший энергетический параметр системы переменного тока.

При  $\cos \varphi = 1$  ( $\varphi = 0$ ) имеем наиболее благоприятный режим (по энергетическим соображениям) работы системы.

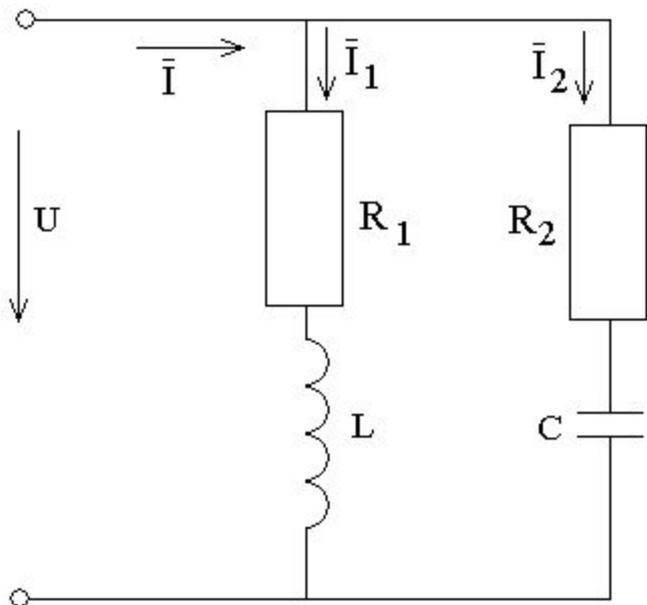
В этом случае вся подводимая полная мощность  $S = UI$ , например, к цеху преобразуется, т. е. используется полезно.

**Допустимая минимальная величина коэффициента мощности  $\cos\varphi$  нагрузки цеха, участка и т. п. определена ГОСТом:**

$$\cos \varphi \geq 0,8$$

Для повышения значения коэффициента мощности  $\cos\varphi$ , например, цеховой нагрузки, носящей, как правило, резистивно-индуктивный характер, подключают параллельно нагрузке батарею конденсаторов, уменьшая тем самым полную реактивную мощность  $Q$  нагрузки

## Цепь с параллельными ветвями

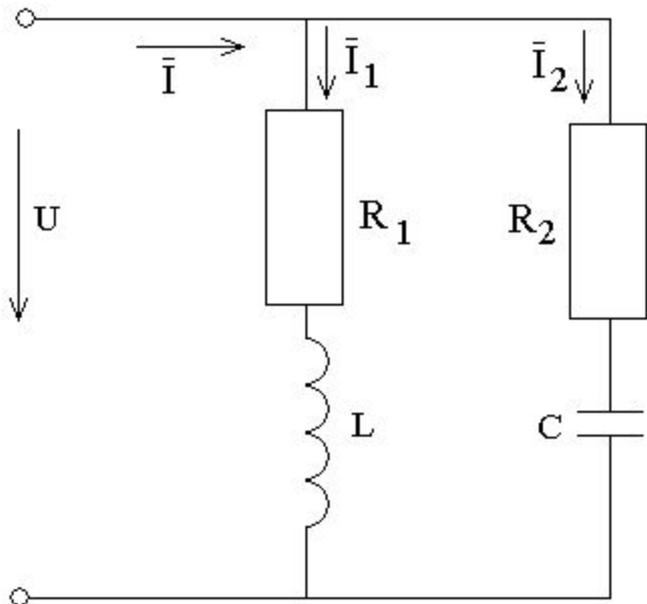


Рассмотрим разветвленную цепь, состоящую из двух ветвей.

Ток неразветвленной части цепи может быть определен по закону Ома:  $\mathbf{I} = \mathbf{U}/\mathbf{Z} = \mathbf{U}\mathbf{Y}$ , где  $\mathbf{Y}$ -полная проводимость цепи.

$$\mathbf{Y} = \frac{1}{\mathbf{Z}} = \sqrt{\mathbf{G}^2 + \mathbf{B}^2}$$

## Цепь с параллельными ветвями

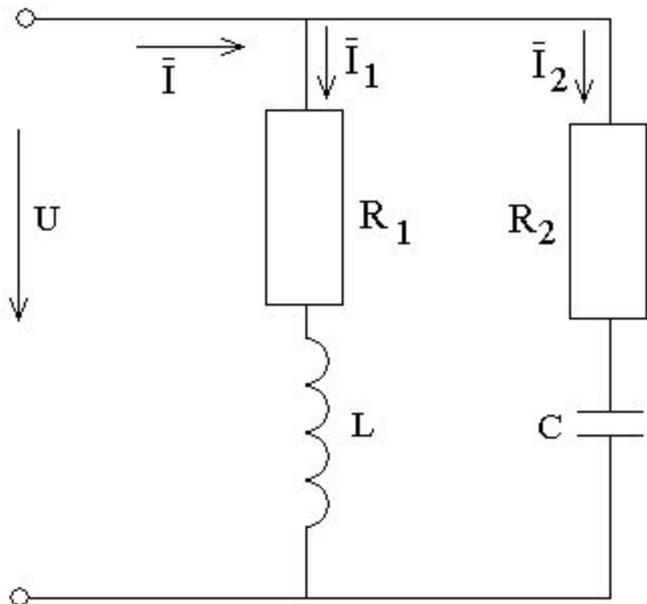


$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{G^2 + B^2}$$

Активная проводимость цепи **G** равна арифметической сумме активных проводимостей параллельных ветвей:

