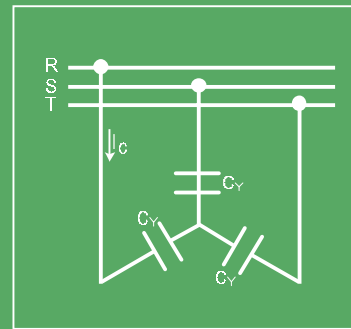
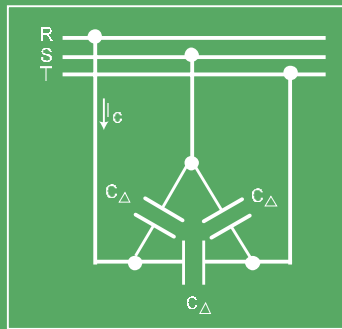


Электрические Конденсаторы



Общие сведения

Конденсатор представляет собой устройство, предназначенное для накопления электрического заряда. Одной из наиболее важных областей применения конденсаторов является коррекция коэффициента мощности (см. главу «Компенсация реактивной мощности»).

Материалы, используемые в конденсаторе, зависят от области его применения. Компания **RTR Energia S.L.** выпускает цилиндрические конденсаторы с полипропиленовой пленкой, металлизированной алюминием и цинком, что придает им способность к самовосстановлению и снижает возможные потери. В зависимости от величины рабочего напряжения эта пленка имеет различную толщину. При этом слои металлизации выступают в роли проводников тока (т.е. обкладок), а полипропилен является диэлектриком.

После выполнения необходимых технологических операций и прохождения контроля качества емкостные элементы (рулоны) помещаются в алюминиевые или пластиковые гильзы и заливаются полиуретановой смолой, нетоксичной и обладающей высокими экологическими характеристиками. Эта смола разработана в химической лаборатории компании **RTR Energia S.L.** и может использоваться при изготовлении других типов конденсаторов и прочего электрического оборудования, требующего герметизации.



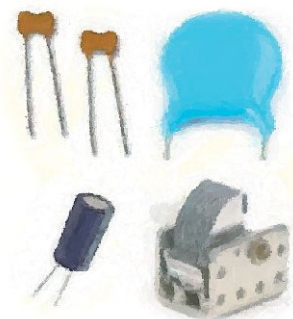
Трехфазный конденсатор



Емкостной элемент

ДРУГИЕ ТИПЫ КОНДЕНСАТОРОВ

- **Слюдяные конденсаторы:** применяются на высоких частотах и в устройствах электро-связи.
- **Керамические конденсаторы:** применяются в устройствах телекоммуникации при наличии ограничений, связанных с габаритами используемых компонентов.
- **Электролитические конденсаторы:** используются преимущественно в схемах выпрямителей для получения постоянного тока.
- **Подстроечные конденсаторы:** их емкость может регулироваться в зависимости от требований конкретной схемы.



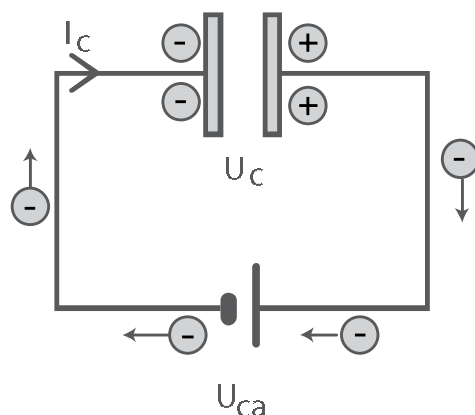
Виды конденсаторов

Электрические функции конденсаторов

Конденсатор используется для накопления электрической энергии. Конденсатор заряжен, когда напряжение на его обкладках U_c достигает уровня напряжения источника питания U_{ca} .

Движение электронов между обкладками конденсатора вызывает появление электрического емкостного тока I_c , который, протекая по цепи, обеспечивает конденсатор электрической энергией, порождающей электрическое поле между обкладками конденсатора.

Когда ток I_c в цепи прекратится, электрическая энергия останется запасенной в конденсаторе (в виде энергии электрического поля).



