



# Техническое руководство по энергоэффективности

Как выбирать и обслуживать контакторы  
конденсаторных батарей?

[www.schneider-electric.ru](http://www.schneider-electric.ru)

Life Is On

**Schneider**  
Electric

# Энергоэффективность



Решение для повышения  
компенсации коэффициента  
МОЩНОСТИ

# Содержание

Введение .....	4
Преимущества компенсации коэффициента реактивной мощности.....	5
Руководство по выбору контакторов и защиты для ступенчатой конденсаторной батареи (без дросселя).....	7
Регулировка ступеней конденсатора, конкретное применение .....	7
Контакторы LC1D•К для конденсаторов.....	7
Техническое обслуживание .....	8
Программа технического обслуживания конденсатора .....	8
Осмотр контакторов .....	8
Конкретная информация о принципе действия конденсатора .....	9
Пример одиночной стационарной конденсаторной батареи.....	9
Выбор оборудования для одиночной стационарной конденсаторной батареи .....	11
Пример ступенчатой конденсаторной батареи .....	12
Выбор оборудования для ступенчатой конденсаторной батареи.....	13
Что говорят стандарты?.....	14
Заключение .....	15

# Введение

## Определение коэффициента мощности

Активная мощность  $P$  (кВт) – действительная мощность, передаваемая потребителям, таким как электродвигатели, светильники, нагреватели и компьютеры. Электрическая активная мощность преобразуется в механическую мощность, тепло или свет.

- В цепи, где приложенное среднеквадратичное напряжение –  $V_{rms}$ , а циркулирующее действующее значение –  $I_{rms}$ , **фиксируемая мощность  $S$  (кВА)** рассчитывается как:
- Фиксируемая мощность является **основой для расчета электрических характеристик. Коэффициент мощности ( $\lambda$ )** – это отношение активной мощности  $P$  (кВт) к фиксируемой мощности  $S$  (кВА).

$$S = V_{rms} \times I_{rms}$$

$$\lambda = \frac{P \text{ (кВт)}}{S \text{ (кВА)}}$$



## Коэффициент мощности

снижают:

- **Реактивная мощность** (когда напряжение и ток сдвинуты по фазе)
- **Гармоники** (когда напряжение или ток искажены)

## Компенсация реактивной мощности / энергии

Как правило, расходы на электроэнергию включают в себя компоненты, относящиеся к активной и реактивной мощности, поглощенной с течением времени (активная и реактивная энергия). Обычно компенсация реактивной энергии достигается путем получения реактивной энергии вблизи потребляющей нагрузки посредством подключения конденсаторных батарей к сети электропитания.

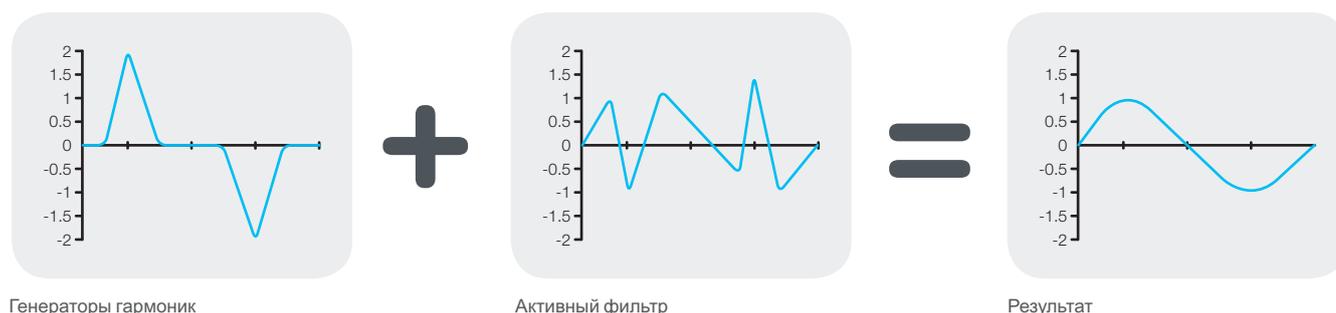
После этого поставщик электроэнергии должен поставлять только активную энергию.



