Миркон

КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

Содержание

1. Современная концепция качества электроэнергии в силовых сетях. 1
2. Реактивная мощность. Почему «компенсировать», а не нивелировать. 2
3. Нормирование перетока реактивной энергии между распределительными и потребительскими сетями 3
4. Когда необходимо компенсировать реактивную мощность? 4
5. Расчет срока окупаемости компенсации реактивной мощности исходя из дополнительной экономической целесообразности 7
6. Способы компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения 8
7. Конденсаторные установки повышения коэффициента мощности 9
8. Общие характеристики конденсаторных установок «МИРКОН» 12
9. Конденсаторные установки навесного исполнения 13
10. Регулируемые конденсаторные установки напольного исполнения 16
11. Регулируемые установки, с защитой от гармоник - фильтровые 18
12. Регулируемые установки, с защитой от гармоник и тиристорным управлением - тиристорно-фильтровые. 20
13. Конденсаторные модули М2 22
14. Справочный раздел. Анализ сети специалистами «МИРКОН» 23
15. Справочный раздел. Модернизация средств компенсации неактивной мощности в компании «МИРКОН» 24
16. Расшифровка обозначений конденсаторных установок компенсации реактивной мощности 25
17. Гарантийные обязательства компании «МИРКОН» 26
18. Приложение 1: Опросный лист на выбор конденсаторной установки 27

Со стартом цифровизации экономики и цифровой трансформации электросетей, объявленной в новой Энергетической стратегии России (*см. более детально о нюансах цифровизации в нашей публикации в журнале «Главный энергетик»*), кардинально изменился подход к оценке качества электроэнергии и оптимизации баланса мощности в сетях всех уровней, а особенно распределительных и потребительских среднего и низкого напряжения. С начала 2021 года действует новый пакет стандартов – федеральных и ПАО «РОССЕТИ», в том числе обновленные версии ГОСТ IEC/TR 61000-3-6-2020 и ГОСТ IEC/TR 61000-3-7-2020, которые регламентируют индикативные значения планируемых уровней электромагнитной совместимости для напряжений гармоник сетей среднего (СН), высокого (ВН) и сверхвысокого (СВН) напряжения (*см. таблицы здесь и в этом материале*). Также новые стандарты качества электроэнергии установили границы и степени ответственности сетевой организации и Пользователя (Абонента сети) по обеспечению этих норм в точках оценки (POE - point of evaluation), общего присоединения (PCC - point of common coupling) или присоединения (POC - point of connection).

В итоге безусловными становятся факты того, что:

- уже неотвратимы «модернизационный рывок» (до 2024 года) с цифровизацией 70% и второй этап (с 2025 до 2035 год) с цифровой трансформацией 100% электросетей ЕНЭС России по планам новой Энергетической стратегии России;
- силовая сеть с ее компонентами, коммутациями в «цифровом формате» становится контролируемой и оперативно управляемой программно-аппаратными комплексами, телекоммуникация с которыми должна быть стабильной, что реально возможно только в «чистых» сетях без искажений гармониками и перетоками реактивной мощности.
- все трехфазные сети с симметричным несинусоидальным, несимметричным синусоидальным, несимметричным несинусоидальным режимами уже не могут рассчитываться по формуле:

$$S^2 = P^2 + Q^2 = (U \cdot I \cdot \cos\varphi)^2 + (U \cdot I \cdot \sin\varphi)^2,$$

поскольку здесь свои коррективы вносят гармоники тока, напряжения нефундаментальных частот;

- оптимизировать баланс мощности только по реактивной составляющей на фундаментальной частоте недостаточно и нецелесообразно, поскольку гармоники влияют на потери активной энергии, снижают надежность, долговечность оборудования, оказывают негативное воздействие на пропускную способность, скорость и качество передачи информационных пакетов в цифровых сетях, искажают показания интеллектуальных приборов учета и т.д.