ЗАРЯД КОНДЕНСАТОРА

Количество электронов, перемещающихся в процессе заряда конденсатора (Q), измеряется в Кулонах (Кл) и по размерности соответствует Амперам, умноженным на секунду ($A \cdot c$). Заряд – это количество электричества, запасенное в конденсаторе.

$$Q = I \cdot t$$

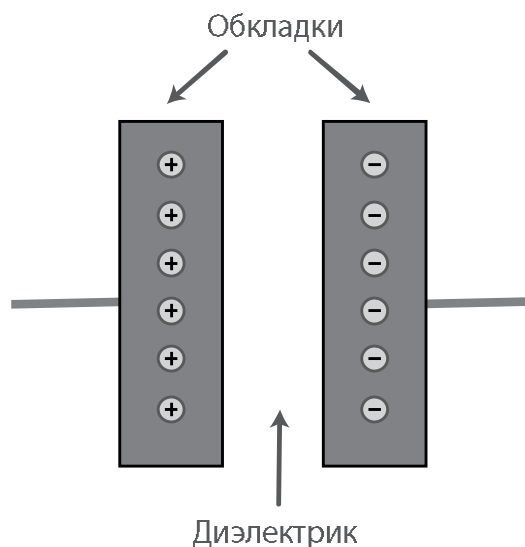
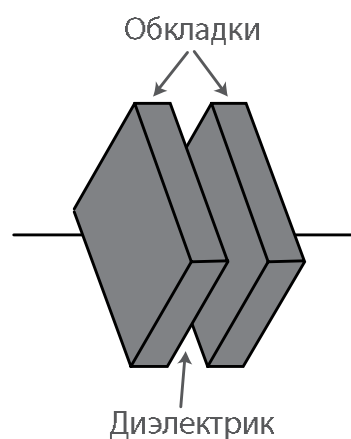
I = Амперы (A)

t = Секунды (c)

После того, как конденсатор зарядился, этот заряд сохраняется даже при отключении внешнего источника электрической энергии, поскольку между обкладками конденсатора есть разность потенциалов, а значит, сохраняется и сила притяжения между обкладками.

По этой причине к выводам силовых конденсаторов подключаются разрядные резисторы, что позволяет избежать разряда конденсатора при прикосновении к нему обслуживающего персонала.

Указанные резисторы должны соответствовать требованиям стандарта **EN-60831-1-2 (раздел 22)** для трехфазных силовых конденсаторов и стандарта **EN-61048-49** для конденсаторов осветительных установок.



Емкость и диэлектрик

На работу конденсатора большое влияние оказывает напряжение, поскольку вместе с изменением его величины изменяется и величина заряда. Отношение величины заряда (Q) к питающему напряжению (U) является постоянной величиной, зависящей от конструкции конденсатора, и называется емкостью (C), измеряемой в фарадах (Φ).

$$C = \frac{Q}{U} \quad Q = [\text{Кулоны}] \quad U = [\text{Вольты}] \quad C = [\text{Фарады}]$$

Конденсатор обладает емкостью 1 фарад, когда он способен сохранять заряд в 1 кулон при напряжении 1 вольт между его обкладками.

В соответствии с **основным соотношением для конденсатора**, чем больше площадь обкладок, тем больше емкость конденсатора, и, с другой стороны, чем больше расстояние между обкладками (толщина диэлектрика), тем емкость конденсатора меньше. При этом напряженность электрического поля E конденсатора определяется как:

$$E = \frac{U}{d} \left(\frac{B}{M} \right)$$

ДИЭЛЕКТРИК И ЕГО САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ

В настоящее время в конденсаторах в качестве диэлектриков применяется металлизированная алюминием или цинком полипропиленовая пленка различной толщины, зависящей от расчетной величины напряжения между обкладками конденсатора.

В соответствии с приведенным выше основным соотношением для конденсатора, чем меньше толщина диэлектрического слоя, тем выше напряженность электрического поля. Это приводит к постепенному уменьшению габаритов конденсаторов, поскольку расстояние между их обкладками составляет величину, близкую к толщине пленки, т.е. единицы микрон.

Таблица кратных величин

10°	Приставка	Обозначение
10^{-1}	деци	d
10^{-2}	санتي	c
10^{-3}	милли	m
10^{-6}	микро	μ
10^{-9}	нано	n
10^{-12}	пико	p

Основное соотношение для конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{S}{d}$$

C : емкость конденсатора, Φ .

S : площадь обкладок, m^2 .

d : толщина диэлектрика, м.

ε : отн. диэлектрическая проницаемость.

