

# Справочник по компенсации реактивной мощности

$$U_c = 440V \cdot \left(1 + \frac{7}{100}\right) = 470,8V$$
$$I_c = \frac{30000\text{VAr}}{\sqrt{3} \cdot 440V} = 39,36A$$
$$C_{\text{PCT}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 39,136A}{2 \cdot \pi \cdot 50\text{Hz} \cdot 470,8V} = 458,72\mu\text{F}$$
$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50\text{Hz} \cdot 458,72 \cdot 10^{-6}\text{F}} = 6,94\Omega$$
$$X_L = 6,94\Omega \cdot \left(\frac{7}{100}\right) = 0,49\Omega$$
$$Q_T = 15\text{kVAr} + 30\text{kVAr} + 30\text{kVAr} + 60\text{kVAr} = 135\text{kVAr}$$
$$C_T = \frac{135000\text{VAr}}{(440V)^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50\text{Hz}} = 0,00221961\text{F} = 2219,61\mu\text{F}$$
$$C_T = \frac{135000\text{VAr}}{\sqrt{3} \cdot 440V} = 177,14A$$

## Таблица физических величин и единиц измерения

Физич. величина	Обозначение	Единицы измерения (СИ)	Другие ед.изм.
Активная мощность	P	Ватт (Вт)	1 кВт=1000 Вт
Реактивная мощность	Q	Вольт-ампер-реактивный (вар)	1 квар = 1000 вар
Полная мощность	S	Вольт-ампер (ВА)	1 кВА = 1000 ВА
Коеф. мощности	FP или $\cos \varphi$	-	-
Емкость	C	Фарада(Ф)	1 мкФ = $10^{-6}$ Ф
Индуктивность	L	Генри (Гн)	1 мГн = $10^{-3}$ Гн
Ток	I	Ампер (А)	1 мА = $10^{-3}$ А
Напряжение	U	Вольт (В)	-
Электр. сопротивление	R	Ом (Ом)	1 кОм = 1000 Ом
Реактивное емкостное сопротивление	$X_c$	Ом (Ом)	1 кОм = 1000 Ом
Реакт. индуктивное сопротивление	$X_L$	Ом (Ом)	1 кОм = 1000 Ом

## Таблица кратных и дольных единиц

$10^n$	Приставка	Приставка	Эквивалентное десятичное значение
$10^{12}$	Тера	Т	1.000.000.000.000
$10^9$	Гига	Г	1.000.000.000
$10^6$	Мега	М	1.000.000
$10^3$	кило	к	1.000
$10^2$	гекто	г	100
$10^1$	дека	да	10
$10^{-1}$	деци	дц	0,1
$10^{-2}$	санتي	см	0,01
$10^{-3}$	милли	м	0,001
$10^{-6}$	микро	мк	0,000001
$10^{-9}$	нано	н	0,000000001
$10^{-12}$	пико	п	0,000000000001

## РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ КОНДЕНСАТОРА (Q)

$$Q = U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

где:

$U$  - напряжение сети, в вольтах ( $V_{св}$ ),

$f$  - частота сети, в герцах (Гц),

$C$  - емкость конденсатора, в фарадах (Ф)

$Q$  - реактивная мощность конденсатора, в вольт-амперах-реактивных (вар)

## ЕМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРА (C )

$$C = \frac{Q}{U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}$$

где:

$U$  - напряжение сети ( $V_{св}$ ),

$f$  - частота сети (Гц),

$C$  - емкость конденсатора (Ф),

$Q$  - реактивная мощность конденсатора (вар).

$$\text{Емкость, в микрофарадах (мкФ)} = \frac{\text{Емкость, в фарадах (Ф)}}{1000\ 000}$$

**Пример:** трехфазный конденсатор 30 квар – 440 В – 50 Гц

$$C = \frac{30000\text{вар}}{(440\text{ В})^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50\text{Гц}} = 0,00049325\ \Phi = 493\ 25\ \text{мкФ}$$

## РЕАКТИВНОЕ ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ( $X_c$ )

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

где:

$X_c$  - реактивное емкостное сопротивление (Ом),

$f$  - частота сети (Гц),

$C$  - емкость конденсатора (Ф).