## Фильтрация гармоник

Работа активного фильтра гармоник сходна с работой гарнитуры подавления шума:

- Активный фильтр подпитывается от электросети, устраняя искажения
- Потери напряжения и искажения снижаются.



# Преимущества компенсации коэффициента реактивной мощности

Нуждаетесь в простом решении для мгновенного повышения энергоэффективности на вашем объекте?

Компенсация коэффициента мощности помогает снизить эксплуатационные и капитальные затраты и обеспечить очень быстрый возврат инвестиций:

- **Снизьте капитальные затраты на 30 %**

Оптимизируйте производительность электрооборудования, предотвратите превышение номинальных размеров и ограничьте резервные мощности.

- **Сократите штрафы за потребление реактивной энергии и снизьте производственные расходы на 10 %**

Увеличьте коэффициент мощности для снижения коммунальных расходов и потери в трансформаторах и конденсаторах.

- **Снизьте потери электроэнергии на 30 %**

Оптимизируйте потребление электропитания, снизьте затраты энергии на весь процесс и выбросы CO<sub>2</sub>.

- **Повысьте надежность системы электропитания и оборудования на 18 %**

Повысьте качество электроэнергии для увеличения эффективности вашего бизнеса и снизьте количество незапланированных отключений, а также увеличьте надежность и срок службы электрических устройств, одновременно снижая гармонические напряжения и потенциальные повреждения электрической сети.

Коэффициент мощности	Повышающий коэффициент в зависимости от поперечного сечения кабеля
1	1
0,95	1,05
0,9	1,1
0,85	1,17
0,8	1,25
0,7	1,43

## Стационарные конденсаторы

Данное размещение использует один или несколько конденсаторов для формирования постоянного уровня компенсации коэффициента мощности. Управление может быть:

- Ручным: при помощи выключателя или прерывателя нагрузки
- Полуавтоматическим: при помощи контактора
- Прямое подключение к устройству, включение при помощи устройства.

Эти конденсаторы применяются:

- На клеммах индуктивных устройств (электродвигателей и трансформаторов)
- На электрических шинах, питающих многочисленные малогабаритные двигатели и устройства индуктивной нагрузки, для которых индивидуальная компенсация коэффициента мощности была бы слишком затратна
- В случаях, когда уровень нагрузки относительно постоянен.

## Автоматические конденсаторные батареи

Данное оборудование обеспечивает автоматическую регулировку компенсации коэффициента мощности и поддерживает данный коэффициент в пределах узких допусков на выбранном уровне.

Такое оборудование применяется в тех точках установки, где колебания активной и/или реактивной мощности относительно велики:

- На шинах общего энергоснабжения
- На клеммах питательного кабеля высокой нагрузки

# Преимущества компенсации коэффициента реактивной мощности

## Принципы работы и причины для использования автоматической компенсации коэффициента мощности

Конденсаторная батарея разделена на несколько участков, каждый из которых управляется контактором. Замыкание контактора переключает участки на параллельную работу с уже работающими другими участками.

Поэтому размер батареи можно изменять ступенчато, закрывая или открывая управляющие контакторы.

Управляющее реле контролирует коэффициент мощности управляемой (-ых) цепи (-ей) и расположено таким образом, чтобы закрывать и открывать соответствующие контакторы для поддержания умеренно постоянного коэффициента мощности системы (в пределах допусков, определяемых размером каждой ступени конденсаторной батареи).

Благодаря близкому согласованию компенсации коэффициента мощности и компенсации, требуемой токоприемником, можно избежать возможности возникновения перенапряжения в периоды низкой нагрузки, тем самым предотвращая состояние перенапряжения и возможное повреждение приборов и оборудования.

Перенапряжение ввиду чрезмерной компенсации коэффициента реактивной мощности частично зависит от **значения полного сопротивления источника**.

## Выбор между стационарной и автоматически регулируемой батареями конденсаторов

Там, где номинал конденсаторов в кВАр меньше или равен 15 % от номинального значения питающего трансформатора, целесообразно использовать фиксированное значение компенсации коэффициента мощности. Если уровень выше 15 %, рекомендуется установить **автоматически регулирующую конденсаторную батарею**.