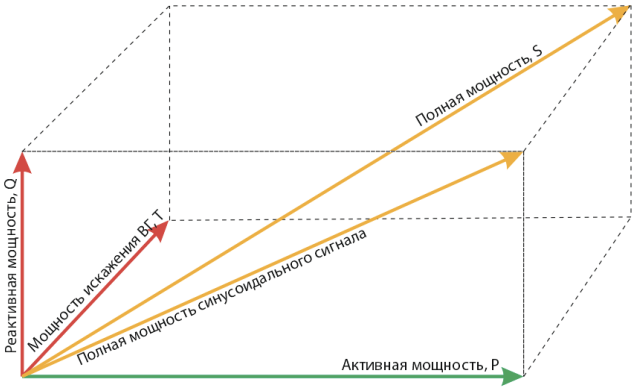


Рис. *Параллелепипед мощности в сетях с высшими гармониками (ВГ), генерируемыми нелинейной нагрузкой по IEEE 1459.*

Т.е. для вывода силовой сети на новый «цифровой» уровень нужно одновременно работать в трех направлениях:

- адаптировать силовое оборудование с каналами телекоммуникации, учитывая пороговое время отклика на управляющие сигналы с программно-аппаратного комплекса АСУ (по нормам ПАО «Россети») не более 20 мс;
- решать проблему перетоков реактивной энергии на фундаментальной частоте с помощью конденсаторных установок повышения коэффициента мощности;
- нивелировать эмиссию (и трансмиссию из других сетей) гармоник нефундаментальных частот с помощью пассивных и/или активных фильтров, проектируемых по пакету ГОСТ Р 59032.1-4-2020 на основе данных полного энергоаудита объекта, включая полный анализ сети по пакету частот вплоть до 49-го порядка.

Реактивная мощность. Почему «компенсировать», а не нивелировать.

Сегодня реактивную энергию считают специфическим «*отдельным видом*» электроэнергии, а реактивную мощность называют «*мнимой*» и даже «*паразитной*», что не отвечает действительности. Хотя реактивная мощность не осуществляют полезной (*с точки зрения производственного процесса*) работы, она создает электромагнитное поле в нагрузке, без которого работа оборудования невозможна.

Упрощенно в передаче активной и реактивной энергии участвуют одни и те же электроны без «*бейджиков*» «*активный*» или «*реактивный*» *ток*, однако:

- носители электрического заряда, проходящие через активное сопротивление **R** становятся активным переменным током с типовой синусоидой частоты 50 Гц, а проходящие через индуктивное (**L**) или емкостное (**C**) сопротивление – аккумулируются в них, создавая соответственно магнитное и электрическое поле, критически необходимое для работы оборудования, преобразующего активную энергию в механическую, тепловую и пр. (*трансформаторы, электродвигатели и др.*) и самого движения электронов активного тока.

Причем реактивные токи:

- индуктивного сопротивления имеют отстающую на четверть периода, а реактивные токи емкостного сопротивления – опережающую на четверть периода синусоиду напряжения;

- накапливаемая в индуктивности/емкости энергия через полупериод «выбрасывается» обратно в сеть, что, по сути, определило и ее название – «реактивная».

Т.е. упрощенно в силовой сети в одном направлении идет активный ток, а реактивный – совершает возвратно-поступательное движение или «перетоки» реактивной мощности между индуктивностью (*редко – емкостью*) и сетью, благодаря чему реактивную энергию условно можно признать мнимой, но отнюдь не паразитной – она идет на возбуждение обмоток трансформаторов, двигателей и по сути создает необходимые условия для работы электрооборудования;

- *мечущиеся «взад/вперед»* носители заряда реактивной энергии не только «*мешают проходу*» электронов активной энергии, но и «*перетекая*» по кабелям/оборудованию, элементам сети с активным сопротивлением **обуславливают технологические потери энергии** – тем большие, чем большее расстояние им приходится проходить по сети.

С учетом факта преимущественной генерации *«сдвинутых по фазе» электронов* генераторами электростанций эти потери становятся огромными наряду с существенным снижением пропускной способности системообразующих, питающих и распределительных сетей, а также негативным влиянием на стабильность основных параметров качества электроэнергии.

По сути, специфика накопления/возврата реактивной энергии и «противофаза» синусоид реактивного тока индуктивности и емкости определили возможность и целесообразность компенсации реактивной мощности «на местах» потребления электроэнергии. Так, при подключении емкости (конденсатора или батареи) в сегмент сети с потребляющей (*накапливающей и отдающей*) реактивную мощность индуктивностью:

- в полупериод накопления реактивной энергии индуктивным сопротивлением емкость будет отдавать накопленную ранее мощность, «питая» индуктивность;

- при выбросе реактивной энергии индуктивностью – аккумулировать ее до начала следующего цикла обмена мощностью.