## Электрические конденсаторы

### ФАЗНЫЙ ТОК ТРЕХФАЗНОГО КОНДЕНСАТОРА ( $I_c$ )

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U}$$

где:

$U$  - напряжение сети, в вольтах ( $V_{сн}$ ),

$Q$  - реактивная мощность конденсатора (вар),

$I_c$  - ток (А).

$$I_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U}{\sqrt{3}}$$

где:

$U$  - напряжение сети, в вольтах ( $V_{сн}$ ),

$f$  - частота сети (Гц),

$C$  - емкость конденсатора (Ф),

$I_c$  - ток (А).

В однофазных конденсаторах  $\sqrt{3}$  заменяется на 1

$\sqrt{3} = 1,7321$

**Пример:** трехфазный конденсатор 30 квар – 440 В – 50 Гц

$$I_c = \frac{30000 \text{ вар}}{\sqrt{3} \cdot 440 \text{ В}} = 39,36 \text{ А}$$

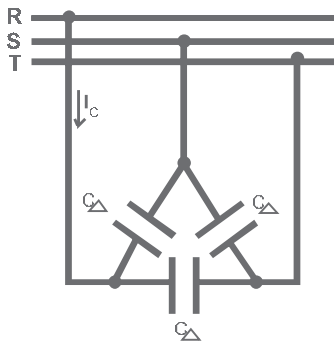
### ВНУТРЕННЕЕ СОЕДИНЕНИЕ В ТРЕУГОЛЬНИК ( $\Delta$ )

$$C_{\Delta} = \frac{C}{3}$$

где:

$C$  - емкость конденсатора (Ф),

$C_{\Delta}$  - емкость каждой ветви (Ф).



Как рассчитать емкость, если известна емкость между двумя фазами ( $C_{R-S}$  или  $C_{R-T}$  или  $C_{S-S}$ ):

$$C_{\Delta} = \frac{2}{3} \cdot C_{R-S}$$

$$C = 2 \cdot C_{R-S}$$

**Пример:** емкость ветви трехфазного конденсатора  
30 квар – 440 В – 50 Гц при соединении в треугольник

$$C_{\Delta} = \frac{493,25 \text{ мкФ}}{3} = 164,42 \text{ мкФ}$$

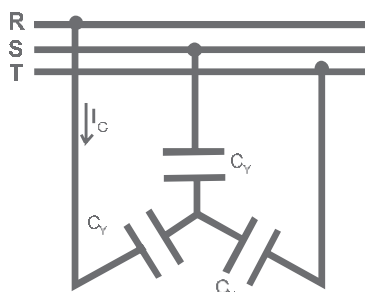
## ВНУТРЕННЕЕ СОЕДИНЕНИЕ В ЗВЕЗДУ

$$C_Y = C$$

где:

$C$  - емкость конденсатора (Ф),

$C_Y$  - емкость каждой ветви (Ф).

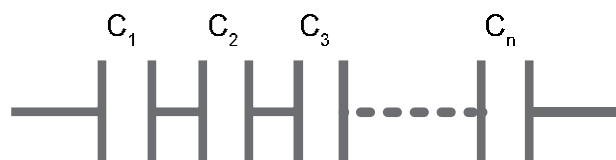


Как рассчитать емкость, если известна емкость между двумя фазами ( $C_{R-S}$  или  $C_{R-T}$  или  $C_{S-S}$ ):

$$C_Y = 2 \cdot C_{R-S}$$

$$C = 2 \cdot C_{R-S}$$

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ



Суммарная эквивалентная емкость ( $C_T$ ) нескольких последовательно соединенных конденсаторов со значениями емкостей ( $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ ) равна