От местоположения конденсаторов низкого напряжения в установке зависит режим компенсации коэффициента мощности, который может быть глобальным (одно местоположение на всю установку), частичным (по участкам), частным (на каждом отдельном устройстве), либо представлять собой сочетание двух перечисленных вариантов. В теории идеальная компенсация коэффициента мощности должна применяться в точке потребления, а ее уровень должен соответствовать уровню, требуемому в конкретный момент.

**На практике выбор осуществляется, исходя из технических и экономических факторов.**

# Руководство по выбору контакторов и защиты для ступенчатой конденсаторной батареи (без дросселя)

## Ступенчатое регулирование конденсатора, конкретное применение

Управление конденсатором сопровождается переходным режимом, возникающим от нагрузки конденсатора. Это может привести к массивной перегрузке, эквивалентной краткосрочному короткому замыканию. (Подробную информацию см. на стр. 9)



Такие повторяющиеся высокочастотные переходные перенапряжения могут повредить изоляцию конденсатора компенсации реактивной мощности и другие устройства, такие как трансформаторы.

## Контакторы LC1D•K для конденсаторов

Контакторы LC1-D•K разработаны для управления конденсаторами. Они имеют нормально разомкнутое переключение контактной группы и демпфирующий резистор, ограничивающий ток при включении. Данная технология уникальна и является предметом патента.



Обозначение	LC1DFK	LC1DGLK	LC1DLK	LC1DMK	LC1DPK	LC1DTK	LC1DVK12
Р <sub>макс</sub> @400 В θ ≤ 60°C	13 кВАр	16 кВАр	20 кВАр	25 кВАр	30 кВАр	40 кВАр	63 кВАр
Вспомогательные контакты	1НО + 2НЗ						
Ширина	45 мм	45 мм	45 мм	45 мм	55 мм	55 мм	85 мм
Размер	1	1	2	2	3	3	4

Руководство по выбору контакторов и соответствующей защиты предохранителя в соответствии с классом мощности ступени находится на стр. 8.

# Техническое обслуживание

## Программа технического обслуживания конденсатора

Чтобы убедиться в том, что финансовые преимущества (уменьшение затрат) достигнуты, необходимо проводить периодическое техническое обслуживание конденсаторов компенсации коэффициента мощности и управляющего коммутационного аппарата. Рабочие условия автоматической конденсаторной батареи включают в себя различные типы воздействий окружающей среды: колебания температуры, электростатическое напряжение (гармоники, переходной пусковой ток).

Чтобы поддерживать работу оборудования в течение всего срока эксплуатации установки, программа технического обслуживания должна выполняться систематически, чтобы обеспечить правильное функционирование оборудования, сохранить эксплуатационный ресурс и избежать серьезных неисправностей, взрыва и возгорания.

**Ежегодно проверяйте следующие компоненты:**

Программа технического обслуживания		Когда	
Тип проверки	Часть конденсаторной батареи	1 месяц после подачи питания	Один раз в год
Осмотр	Корпус		●
	Конденсаторы		●
	Контроллер		●
	Дроссели (при наличии)		●
	Контакты и демпфирующие резисторы	●	●
	Кабели и соединения		●
Проверка при включении	Настройки / аварийные сигналы контроллера		●
	Настройки защиты		●
	Состояние конденсатора		●
Проверка при выключении	Герметичность	●	●

**Примечание.** В автоматической батарее при неисправности одной из ступеней компенсация коэффициента мощности осуществляется другими ступенями; в таком случае решение в целом удовлетворяет поставленным требованиям, но каждый раз при включении неисправной ступени может возникать кратковременное искажение. В таком случае единственным способом обнаружения неисправности является регулярный осмотр.

## Осмотр контакторов

Контакторы снабжены блоком полюсов с опережением срабатывания и демпфирующими резисторами (внешними проводами сопротивления), ограничивающими значение тока при закрытии до 60 In макс. Такое ограничение тока увеличивает срок службы всех компонентов установки, особенно предохранителей и конденсаторов.

**Осмотр заключается в:**

- Проверке наличия демпфирующих резисторов;
- оценке возникновения перегрева;
- проверке наличия пыли, сырости и т. п.;
- осмотре электрических соединений.

**Если демпфирующие резисторы повреждены или отсутствуют:**

- необходимо немедленно заменить контактор;
- необходимо проверить конденсаторы, работающие от соответствующего контактора.