Т.е. перетоки реактивной мощности будут идти на участке индуктивность-емкость, а значит остальная сеть разгрузится от реактивного тока и потери энергии будут определяться длиной/сопротивлением коммутирующего участка сети. Но **нивелировать реактивные токи нельзя**, поскольку в этом случае нагрузка будет потреблять реактивную энергию от генераторов электростанций, с магистральных, распределительных сетей, что, соответственно приведет к потерям активной энергии и повышению счетов за оплату.

Нормирование перетока реактивной энергии между распределительными и потребительскими сетями

После отмены скидок, но не надбавок к тарифу из-за «нарушений значений соотношения потребления активной и реактивной мощности» (*п. 16 «Правил недискриминационного доступа…» в ред. от 26.04.2021*), Абонент распределительной сети стимулируется к сокращению перетоков реактивной мощности только штрафными санкциями в виде надбавки.

Пороговая норма перетока регламентирована в приложении Приказа Минэнерго N 380 от 23.06.2015 в виде коэффициента реактивной мощности $tg\varphi$, определяемого, как отношение реактивной (Q) и активной (P) составляющих полной мощности (S) из треугольника – проекции параллелепипеда мощности на плоскость фундаментальной частоты ($tg\varphi = Q/P$).

Таблица. *Актуальные максимальные значения коэффициента реактивной мощности в часы больших суточных нагрузок электрической сети согласно Приказа Минэнерго РФ от 23 июня 2015 года N 380.*

Уровень напряжения в точке поставки потребителя	Максимальное значение tgφ
110 кВ (154 кВ)	0,5
35 кВ (60 кВ)	0,4
1-20 кВ	0,4
ниже 1 кВ	0,35

Однако и ряд производителей устройств компенсации, а часто и сетевые организации в договорах на подключение для оценки перетока реактивной энергии используют коэффициент мощности $cos\varphi$ - отношение активной составляющей к полной мощности $cos\varphi = P/S$, что de facto не дает точной информации об объемах реактивной энергии в сети. Так, при $cos\varphi = 0.97$ коэффициент $tg\varphi$ не ниже 0.25 и простой расчет реактивной составляющей Q в полной мощности S по формуле $Q^2 = S^2 \cdot tg^2\varphi/(1 + tg^2\varphi)$ показывает, что в сети еще «курсирует» 23,5% реактивной энергии (*см. таблицу ниже*), а это потери активной мощности, нагрев кабелей, увеличение выработки оборудования, рисков аварий, изменение параметров качества электроэнергии и т.д.

Таблица. *Коэффициенты мощности $cos\varphi$, реактивной мощности $tg\varphi$ и доля Q в полной потребляемой мощности S*

$cos\varphi$	0.99	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90	0.87	0.85	0.8	0.7
$tg\varphi$	0.14	0.25	0.33	0.36	0.43	0.48	0.55	0.60	0.75	1.02
Доля Q в S, %	13.7	23.5	29.7	31.9	36.3	39.2	42.2	44.1	48	49.9

Поэтому при расчетах необходимости, целесообразности компенсации, выборе конденсаторной установки нужно использовать только коэффициент реактивной мощности и учитывать факт, что оценка ведется только по фундаментальной частоте без негативного влияния гармоник.

Когда необходимо компенсировать реактивную мощность?

ВАЖНО: Правильный выбор конденсаторной установки для компенсации реактивной мощности возможен только при точном расчете потребности сети (участка сети) в реактивной энергии с учетом влияния гармоник, генерирующих реактивную мощность на фундаментальной частоте синхронных двигателей, фильтров (пассивных, активных), кабельных линий и т.д., в том числе в часы пиковых нагрузок и только на основе данных энергоаудита объекта, включая полный анализ сети по всему пакету частот вплоть до 49-го порядка.

Ориентировочный расчет потребности в реактивной мощности по среднегодовому коэффициенту спроса, паспортным (справочным) данным.

Метод расчета по среднегодовому коэффициенту спроса по паспортным (справочным) данным оборудования основан на формуле:

$$P_{МАКС} = \sum P_{НОМ} \cdot n \cdot K_C,$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная мощность нагрузки одного типа (станка, двигателя), n – число нагрузок, K_C – коэффициент спроса из *табл. 1.6* по оборудованию подразделений/цехов справочника *1* или определяемый по коэффициенту использования $K_И$ типового оборудования (*табл. 1.9 справочника 1*) и зависимости K_C от $K_И$ ниже.