$$G = G_1 + G_2 = \frac{R_1}{Z_1^2} + \frac{R_2}{Z_2^2}$$

## Цепь с параллельными ветвями

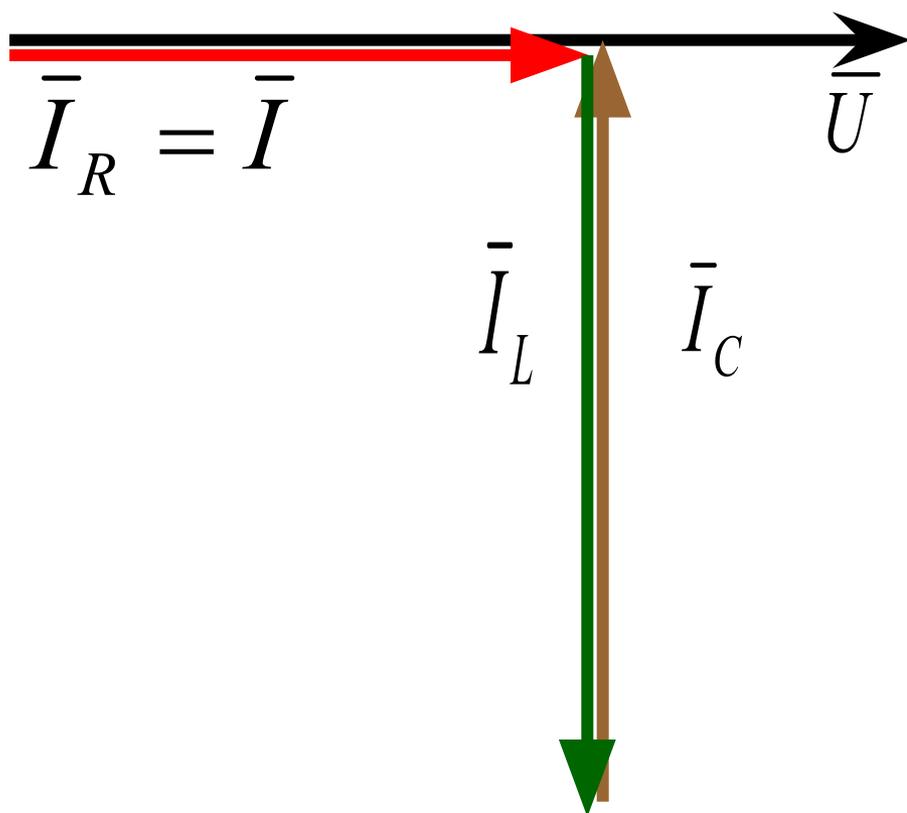


$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{G^2 + B^2}$$

Реактивная проводимость цепи **B** равна разности индуктивных и емкостных проводимостей параллельных ветвей.

$$B = B_L - B_C = \frac{X_L}{Z_1^2} - \frac{X_C}{Z_2^2}$$

## Резонанс токов



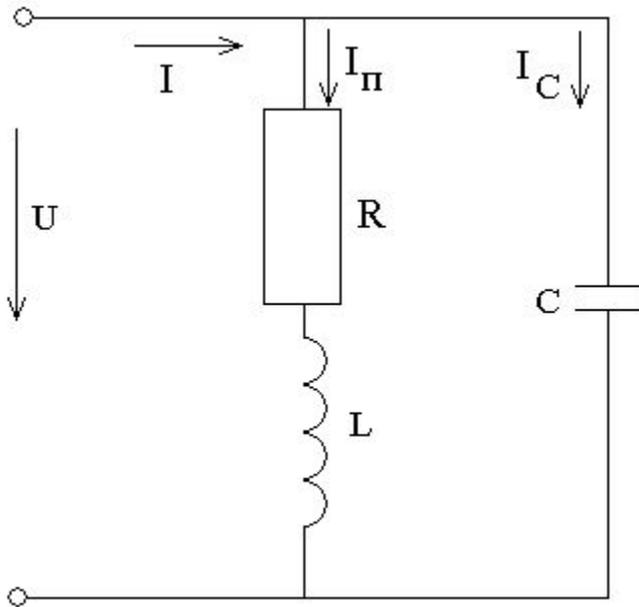
$$B_L = B_C$$

$$Y = G$$

$$\varphi = 0$$

Цепь обладает  
ТОЛЬКО АКТИВНОЙ  
МОЩНОСТЬЮ.