Различные диэлектрики

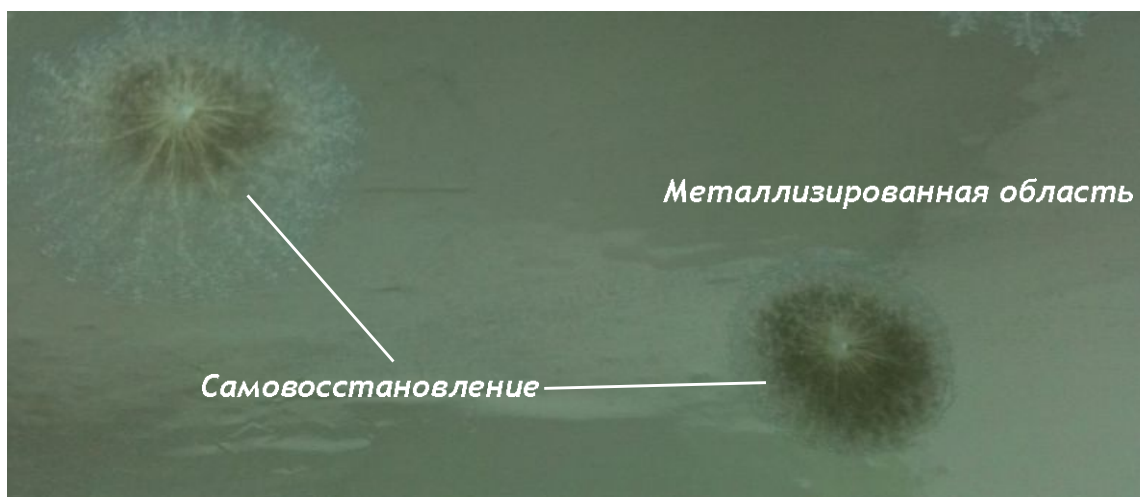
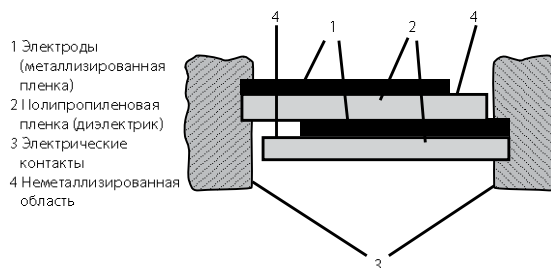
Вещество	ε
Воздух	1
Полипропилен	2,2
Минеральное масло	2,3
Полиэфир	3,3
Бумага	3,5
Трансформаторное масло	4,5
Боросиликатное стекло	4,7
Слюда	5,4
Фарфор	6,5
Кремний	12

Для любого диэлектрика существует предельная разность потенциалов на единицу его толщины, при которой он может работать без разрушения. Эта предельная величина называется электрической прочностью.

В некоторых режимах работы систем электропитания или при воздействии чрезмерных температур, недопустимых для конденсатора, указанная предельная разность потенциалов может быть превышена. Это может привести к пробое диэлектрика и образованию электрической дуги между обкладками конденсатора.

Эффект самовосстановления полипропиленовой пленки состоит в том, что электрическая дуга не приводит к короткому замыканию, а вызывает испарение металла вокруг точки пробоя. Таким образом, изоляция между обкладками в районе точки пробоя восстанавливается.

После такого самовосстановления конденсатор может работать в обычном режиме с небольшим снижением емкости, не превышающим 100 пФ.



В ходе контроля качества металлизированной полипропиленовой пленки в компании **RTR Energia S.L.** осуществляется принудительный пробой диэлектрика (полипропилена) и производится наблюдение за процессом самовосстановления. На фотографии показаны области испарившегося металла; при этом конденсатор сохранил работоспособность.

Влияние напряжения на конденсатор

ПОСТОЯННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

При включении конденсатора на постоянное напряжение U_{cc} , происходит резкое возрастание тока, величина которого ограничивается омическим сопротивлением конденсатора, которое очень мало. С увеличением напряжения между обкладками величина тока постепенно уменьшается.

По окончании заряда конденсатора ток становится равным нулю. В установившемся режиме на постоянном напряжении конденсатор эквивалентен обрыву цепи.

В ходе разряда конденсатора напряжение и ток уменьшаются с сохранением отношения между ними и одновременно становятся равными нулю.

Время заряда и разряда прямо пропорционально величинам емкости и сопротивления цепи. Следовательно, при изменении величины сопротивления процесс заряда или разряда может протекать быстрее или медленнее.