Таблица. *Зависимость K_C от $K_И$*

K_C	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0.9
$K_И$	0.14	0.25	0.33	0.36	0.43	0.48

$$Q_{МАКС} = P_{МАКС} \cdot \sum tg\varphi_n / n,$$

где $tg\varphi_n$ – коэффициент реактивной мощности нагрузки одного типа (или $tg(arccos\varphi)$ при известном коэффициенте мощности загрузки - *табл. 1.6 – 1.9 справочника 1*), n – число нагрузок одного типа.

$Q_{МИН}$ принимается по типовому графику нагрузок для предприятия в часы минимальной активной нагрузки в процентах или долях от $Q_{МАКС}$ (0.5 – 0.6), в среднем:

$$Q_{МИН} = 0.55 \cdot Q_{МАКС}$$

Литература: Справочник 1 - Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005.

Ориентировочный расчет потребности в реактивной мощности по фактическим значениям $P_Ф$ и $Q_Ф$

Расчет применим, если на объекте:

- существует система автоматизированного учета электроэнергии на базе электронных многофункциональных счетчиков, регистрирующих текущие усредненные значения активной $P_Ф$ и реактивной $Q_Ф$ мощности в определенных временных интервалах;
- осуществляется энергоаудит с замерами активной $P_Ф$ и реактивной $Q_Ф$ мощности во время пиковых (и минимальных) загрузок.

С помощью фактических значений $P_Ф$ и $Q_Ф$ можно просчитать коэффициент реактивной мощности $tg\varphi_Ф$, который при сравнении с необходимым (проектным или нормативным) $tg\varphi_Н$ покажет состояние компенсации реактивной мощности в сети.

Справка: По приборам учета активной и реактивной энергии на объекте

$$tg\varphi_Ф = Q/P = E_q/E_w,$$

где E_w – показания счетчика активной энергии, кВт·ч, E_q – показатель счетчика реактивной энергии, кВАр·ч.

Вместе с тем, однозначное решение, когда необходимо делать компенсацию реактивной мощности, принимается по значению ΔP (*см. рис. ниже*), которое можно определить по формуле:

$$\Delta P = P_ф - P_н = K_{ип} \cdot (Q_ф - Q_н),$$

где коэффициент изменения потерь активной мощности $K_{ип}$, зависящий от передачи реактивной мощности, для промышленных предприятий (когда величина его не задана энергосистемой) принимают равным 0.07 кВт/кВАр.

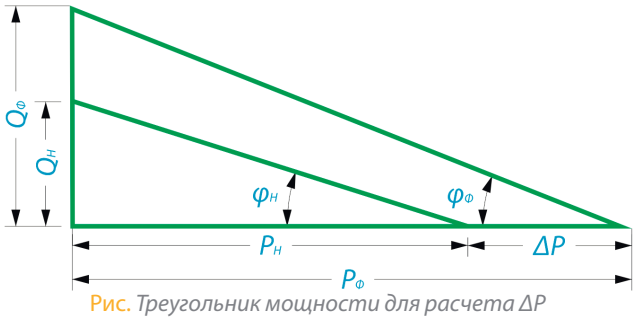


Рис. *Треугольник мощности для расчета ΔP*

Тогда

$$P_н = P_ф - K_{ип} \cdot (Q_ф - Q_н),$$

а из треугольника мощностей

$$tg\varphi_н = Q_н / P_н = \frac{Q_н}{P_ф - 0.07 \cdot (Q_ф - Q_н)}$$

Учитывая, что

$$Q_ф = P_ф \cdot tg\varphi_ф$$

после преобразований получим

$$Q_н = tg\varphi_н \cdot Q_ф / tg\varphi_ф - K_{ип} \cdot Q_ф \cdot tg\varphi_н + K_{ип} \cdot Q_н \cdot tg\varphi_н$$

$$Q_н (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н) = tg\varphi_н \cdot Q_ф (1/tg\varphi_ф - K_{ип})$$

$$Q_н = Q_ф \cdot \frac{tg\varphi_н \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф)}{tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н)}$$

Подставив $Q_н$ в формулу ΔP получаем:

$$\Delta P = K_{ип} \cdot Q_ф - K_{ип} \cdot Q_ф \cdot \frac{tg\varphi_н \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф)}{tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н)}$$