**Если конденсатор поврежден и заменен, соответствующий контактор также подлежит замене.**



Пример поврежденных демпфирующих резисторов

**При замене контакторов необходимо соблюдать следующие правила:**

- Используйте подходящие соединители
- Момент затяжки должен соответствовать моменту, указанному Schneider Electric
- Обращайтесь с проводами резисторов осторожно, чтобы избежать создания начальной точки разрыва на обжимных тегах
- Повторно затяните разъемы спустя месяц после ввода в эксплуатацию, затем затягивайте их один раз в год.

# Конкретная информация о принципе действия конденсатора

Управление конденсатором сопровождается переходным режимом, возникающим от нагрузки конденсатора. Это может привести к массивной перегрузке, эквивалентной краткосрочному короткому замыканию

## Пример одиночной стационарной конденсаторной батареи\*

\* Одиночный стационарный конденсатор: без крупных повреждений, без особого ухода

Сетевое питание в восходящем направлении считается чистой индуктивностью  $L_a$ , такой как:

$$L_a \omega = \frac{U_n^2}{S_{sc}} = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_{sc}}$$

$U_n$  : номинальное межфазное напряжение

$I_{sc}$  : симметричное трехфазное короткое замыкание цепи на точке соединения конденсатора

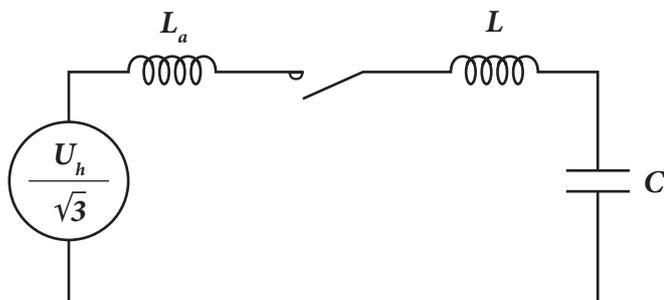
$S_{sc}$  : мощность короткого замыкания на точке соединения конденсатора

По определению:

$$S_{sc} = \sqrt{3} \times U_n \times I_{sc}$$

Линия передачи между размыкающим устройством (контактором, силовым выключателем или переключателем) и конденсаторной батареей также считается чистой индуктивностью.

Эквивалентная однофазная схема соответствует схеме на рисунке ниже:



Упрощенная схема стационарной конденсаторной батареи

$L_a$  : индуктивность питающей цепи в восходящем направлении

$L$  : индуктивность линии передачи между размыкающим устройством и конденсаторной батареей

Мы видим, что максимальный ток включения равен:

$$\hat{I}_e = \sqrt{\frac{2}{3}} U_n \sqrt{\frac{C}{L_a + L}}$$



$L$  – незначительна в присутствии  $L_a$ , следовательно:

$$\hat{I}_e = \sqrt{\frac{2}{3}} U_n \sqrt{\frac{C}{L_a}}$$

# Конкретная информация о принципе действия конденсатора

Частота свободных колебаний данной цепи равна:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_a C}}$$

Его продолжительность равна продолжительности кратковременного цикла короткого замыкания или нескольким десяткам миллисекунд.

Мы можем сравнить данный ток с номинальным током конденсаторной батареи:

$$I_{нсара} = C\omega \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$

Следовательно:

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{нсара}} = \sqrt{2} \times \frac{1}{\omega \sqrt{L_a C}}$$

Используя:

$$L_a \omega = \frac{U_n^2}{S_{sc}} \quad \text{и} \quad Q = C\omega U_n^2$$

Получаем:

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{нсара}} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}}$$

Максимальный ток сопровождается перенапряжением, максимальное напряжение которого может быть почти в два раза выше максимального напряжения сетевого питания.