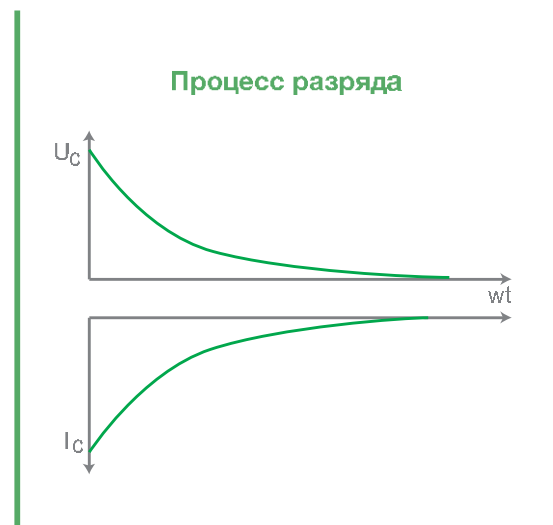
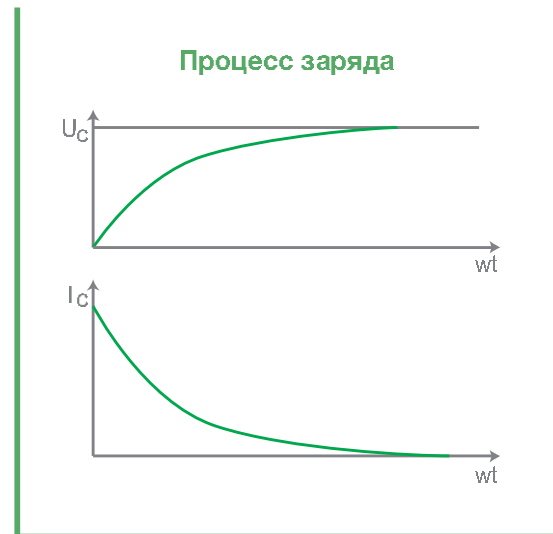
Постоянная времени τ – это время, за которое конденсатор заряжается до 63% величины приложенного напряжения. Оно может быть записано следующим образом:

$$\tau = R \cdot C$$

R = омы (Ом)

C = фарады (Ф)

В теории процесс заряда или разряда конденсатора происходит за бесконечное время по экспоненте, асимптотически стремящейся к установившемуся значению. На практике процесс заряда или разряда считают закончившимся по истечении времени, равному пятикратной величине постоянной времени τ .



Влияние напряжения на конденсатор

ПЕРЕМЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

При подключении конденсатора к источнику переменного напряжения его обкладки попеременно и периодически заряжаются положительным и отрицательным потенциалом в соответствии с протекающим в цепи переменным током.

Конденсатор периодически заряжается и разряжается, т.е. эти два процесса протекают практически одновременно вследствие наличия в цепи переменного тока. Этот периодический процесс вызывает изменение направления протекания тока в тот момент, когда его значение становится равным нулю. Так же как и на постоянном токе, конденсатор выступает в роли сопротивления с конечной величиной, измеряемой в омах:

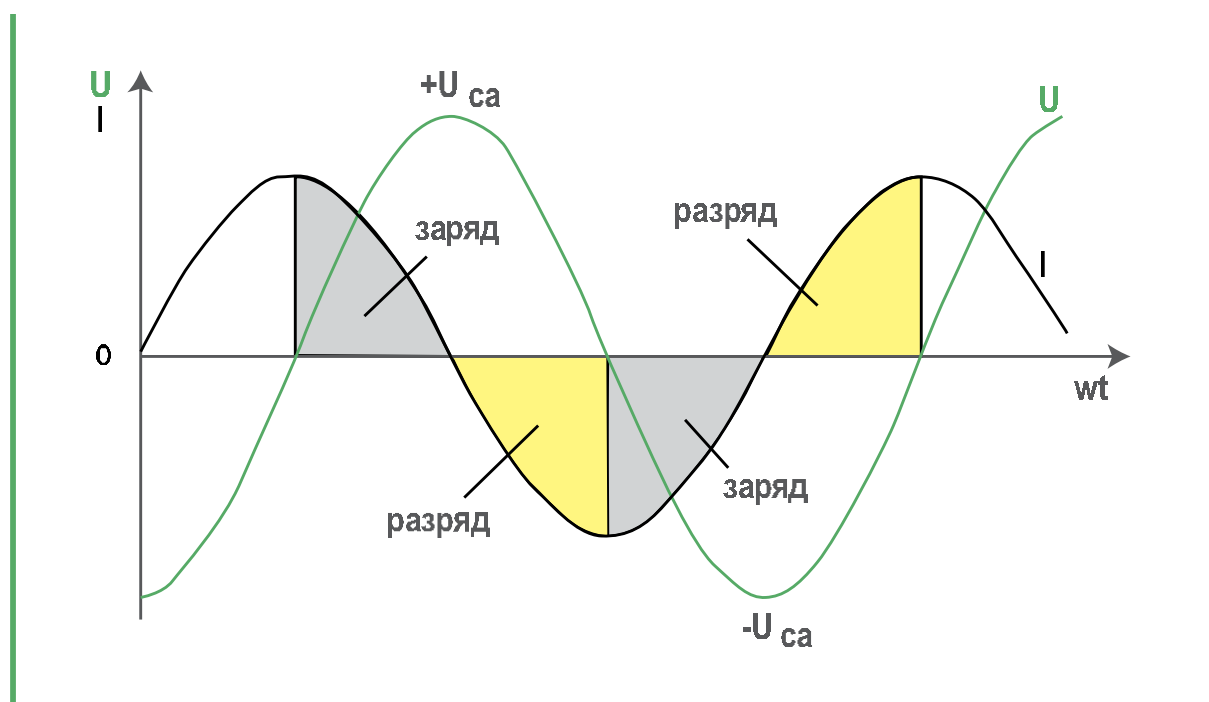
$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \text{ (Ом)} \quad \begin{array}{l} f = \text{частота (Гц)} \\ C = \text{фарады (Ф)} \end{array}$$

Когда значение тока становится равным нулю, процесс заряда конденсатора заканчивается, поскольку он будет заряжен полностью в конце положительной полуволны тока при значении напряжения $+U_{ca}$ и в конце отрицательной полуволны тока при значении напряжения $-U_{ca}$.

Процесс разряда происходит по достижении током максимального значения, т.е. когда величина напряжения приближается к нулю.

Полный заряд и разряд конденсатора происходит за полупериод напряжения питания. Длительность периода напряжения сети в большинстве европейских стран составляет 20 миллисекунд, и конденсатору потребуется половина этого времени для полного заряда или разряда.

$$T_{\text{заряда и разряда}} = 10 \text{ мс}$$



Однофазные конденсаторы

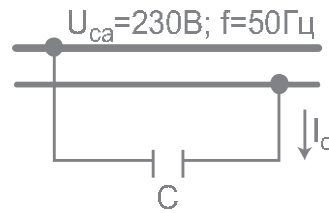
Однофазные конденсаторы могут подключаться между фазами или между фазой и нейтралью.

Реактивная мощность конденсатора (Q) измеряется в варах («вольт-ампер-реактивный») и определяется следующим образом:

$$I_c = \frac{U_{ca}}{X_c} = \frac{U_{ca}}{\frac{1}{\omega \cdot C}} = U_{ca} \cdot \omega \cdot C = U_{ca} \cdot 2\pi \cdot f \cdot C$$

$$Q = U_{ca} \cdot I_c = U_{ca} \cdot (U_{ca} \cdot 2\pi \cdot f \cdot C) = U_{ca}^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C$$

Q, реактивная мощность конденсатора [вар]
f, частота сети [Гц]
C, емкость конденсатора [Ф]
U_{ca}, напряжение питания [В]
I_c, ток конденсатора [А]

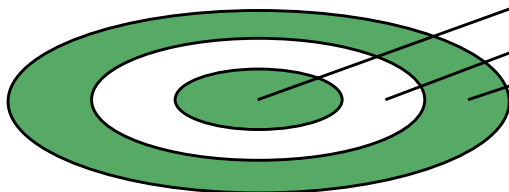


НАПРЯЖЕНИЕ 440 В

Ввиду влияния питающего напряжения на реактивную мощность конденсатора необходимо пояснить, почему подавляющее большинство производителей конденсаторов, в том числе и компания **RTR Energia S.L.**, проектируют свои конденсаторы на напряжение 440 В.