и после преобразований

$$\Delta P = \frac{K_{ип} \cdot Q_ф \cdot (tg\varphi_ф - tg\varphi_н)}{tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н)}$$

Полученная формула показывает, что при:

- $tg\varphi_ф = tg\varphi_н$ отсутствует экономия оплачиваемой мощности и компенсация реактивной мощности даст только техническую выгоду в плане стабилизации параметров сети и оптимизации работы электрооборудования;
- $tg\varphi_ф > tg\varphi_н$, то есть $\Delta P > 0$, т.е. потребителю придется заплатить за больший объем потребляемой мощности;
- $tg\varphi_ф < tg\varphi_н$, то есть $\Delta P < 0$, а значит после внедрения (если таковое будет осуществлено) будет потребляться больше мощности и счета за электроэнергию вырастут.

Аналогично из треугольника мощностей расчитывается сокращение перетока реактивной энергии с распределительной сети $\Delta Q / Q_ф$, а также снижение потребления активной $\Delta P / P_ф$ и полной мощности $\Delta S / S_ф$

$$\Delta P / P_ф = K_{ип} \cdot \frac{tg\varphi_ф - tg\varphi_н}{1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н}$$

$\Delta Q = Q_ф - Q_н = \Delta P / K_{ип}$, *из чего следует:*

$$\Delta Q / Q_ф = \frac{tg\varphi_ф - tg\varphi_н}{tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н)}$$

и в завершение:

$$\Delta S = S_ф - S_н = Q_ф / \sin\varphi_ф - Q_н / \sin\varphi_н$$

С учетом того, что

$$Q_н = Q_ф \cdot tg\varphi_н \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф) / (tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н)),$$

$$Q_ф / \sin\varphi_ф = Q_ф \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_ф)} / tg\varphi_ф$$

$$Q_н / \sin\varphi_н = Q_ф \cdot tg\varphi_н \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф) \cdot (\sqrt{(1 + tg^2\varphi_н)} / (tg\varphi_ф \cdot tg\varphi_н \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н)) = Q_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф) \cdot (\sqrt{(1 + tg^2\varphi_н)} / (tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н))$$

$$(Q_н / \sin\varphi_н) / (Q_ф / \sin\varphi_ф) = Q_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф) \cdot (\sqrt{(1 + tg^2\varphi_н)} \cdot tg\varphi_ф / (tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н)) \cdot Q_ф \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_ф)} = (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф) \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_н)} / ((1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н)) \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_н)})$$

Тогда

$$\Delta S = Q_ф \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_ф)} / tg\varphi_ф - Q_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф) \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_н)} / tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н)) = Q_ф \cdot [\sqrt{(1 + tg^2\varphi_ф)} / tg\varphi_ф - (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф) \cdot (\sqrt{(1 + tg^2\varphi_н)} / (tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н))] = Q_ф \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_ф)} \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н) - (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф) \cdot (\sqrt{(1 + tg^2\varphi_н)}) / (tg\varphi_ф \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н))$$

$$\Delta S / S_ф = (Q_ф / \sin\varphi_ф - Q_н / \sin\varphi_н) / (Q_ф / \sin\varphi_ф) = 1 - (Q_н \cdot \sin\varphi_ф) / (Q_ф \cdot \sin\varphi_н)$$

и после преобразований:

$$\Delta S / S_ф = 1 - \frac{(1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_ф) \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_н)}}{(1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_н) \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_ф)}}$$

Пример: Так, например, если усредненное значение $Q_ф$ в интервале пиковой нагрузки по показаниям счетчика (или результатам энергоаудита) 10000 кВАр и расчетный $tg\varphi_ф$ = 1.02 то при выходе на пороговый (для низковольтных сетей) $tg\varphi_н$ = 0.35 ($cos\varphi_н$ = 0.94)

$$\Delta P = \frac{0.07 \cdot 10000 \cdot (1.02 - 0.35)}{1.02 \cdot (1 - 0.07 \cdot 0.35)} = 471\ кВт$$

$$\Delta P / P_ф = 0.07 \cdot \frac{1.02 - 0.35}{1 - 0.07 \cdot 0.35} = 4.72\ \%$$

$$\Delta Q / Q_ф = \frac{1.02 - 0.35}{1.02 \cdot (1 - 0.07 \cdot 0.35)} = 64.42\ \%$$

$$\Delta S / S_ф = 1 - \frac{(1 - 0.07 \cdot 1.02) \cdot \sqrt{(1+0.35^2)}}{(1 - 0.07 \cdot 0.35) \cdot \sqrt{(1+1.02^2)}} = 25.53\%$$