Пример:

Предположив, что стационарная конденсаторная батарея реактивной мощности 250 кВАр с линейным межфазным напряжением  $U_n = 400 \text{ В}$  питается от электросети максимальной мощности короткого замыкания  $S_{sc} = 20 \text{ МВА}$ , мы получим:

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{нсара}} = \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}}$$

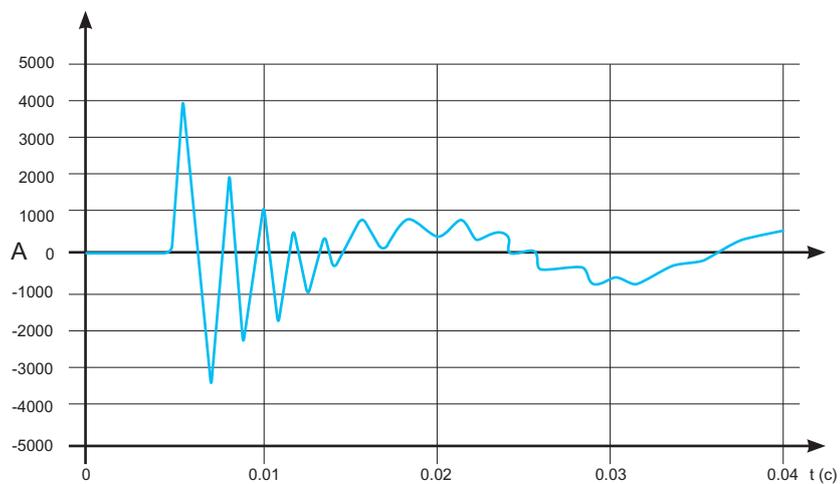
$$\frac{\hat{I}_e}{I_{нсара}} = \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{20 \cdot 10^6}{250 \cdot 10^3}} = 12.6$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_a C}}$$

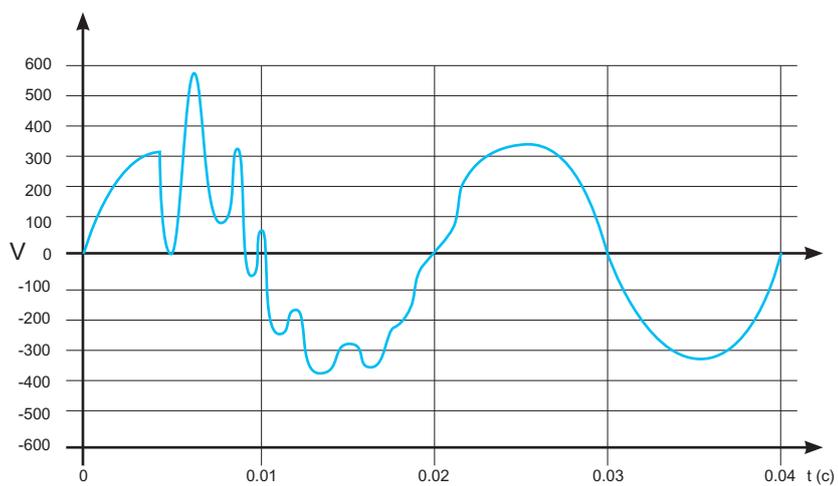
$$f_0 = \frac{\omega}{2\pi} \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}} = 50 \times \sqrt{\frac{20 \cdot 10^6}{250 \cdot 10^3}} = 447 \text{ Hz}$$

Максимальный ток включения в данном примере в 12,6 раз превышает номинальный ток конденсаторной батареи, а его собственная частота равна 447 Гц.

Рисунки на следующей странице представляют ток переключения и напряжение сетевого питания при возникновении переключения.



Ток коммутации



Напряжение сетевого питания при переключении

## Выбор оборудования для стационарной конденсаторной батареи

Эти переходные состояния не вызывают чрезмерного напряжения для защиты и/или управляющего устройства.

# Конкретная информация о принципе действия конденсатора

## Пример ступенчатой конденсаторной батареи\*

(или нескольких стационарных конденсаторных батарей, подсоединенных к одной шине).