Такой выбор обеспечивает повышение надежности и срока службы конденсатора, поскольку при этом конденсатор гарантированно будет выдерживать перенапряжения со стороны сети, которые, в соответствии со стандартом **UNE-EN-50160**, могут достигать 10%.

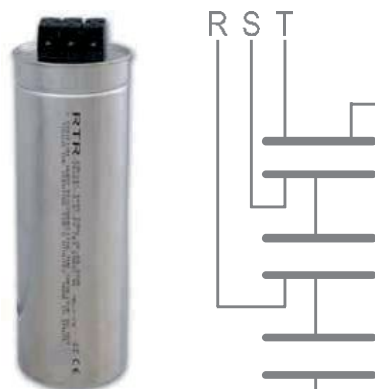
Стандарт EN-60831-1/2 устанавливает требования, в соответствии с которыми на промышленной частоте конденсатор должен выдерживать напряжение величиной $1,10 \cdot U_{ca}$ (440 В) в течение не менее чем 8 часов в сутки.



Удовлетворение потребностей клиентов
 Качество
 Проектные решения и инновационные идеи

Трехфазные силовые конденсаторы

Такие конденсаторы предназначены для подключения к трехфазной электрической сети (R-S-T), причем соединение отдельных емкостных элементов может быть выполнено двумя способами:



СОЕДИНЕНИЕ В ТРЕУГОЛЬНИК

Суммарная емкость конденсатора разделена на три отдельные емкости C_{Δ} (см. рисунок).

Если измерить емкость между двумя фазами, например R-S, то она не будет равна величине отдельной емкости C_{Δ} между фазами RS, а будет определяться как емкость параллельно соединенной $C_{\Delta}(RS)$ с последовательно соединенными $C_{\Delta}(RT)-C_{\Delta}(ST)$ (см. раздел G):

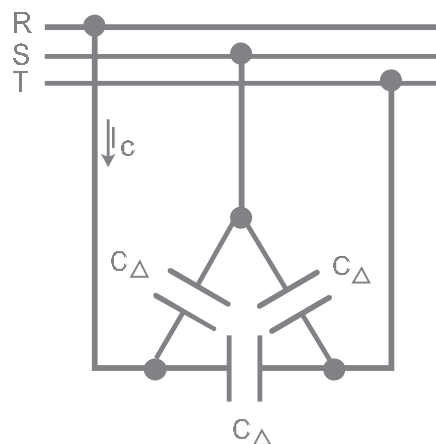
$$C_{RS} = C_{\Delta} + \frac{C_{\Delta} \cdot C_{\Delta}}{C_{\Delta} + C_{\Delta}} = 1,5 \cdot C_{\Delta}$$

Тогда реактивная мощность конденсатора (Q) и его емкостной ток (I_c) будут определяться соотношениями:

$$Q = 3 \cdot U_{ca}^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_{\Delta} \quad Q = [\text{вар}]$$

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U_{ca}} \quad C_{\Delta} = [\Phi]$$

$$f = [\text{Гц}]$$



СОЕДИНЕНИЕ В ЗВЕЗДУ

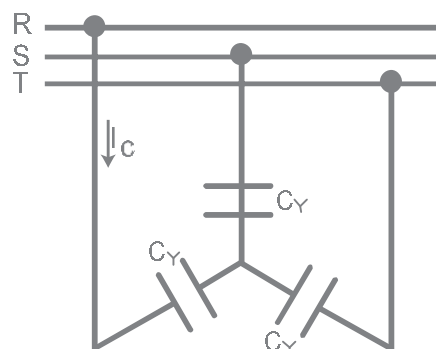
Эта схема соединения не так распространена и применяется в том случае, если линейное напряжение выше допустимой величины U_c для каждого конденсатора в отдельности:

$$U_{\text{соед}} = \frac{U_{ca}}{\sqrt{3}}$$

Ток I_c определяется так же, как и при соединении в треугольник, в то время как реактивная мощность рассчитывается по соотношению:

$$Q = U_{ca}^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_Y \quad Q = [\text{вар}] \quad C_Y = [\Phi]$$

$$f = [\text{Гц}]$$



Для трехфазной цепи:

$$Q_{\text{треуг.}} = 3 \cdot Q_{\text{звезда}}$$

Схемы соединения конденсаторов

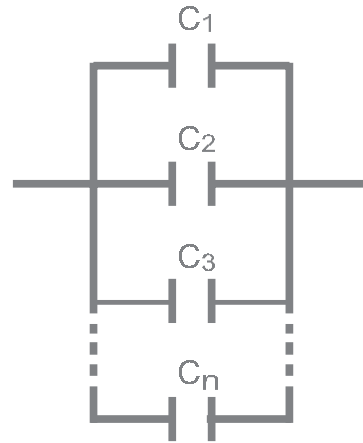
ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

При параллельном соединении конденсаторов эквивалентная емкость цепи будет равна сумме емкостей отдельных конденсаторов. Реактивные мощности также суммируются.