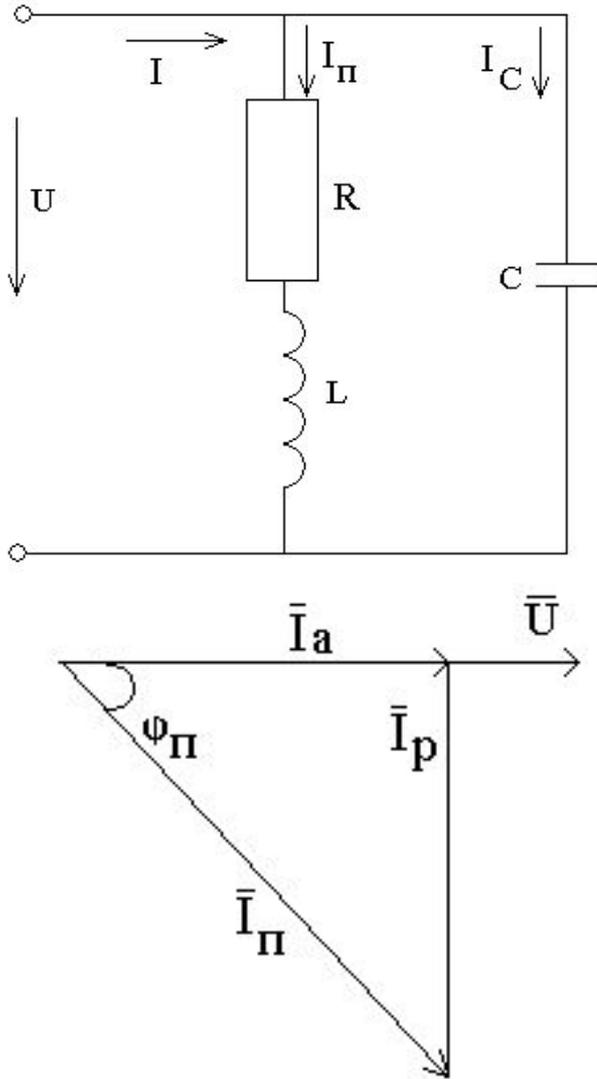
# Компенсация реактивной мощности



Идея компенсации реактивной энергии индуктивного потребителя заключается в подключении к нему емкостного потребителя, в результате чего потребление реактивной энергии всей установкой уменьшается.

Схема замещения индуктивного потребителя содержит резистивный и индуктивный элементы с сопротивлениями  $R$  и  $X_L$ , активная мощность  $P$  и напряжение  $U$  потребителя заданы.

# Компенсация реактивной мощности

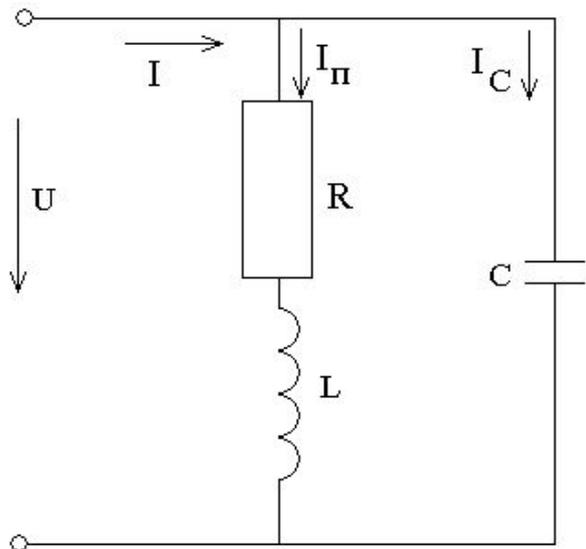


Ток потребителя  $I_{\Pi}$  отстает по фазе от напряжения  $U$  на угол  $\varphi_{\Pi}$  и может быть представлен как сумма двух составляющих: активной  $I_a$  и реактивной  $I_p$ .

Активная составляющая тока  $I_a$  определяет его активную мощность  $P=UI_a$  и при заданных значениях  $P$  и  $U$  должна остаться неизменной.

Возможно уменьшение реактивной составляющей тока  $I_p$ .