\* Ступенчатый конденсатор: большое искажение = особый контактор и особая осторожность

Эквивалентная однофазная схема для этапов ( $n+1$ ) конденсаторной батареи соответствует схеме на рисунке ниже:

Мы видим, что максимальный ток включения выражается как:

$$\hat{I}_e = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{n}{n+1} \times U_n \times \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Мы можем сравнить данный ток с номинальным током ступени  $I_{нсара}$

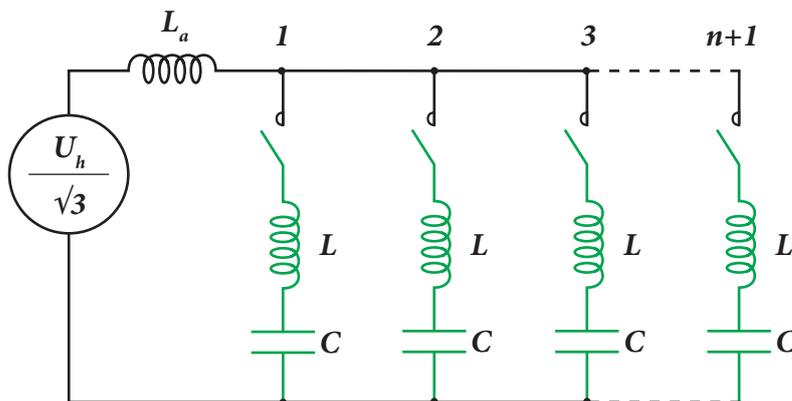
$$I_{нсара} = C\omega \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$



Это дает нам:

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{нсара}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{n}{n+1} \times U_n \times \frac{1}{\sqrt{Q\omega L}}$$

где Q = реактивная мощность ступени



Упрощенная схема ступенчатой конденсаторной батареи

$L_a$  : индуктивность питающей цепи в восходящем направлении

$L$  : индуктивность линии передачи между размыкающим устройством и конденсаторной батареей (0,5 мкГн/м)

Максимальный ток включения  $\hat{I}_e$  принимает максимальное значение, когда используется  $n$  ступеней и включена ступень  $n+1^{th}$ .

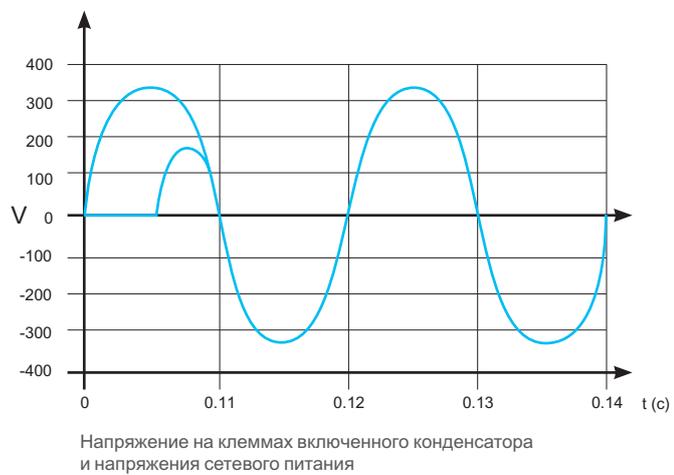
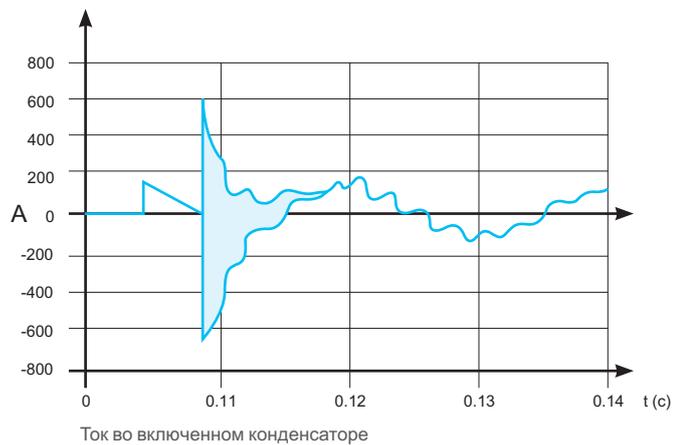
В данную ступень разряжаются все остальные. Поскольку индуктивности ( $L$ ) очень низки, данный коммутируемый ток очень высок (он зависит от индуктивности  $L_a$  сетевого питания).