Т.е. если снизить $tg\varphi$ с 1.02 до нормативного 0.35 ($cos\varphi$ 0.94), то сократится переток реактивной энергии из распределительной сети на 64.42% и уменьшится потребление полной мощности на 25.53% с сокращением потребления активной составляющей на 4.72% за счет снижения потерь.

Пример 2: В то же время, если за счет компенсации реактивной мощности выйти на $tg\varphi_н$ = 0.25 ($cos\varphi_н$ = 0.97), то:

$$\Delta P = \frac{0.07 \cdot 10000 \cdot (1.02 - 0.25)}{1.02 \cdot (1 - 0.07 \cdot 0.25)} = 538\ кВт$$

$$\Delta P / P_ф = 0.07 \cdot \frac{1.02 - 0.25}{1 - 0.07 \cdot 0.25} = 5.48\ \%$$

$$\Delta Q / Q_ф = \frac{1.02 - 0.25}{1.02 \cdot (1 - 0.07 \cdot 0.25)} = 75{,}43\ \%$$

$$\Delta S / S_ф = 1 - \frac{(1 - 0.07 \cdot 1.02) \cdot \sqrt{(1+0.25^2)}}{(1 - 0.07 \cdot 0.25) \cdot \sqrt{(1+1.02^2)}} = 27.94\%$$

В итоге при снижении $tg\varphi$ с 1.02 до 0.25 ($cos\varphi$ 0.97) сократится переток реактивной энергии из распределительной сети больше, чем на 3/4 (на 75.43%), а потребление полной мощности уменьшится более чем на 1/4 (27.94%) вместе с сокращением потребления активной составляющей на 5.48% за счет снижения потерь.

Ориентировочно экономию электроэнергии при снижении коэффициента реактивной мощности можно оценить по таблице ниже. Для удобства, она построена на основе не только $tg\varphi$, но и более привычного для восприятия $cos\varphi$.

Таблица. *Снижение потерь активной ($\Delta P / P_ф$), перетоков реактивной ($\Delta Q / Q_ф$), полной мощности, $\Delta S / S_ф$).*

$tg\varphi$ до	$tg\varphi$ после	$cos\varphi$ до	$cos\varphi$ после	Снижение потребления полной мощности ("разгрузка" текущей сети), $\Delta S/S_ф$, %	Снижение перетоков реактивной мощности, $\Delta Q/Q_ф$, %	Снижение потерь активной мощности, $\Delta P / P_ф$, %
1,732	0,363	0,5	0,94	45,42	81,11	9,83
1,732	0,251	0,5	0,97	48,45	85,53	10,56
1,333	0,363	0,6	0,94	36,17	72,78	6,97
1,333	0,251	0,6	0,97	38,14	81,20	7,71
1,169	0,363	0,65	0,94	30,85	68,96	5,79
1,169	0,251	0,65	0,97	32,99	78,56	6,54
1,02	0,363	0,7	0,94	25,53	64,42	4,72
1,02	0,251	0,7	0,97	27,84	75,43	5,48
0,882	0,363	0,75	0,94	20,21	58,85	3,73
0,882	0,251	0,75	0,97	22,68	71,58	4,50
0,75	0,363	0,8	0,94	14,89	51,61	2,78
0,75	0,251	0,8	0,97	17,53	66,58	3,56
0,62	0,363	0,85	0,94	9,57	41,44	1,84
0,62	0,251	0,85	0,97	12,37	59,56	2,63
0,484	0,363	0,9	0,94	4,26	25,06	0,87
0,484	0,251	0,9	0,97	7,22	48,25	1,67

Расчет срока окупаемости компенсации реактивной мощности исходя из дополнительной экономической целессообразности

Оценка экономии электроэнергии по ΔP в совокупности со сроком окупаемости капитальных вложений $T_{ОК}$ позволяет определить дополнительную экономическую целесообразность мероприятий по реактивной мощности.