# Компенсация реактивной мощности

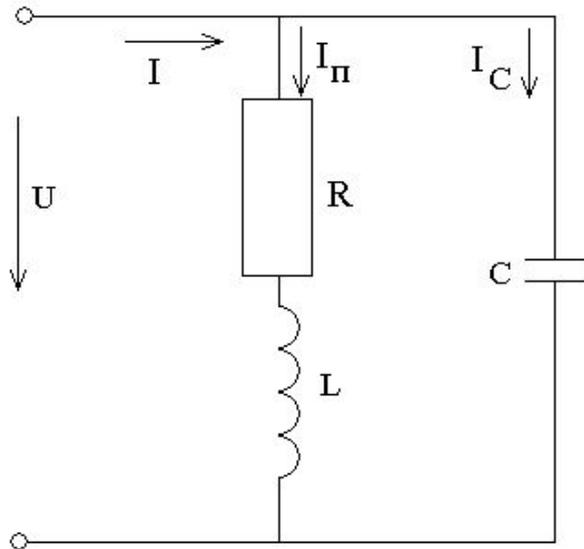


Необходимо включить параллельно индуктивному потребителю батарею конденсаторов, чтобы повысить

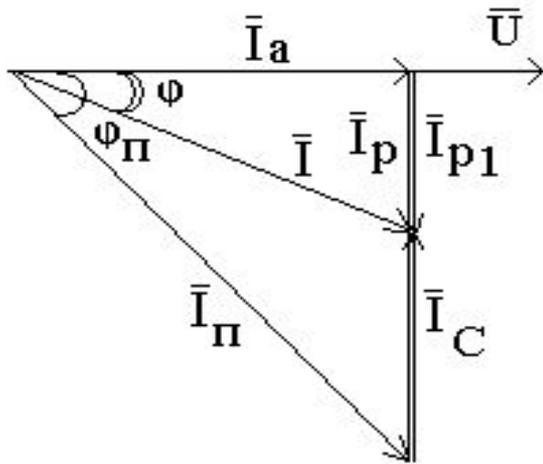
коэффициент мощности потребителя  **$\cos \varphi$**

**$\varphi_{\text{П}}$**  до заданного значения  **$\cos \varphi$** .

# Компенсация реактивной мощности

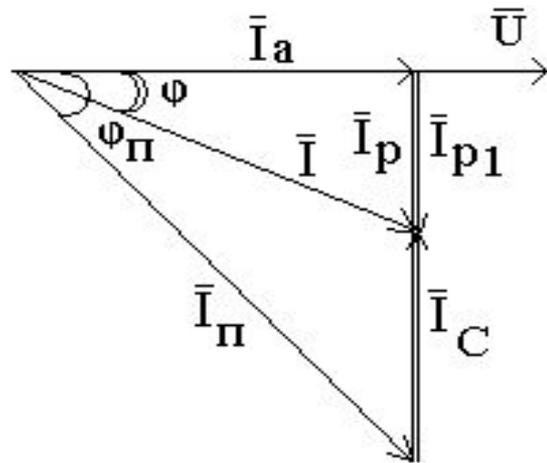
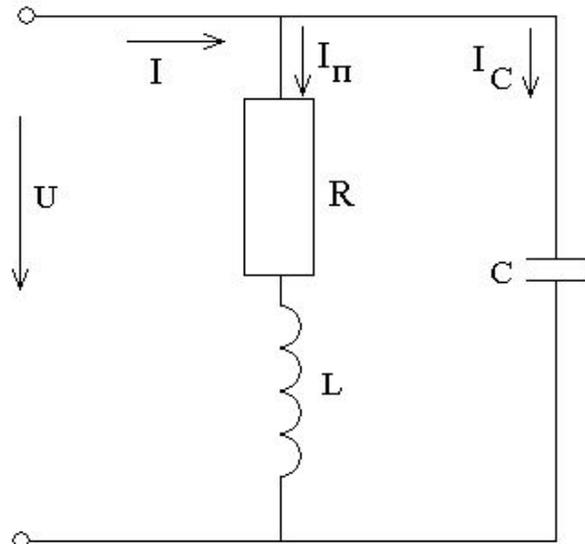


Ток батареи конденсаторов  $I_C$ , которая подключается параллельно индуктивному потребителю, должен быть равен разности реактивных составляющих токов потребителя до компенсации  $I_p$  и после компенсации  $I_{p1}$ .



$$I_C = I_p - I_{p1} = I_a \operatorname{tg} \varphi_{\Pi} - I_a \operatorname{tg} \varphi = I_a (\operatorname{tg} \varphi_{\Pi} - \operatorname{tg} \varphi)$$

# Компенсация реактивной мощности



С другой стороны, ток

$$I_C = U/X_C, \quad I_a = P/U$$

Тогда 
$$U\omega C = \frac{P}{U} (\operatorname{tg}\varphi_{\Pi} - \operatorname{tg}\varphi)$$

Откуда искомое значение емкости конденсатора

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg}\varphi_{\Pi} - \operatorname{tg}\varphi)$$

Обычно при помощи батареи компенсации реактивной мощности осуществляют до  $\cos\varphi=0,90\div 0,95$ .