### Пример:

Предположим, что батарея с шестью ступенями, каждая по 50 кВАр, и межфазным напряжением величиной **400 В** находится в 1 метре от связанного с ней размыкающего устройства. Получаем:

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{нсара}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{n}{n+1} \times U_n \times \frac{1}{\sqrt{Q\omega L}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{5}{6} \times 400 \times \frac{1}{\sqrt{50 \times 10^3 \times 314 \times 0.5 \times 10^6}} = 168$$

Величина максимального тока включения в данном примере в 168 раз превышает номинальный ток ступени конденсаторной батареи. Конденсаторы и размыкающие устройства не могут выдержать такой высокий ток, а следовательно, необходимо использовать устройство для ограничения коммутируемого тока.

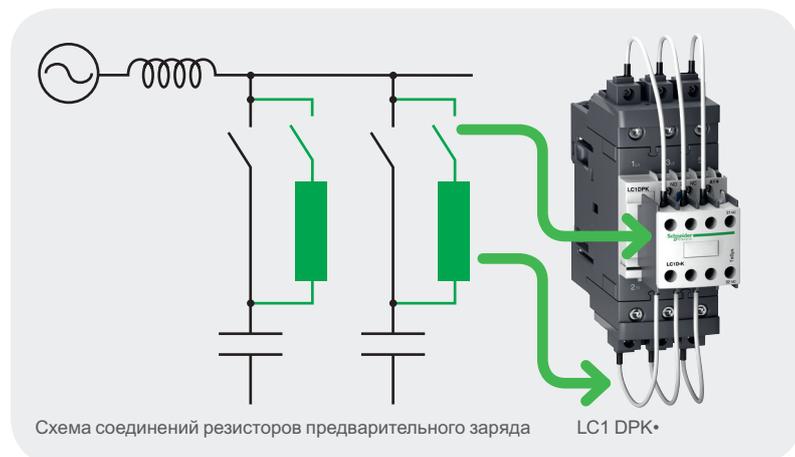


Примечание. Если невозможно использовать контакторы, специально предназначенные для управления конденсаторами, необходимо использовать дроссели, которые ограничивают ток при включении.

# Конкретная информация о принципе действия конденсатора

## Выбор оборудования для ступенчатой конденсаторной батареи

Коммутационные токи ограничены резисторами предварительного заряда; принцип работы показан на рисунке ниже:



Каждая ступень конденсаторной батареи должна управляться контактором, оснащенным вспомогательными контактами. Резисторы последовательно соединяются со вспомогательными контактами.

При замыкании контактора вспомогательные контакты мгновенно закрываются, обеспечивая предварительную зарядку от резисторов. Примерно через 3 мс основные контакты замыкаются, закорачивая резисторы, после чего открываются вспомогательные контакты.

**С такими разъемами ни для одноступенчатых, ни для многоступенчатых конденсаторных батарей дроссельные индукторы не требуются.**

Мощность ступени при 400 В кВАр	400 В ток ступени в А	Степень защиты предохранителя (кривая gG)	Контактор для применения конденсатора	Q <sub>макс</sub> 400 В $\Theta \leq 60^\circ\text{C}$
2,5	3,6	6,3 А	LC1 DFK••	-
5	7,2	16 А	LC1 DFK••	-
6,25	9,0	16 А	LC1 DFK••	-
7,5	10,8	20 А	LC1 DFK••	-
10	14,4	25 А	LC1 DFK••	-
12,5	18,0	32 А	LC1 DFK••	13 кВАр
15	21,7	40 А	LC1 DGK••	16 кВАр
20	28,9	50 А	LC1 DLK••	20 кВАр
25	36,1	63 А	LC1 DMK••	25 кВАр
30	43,3	80 А	LC1 DPK••	30 кВАр
40	57,7	100 А	LC1 DTK••	40 кВАр
45	65,0	125 А	LC1 DWK12••	-
50	72,2	125 А	LC1 DWK12••	-
60	86,6	160 А	LC1 DWK12••	63 кВАр

Значения мощности, приведенные выше в таблице для выбора, рассчитаны на следующие условия эксплуатации:

### Ожидаемый максимальный ток при включении

- LC1 D•K ..... 200 I<sub>n</sub>

### Максимальная производительность

- LC1 DFK, DGK, DLK, DMK ..... 240 рабочих циклов/час
- LC1 DPK, DTK, DWK ..... 100 рабочих циклов/час