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

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

Ко всем конденсаторам при таком соединении приложено одинаковое напряжение. При этом допустимое напряжение является параметром, зависящим от конструктивных характеристик конденсатора.



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Если рабочее напряжение U_{ca} выше номинального значения напряжения конденсаторов, то они могут быть соединены последовательно. В этом случае к конденсаторам будут приложены разные напряжения в зависимости от их емкости и реактивной мощности. Как и при любом последовательном соединении, величина тока, протекающего в цепи, одинакова для всех конденсаторов.

Величина, обратная эквивалентной емкости последовательно соединенных конденсаторов (C_T) равна сумме величин, обратных значениям емкостей этих конденсаторов.

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

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



Эквивалентная реактивная мощность (Q_T) рассчитывается аналогично, т. е. величина, обратная общей эквивалентной реактивной мощности последовательно соединенных конденсаторов равна сумме величин, обратных значениям реактивных мощностей.

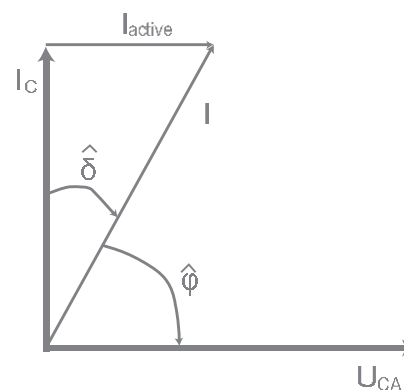
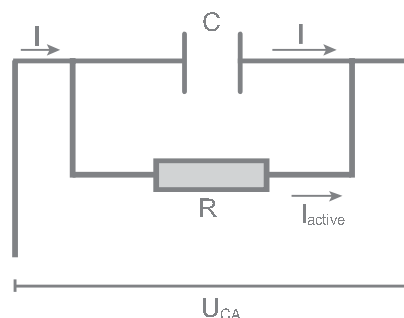
Тангенс угла потерь конденсатора

Тангенс угла диэлектрических потерь конденсатора ($\tan \delta$) – это величина, определяющая качество конденсатора и режим его работы. Потери в конденсаторе могут быть представлены эквивалентными потерями в активном сопротивлении (R).

В идеальном конденсаторе при отсутствии потерь угол сдвига фаз δ между током I_C и напряжением U_{CA} равен 90° .

Но это справедливо только для идеального случая, а в действительности каждый конденсатор имеет потери из-за неидеальности свойств полипропиленовой пленки, металлизации обкладок, внутренних контактных соединений, выводов конденсатора и т.д.

Наличие потерь приводит к тому, что угол сдвига фаз φ уже не равен 90° , и напряжение U_{CA} отстает по причине появления активной составляющей тока I_{active} на новый угол, обусловленный потерями $\varphi = 90^\circ - \delta$. Тангенс δ и представляет собой тангенс угла диэлектрических потерь конденсатора.



$$\tan \delta = \frac{I_{active}}{I_C} = \frac{\frac{U_{CA}}{R}}{\frac{U_{CA}}{X_C}} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot R} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot R}$$

Мощность потерь (P_p) конденсатора, измеряемая в ваттах (Вт), определяется как

$$P_p = U_{CA} \cdot I \cdot \cos \varphi = U_{CA} \cdot I \cdot \sin \delta = Q \cdot \operatorname{tg} \delta$$

$$P_p = Q \cdot \operatorname{tg} \delta$$

$$P_p = [Bm] \quad Q = [BAp]$$

Емкость конденсатора с течением времени уменьшается, что приводит к постепенному увеличению величины потерь, поскольку между тангенсом угла потерь и емкостью существует обратная пропорциональная зависимость.

Компания **RTR Energija S.L.** уделяет первостепенное внимание **качеству** своей продукции и использует лучшие виды металлизированной пленки, производимой в Евросоюзе.