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

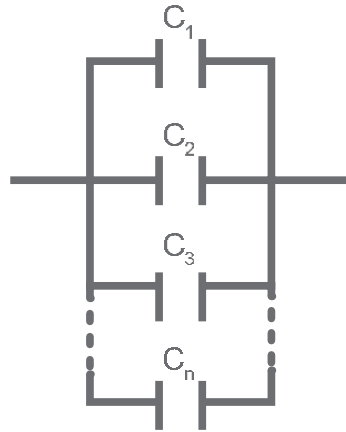
Суммарная реактивная мощность группы конденсаторов ( $Q_T$ ) зависит от величины индивидуальной реактивной мощности каждого отдельного конденсатора ( $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ ) в соответствии с формулой:

$$\frac{1}{Q_T} = \frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2} + \frac{1}{Q_3} + \dots + \frac{1}{Q_n}$$

## Электрические конденсаторы

Ток ( $I_C$ ) будет одинаков для всех конденсаторов. Его значение зависит от величины емкости  $C_T$  или реактивной мощности  $Q_T$ , которые определяются по приведенному выражению.

### ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ



Эквивалентная емкость ( $C_T$ ) группы параллельно соединенных конденсаторов со значениями емкостей ( $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ ) будет равна:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Суммарная реактивная мощность группы конденсаторов ( $Q_T$ ), зависящая от величины индивидуальной реактивной мощности каждого конденсатора ( $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ ), равна:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

Ток ( $I_{Cn}$ ), протекающий через каждый конденсатор, различен для каждой ветви группы и зависит от величин  $C_n$  и  $Q_n$ . Общий ток ( $I_T$ ), протекающий через группу параллельно соединенных конденсаторов, определяется по выражению:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

**Пример:** один конденсатор 15 квар, два по 30 квар и один 60 квар соединены параллельно и подключены на напряжение 440 В с частотой 50 Гц.

$$Q_T = 15 \text{ квар} + 30 \text{ квар} + 30 \text{ квар} + 60 \text{ квар} = 135 \text{ квар}$$

$$C_T = \frac{135000 \text{ вар}}{(440\text{В})^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Гц}} = 0,00221961 \text{ Ф} = 2219,61 \text{ мкФ}$$

$$I_T = \frac{135000 \text{ вар}}{\sqrt{3} \cdot 440 \text{ В}} = 177,14 \text{ А}$$

## Конденсаторы и реактивные сопротивления фильтров при наличии гармоник

### КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ (ОТСТРОЙКИ) (P%)

$$p(\%) = 100 \cdot \left( \frac{f_{\text{ред}}}{f_{\text{резон.}}} \right)^2$$

где:

$f_{\text{ред}}$  - частота сети (Гц),

$f_{\text{резон.}}$  - частота отстройки (резонансная), в герцах (Гц),

$p(\%)$  - коэффициент перенапряжения (отстройки).

Наиболее распространенные значения резонансных частот пассивных LC-фильтров (см. UNE-EN-61642):

Частота сети	$p=7\%$ ( $3\% < \text{THD-U} < 7\%$ )	$p=14\%$ ( $\text{THD-U} > 7\%$ )
50 Гц	189 Гц	134 Гц
60 Гц	227 Гц	160 Гц

### НАПРЯЖЕНИЕ НА ВЫВОДАХ КОНДЕНСАТОРА ( $U_c$ )

$$U_c = U \cdot \left( 1 + \frac{P}{100} \right)$$

где:

$U$  - напряжение сети ( $V_{\text{сн}}$ ),

$p$  - коэффициент перенапряжения (%),

$U_c$  - напряжение на выводах конденсатора (В).

### ЕМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРА ПРИ РАБОТЕ СОВМЕСТНО С ДРОССЕЛЕМ ( $C_{\text{RCT}}$ )

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U}$$

где:

$Q$  - мощность конденсатора (вар),

$U$  - напряжение сети (В),

$I_c$  - ток конденсатора (А).

$$C_{\text{RCT}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_c}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_c}$$

где:

$f$  - частота сети (Гц),

$U_c$  - напряжение на выводах конденсатора (В).