### Электрический ресурс при номинальной нагрузке 400 В

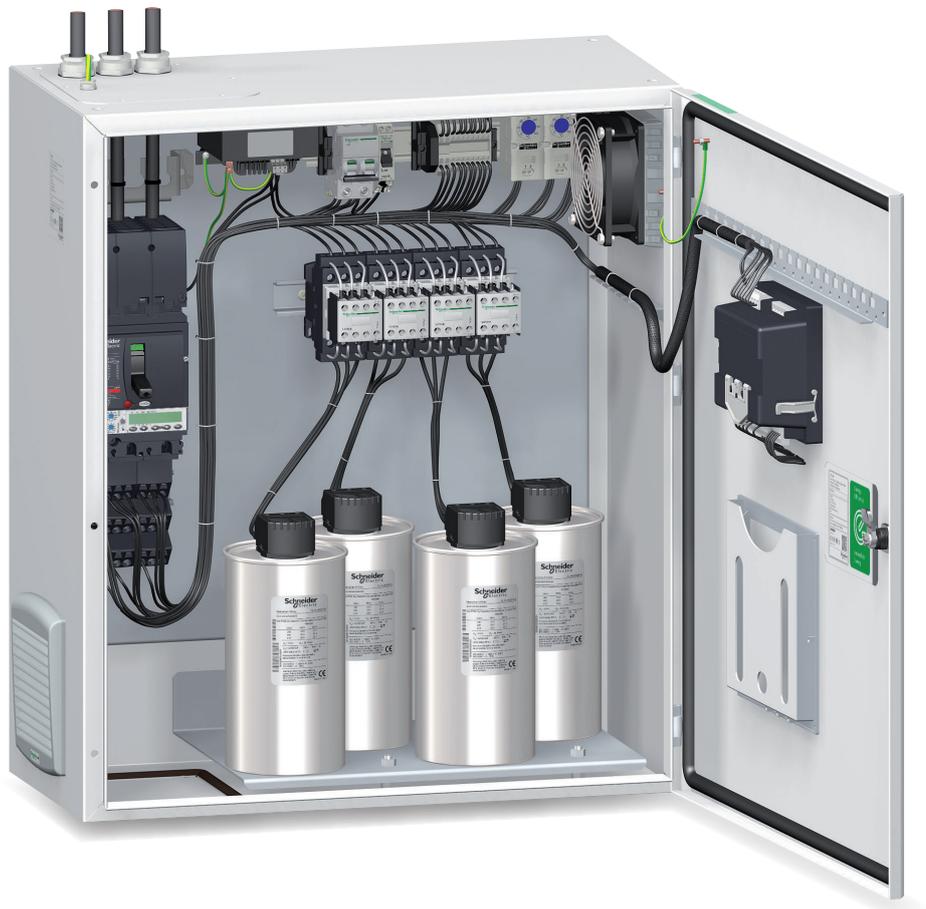
- Номинальные значения всех контакторов ..... 300 000 рабочих циклов

## Что говорят стандарты?

Международный стандарт IEC 60831-1 «Конденсаторы шунтирующие силовые самовосстанавливающегося типа для систем переменного тока на номинальное напряжение до 1000 В включительно» рекомендует использование такого контактора.

# Заключение

Энергоэффективность всей установки зависит от энергоэффективности конденсаторных батарей реактивной энергии.



Обнаружить неисправности такого оборудования непросто, поскольку они не оказывают прямого воздействия на электрическую распределительную сеть. Зачастую клиенты обнаруживают неисправность компенсации реактивной мощности после того, как видят, что расходы на электричество в их компании растут. Однако проблемы с установкой могут быть вызваны неисправностями любого рода, и в связи с этим обязательно необходимо проводить осмотр данного оборудования.

Life Is On | **Schneider**  
Electric

**Schneider Electric**

Центр поддержки клиентов  
8 (800) 200 64 46 (звонок по России бесплатный)  
[ru.ccc@schneider-electric.com](mailto:ru.ccc@schneider-electric.com)  
[www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

© Schneider Electric, 2018.  
Все права защищены. Schneider Electric | Life is on – зарегистрированная торговая марка  
и собственность компании Schneider Electric, ее дочерних и аффилированных с ней компаний.

МКР-CAT-????????-18  
01/2018