Справка: Использование в экономическом обосновании компенсации реактивной мощности финансовой выгоды от снижения объемов потребления реактивной мощности из распределительной сети в общем случае нецелесообразно и defacto мало корректно, поскольку оплачиваемые объемы (свыше нормируемого коэффициента реактивной мощности) устанавливаются в договорах на технологическое присоединение, разные у различных сетевых организаций и зависят от многих факторов. Гарантированную-же дополнительную финансовую выгоду Потребитель получает за счет снижения объемов потребления активной энергии ΔP, что и приводится в данном материале как базовый критерий расчетов, в том числе сроков окупаемости средств компенсации реактивной мощности.

Исходя из условий экономической целесообразности $\Delta P \cdot N \cdot T_{СРЕД}$ не должно быть больше $З_у / T_{ОК}$, где N – количество часов работы в год (ч/год), $T_{СРЕД}$ усредненный тариф за оплату электроэнергии в руб/(кВт·ч), $З_у$ – суммарные затраты на установку компенсации реактивной мощности (руб), $T_{ОК}$ – срок окупаемости (года).

Суммарные стартовые вложения в компенсацию реактивной мощности (капитальные инвестиции в покупку установки ($И_{КРМ}$) и монтаж ($И_М$) определяются с учетом текущего нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений. Сегодня нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений равен норме дисконтирования (*коэффициент «DF» - англ. discount factor*) и соответствует текущей учетной процентной ставке Цетробанка РФ (*в мае 2021 ключевая ставка повышена на 0,5 процентного пункта до 5% годовых*). Т.е. «DF» = 0.05, а

$$З_у = (И_{КРМ} + И_М) \cdot DF \text{ или}$$

$$З_у = 1.05 \cdot (И_{КРМ} + И_М)$$

Тогда

$$\Delta P = \frac{0.07 \cdot Q_Ф \cdot (tg\varphi_Ф - tg\varphi_Н)}{tg\varphi_Ф \cdot (1 - 0.07 \cdot tg\varphi_Н)} \leq \frac{З_у}{T_{ОК} \cdot N \cdot T_{СРЕД}}$$

Формула позволяет:

- при заданном сроке окупаемости, известных объемах инвестиций и фактическом $tg\varphi_Ф$ выйти на минимально необходимый коэффициент реактивной мощности $tg\varphi_Н$);
- при известном фактическом и проектном коэффициентах реактивной мощности, а также затратах на покупку/монтаж конденсаторной установки определить срок ее окупаемости.

$$T_{ОК} = 15 \cdot \frac{(И_{КРМ} + И_М) \cdot tg\varphi_Ф \cdot (1 - 0.07 \cdot tg\varphi_Н)}{Q_Ф \cdot (tg\varphi_Ф - tg\varphi_Н) \cdot N \cdot T_{СРЕД}}$$

Таким образом компенсация реактивной мощности:

- всегда выгодна технически, а зачастую и финансово, что может быть оперативно просчитано даже вручную;
- экономически целесообразна при правильном выборе установки, мероприятия и расчете коэффициента реактивной мощности.

Среди популярных способов выделяют централизованную (по стороне высшего и низшего напряжения), групповую, индивидуальную и комбинированную компенсацию реактивной мощности, а в качестве комбинированной обычно используется централизованная в сочетании с групповой и/или индивидуальной.

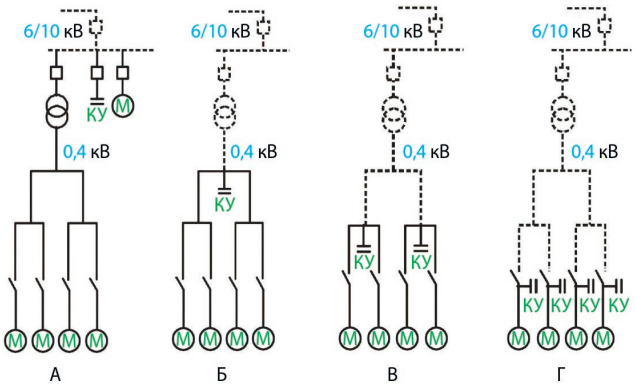


Рис. *Способы компенсации реактивной мощности: А – централизованная по стороне высшего напряжения, Б – централизованная по стороне низшего напряжения, В – групповая (посекционная), Г – индивидуальная, где штриховым обозначением показаны электрические сети, разгруженные от перетоков реактивной мощности*

Выбор способа компенсации реактивной мощности индивидуален для каждой конкретной сети с ее спецификой нагрузок, осуществляется профильной компанией и только на основе энергоаудита объекта с мониторингом потребления реактивной энергии в часы пика и минимума загрузки, включая полный анализ сети по всему пакету частот вплоть до 49-го порядка.