Высокое качество производственного процесса дает гарантию, что потери мощности конденсатора не превысят значения 0,5 Вт/квар.

Меры предосторожности и безопасности

При работе с конденсаторами необходимо принимать ряд мер безопасности. Когда конденсатор отключается от напряжения, он остается заряженным до уровня питающего напряжения. Закоротив обкладки конденсатора или коснувшись их, можно создать опасную для жизни аварийную ситуацию вследствие интенсивного разряда конденсатора.

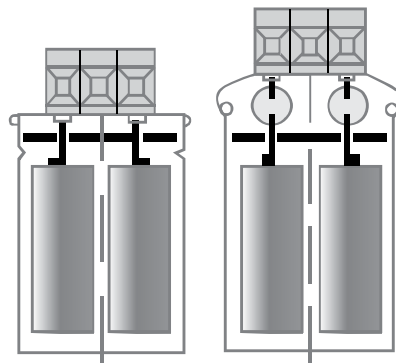
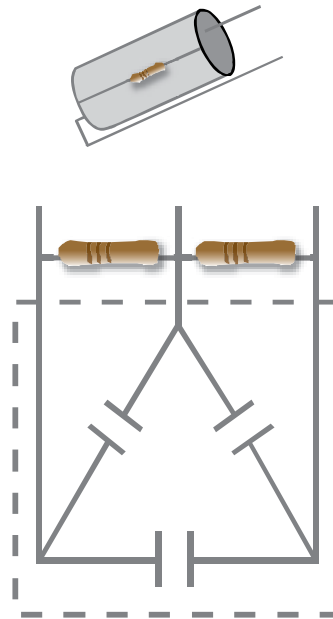
Стандарты **EN-61048** и **EN-60252** устанавливают необходимость наличия в конденсаторах, предназначенных для систем освещения и электродвигателей, встроенных разрядных сопротивлений, которые обеспечивают разряд конденсатора до напряжения менее 50 В в течение 60 секунд с момента отключения напряжения.

Аналогично, трехфазные конденсаторы должны быть оснащены разрядными сопротивлениями, которые обеспечивают разряд конденсатора с максимального значения напряжения до 75 В в течение 3 минут с момента отключения напряжения, что соответствует требованиям стандарта **EN-60831-1/2**, приложение В.

СИСТЕМА ОТКЛЮЧЕНИЯ

Наличие потенциально опасных режимов работы, таких как перенапряжения, сверхтоки или воздействие высоких температур, стали основанием для разработки компанией **RTR Energia S.L.** системы отключения при избыточном давлении, которая срабатывает за счет расширения и деформации крышки клеммной коробки, что приводит к размыканию контактных выводов внутри емкостного элемента.

Для обеспечения правильного и надежного функционирования системы отключения чрезвычайно важно, чтобы смола, заполняющая корпус, имела свойства, исключающие скопление газов при плавлении металла. Она должна обеспечить возможность этим газам подниматься вверх, к крышке, для надежного функционирования системы отключения. В компании **RTR Energia S.L.** существует **Химический отдел**, который разрабатывает и производит смолы с характеристиками, необходимыми для конкретного применения.



Условия эксплуатации

ТЕМПЕРАТУРА

Конденсаторы должны нормально функционировать в следующих температурных пределах:

Максимальная	55°C
Среднесуточная	45°C
Среднегодовая	35°C

Это означает, что конденсатор никогда не должен достигать температуры свыше 55°C, а также находиться более 24 часов при 45°C или более года при температуре выше 35°C.

НАПРЯЖЕНИЕ

Максимальная величина превышения напряжения, которую способен выдержать конденсатор, составляет 1,10 от величины номинального напряжения, как это показано на [Схеме Е](#).

ТОК

Максимальное значение тока, допустимое для конденсатора, составляет 1,5 от номинального тока ($1,5 \cdot I_n$).

ВЫСОТА НАД УРОВНЕМ МОРЯ

Высота над уровнем моря места установки конденсаторов не должна превышать 2000 м. При больших значениях ухудшаются условия теплоотвода, и это необходимо учитывать при выборе типоразмера конденсатора.

ГАРМОНИКИ

Допустимый гармонический состав определяется с учетом предельных значений гармоник тока и напряжения. Эти значения приведены ниже:

THDU _{max}	2%
THDI _{max}	25%

THD – Total Harmonic Distortion (суммарное значение коэффициента нелинейных искажений)