## Конденсаторы и реактивные сопротивления фильтров при наличии гармоник

### ИНДУКТИВНОЕ РЕАКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ФИЛЬТРА ( $X_L$ )

$$X_L = X_C \cdot \frac{\rho}{100}$$

где:

$X_L$  - индуктивное реактивное сопротивление (Ом),

$X_C$  - емкостное реактивное сопротивление (Ом),

$\rho$  - коэффициент перенапряжения (отстройки), в процентах.

### ИНДУКТИВНОСТЬ ДРОССЕЛЯ (L)

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

Где:

L - индуктивность (Гн),

$X_L$  - индуктивное реактивное сопротивление (Ом),

f - частота сети (Гц).

**Пример:** конденсатор и дроссель для получения 30 квар – 440 В – 50 Гц, отстроенные на 189 Гц

$$\rho(\%) = 100 \cdot \left( \frac{50 \text{ Гц}}{189 \text{ Гц}} \right)^2 = 7\%$$

$$U_c = 440 \text{ В} \cdot \left( 1 + \frac{7}{100} \right) = 470,8 \text{ В}$$

$$I_c = \frac{30000 \text{ вар}}{\sqrt{3} \cdot 440 \text{ В}} = 39,36 \text{ А}$$

$$C_{\text{рст}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 39,36 \text{ А}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Гц} \cdot 470,8 \text{ В}} = 458,72 \text{ мкФ}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Гц} \cdot 458,72 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 6,94 \text{ Ом}$$

$$X_L = 6,94 \text{ Ом} \cdot \left( \frac{7}{100} \right) = 0,49 \text{ Ом}$$

$$L = \frac{0,49 \text{ Ом}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Гц}} = 0,00155 \text{ Гн} = 1,55 \text{ мГн}$$



## Реактивная мощность батареи конденсаторов

### КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ УСТАНОВКИ (FP ИЛИ COS (φ<sub>0</sub>))

$$FP = \cos(\varphi_0) = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Здесь:

*P* - суммарная активная мощность, потребляемая электроустановкой (кВт·ч),

*Q* - суммарная реактивная мощность, потребляемая электроустановкой (квар·ч),

*FP* или *cos(φ<sub>0</sub>)* - исходный коэффициент мощности установки.

$$\varphi_0 = \arccos(FP)$$

### МОЩНОСТЬ БАТАРЕИ КОНДЕНСАТОРОВ (Q<sub>Б</sub>)

$$Q_B = F \cdot (\tan(\varphi_0) - \tan(\varphi_f))$$

Здесь:

*F* - заявленная активная мощность установки (кВт),

*tan(φ<sub>0</sub>)* - тангенс начального угла,

*tan(φ<sub>f</sub>)* - тангенс конечного угла,

*Q<sub>Б</sub>* - реактивная мощность батареи (квар).

### ВЫБОР ЗНАЧЕНИЯ ТАНГЕНСА ТРЕБУЕМОГО УГЛА (φ<sub>f</sub>):

$$FP_{\text{final}} = \cos(\varphi_f) \rightarrow \tan(\varphi_f)$$

**Пример:** Оборудование с заявленной мощностью 40 кВт, потребляет активную энергию 10150 кВт·час и реактивную энергию 10400 квар·час. Желаемое значение коэффициента мощности - 1.

$$FP = \cos(\varphi_0) = \frac{10150 \text{ кВт·час}}{\sqrt{(10150 \text{ кВт·час})^2 + (10400 \text{ квар·час})^2}} = 0,698$$

$$\tan(\varphi_0) = 1,026$$

$$\tan(\varphi_f) = 0,000$$

$$\left. \begin{array}{l} \tan(\varphi_0) = 1,026 \\ \tan(\varphi_f) = 0,000 \end{array} \right\} Q_B = 40 \text{ кВт} \cdot (1,026 - 0,000) = 41,04 \text{ кВт}$$