Схема централизованной компенсации реактивной мощности

Такой способ коррекции косинус фи может использоваться предприятиями, подключенными к сети напряжением 10 (6) кВ и осуществляться по:

- стороне низшего напряжения непосредственно на подстанции 110 (35)/10 (6) кВ, когда граница балансовой принадлежности проходит по стороне 110 (35) кВ;
- стороне высшего напряжения на подстанции 10 (6)/0.4 кВ или на границе балансовой принадлежности;
- стороне напряжения 0.4 кВ в узлах нагрузки с значительным диапазоном динамики реактивной мощности.

Централизованный способ компенсации при сравнительно небольших капитальных вложениях позволяет разгрузить трансформаторы, токоведущие кабеля, повысить качество электроэнергии, обеспечить запас резерва в рамках поставляемой по договору мощности для расширения производства. Вместе с тем, вся сеть в балансовой принадлежности потребителя остается нагруженной перетоками реактивной мощности, а применение централизованной компенсации возможно только при достаточно стабильной и ракномерно распределенной по фазам нагрузке.

Схема групповой (посекционной) компенсации реактивной мощности.

Используется на ТП распределительных сетей или в сетях предприятий, где нагрузки по величине и динамике изменений можно скомпоновать в группы (секции), демонстрирует минимальную удельную стоимость 1 кВАр в сравнении с централизованной и индивидуальной компенсацией, позволяет применять отдельные батареи, нерегулируемые (для снижения «фона» реактивной энергии от постоянно работающей нагрузки) и автоматические установки повышения косинус фи.

К недостаткам групповой компенсации относят большие инвестиции в покупку и интеграцию установок в сравнении с централизованной схемой, относительную сложность калибровки и настройки, загруженность перетоками реактивной энергии кабелей между установкой и нагрузками.

Индивидуальная компенсация реактивной мощности

Индивидуальная компенсация реактивной мощности - наиболее дорогой по затратам, но и максимально эффективный способ, для которого в зависимости от мощности и характера конкретной нагрузки используют косинусные конденсаторы (блоки конденсаторов), батареи статических конденсаторов и нерегулируемые установки повышения *cosφ* с фильтрами гармоник (или без).

По особенностям управления генерацией реактивной мощности конденсаторные установки можно разделить на:

Неавтоматические (нерегулируемые) установки компенсации реактивной мощности

Это установки с одной ячейкой или с двумя и более ступенями, но включаемыми и отключаемыми в ручном режиме и используемые для «срезания» статичной потребности в реактивной мощности постоянно работающего оборудования или при возможности управления генерацией оператором и только в сетях без резкопеременных, быстроизменяющихся нагрузок. Цена нерегулируемых конденсаторных установок самая низкая и монотонно растет с повышением кВАр, срок окупаемости таких УКРМ сравнительно небольшой, однако генерация реактивной мощности неавтоматическими установками зависит от реального напряжения в точке присоединения, а в сети повышаются риски перекомпенсации.

Важно: Несмотря на общий тренд цифровой трансформации электросетей с переходом на управляемое автоматикой силовое оборудование, неавтоматические конденсаторные установки будут востребованы. Их основное назначение – «срезание» фоновой потребности в реактивной энергии оборудования и систем, работающих круглосуточно в непрерывном режиме, а преимущество – низкая цена, простота интеграции, а при необходимости и возможность модернизации до уровня автоматических установок;

Автоматические установки компенсации реактивной мощности

Могут исполняться с включением и отключением ступеней-батарей контроллером в автоматическом режиме посредством:

- электромеханических контакторов;
- бесконтактных полупроводниковых тиристорных ключей.

Автоматические УКРМ – многоступенчатые, при релейном (контакторном) управлении имеют небольшие риски перекомпенсации или недокомпенсации из-за (сравнительно) продолжительного времени срабатывания контакторов.

Справка: Основными недостатками нерегулируемых и автоматических релейных установок признают чувствительность к перенапряжениям и скачкам тока, пожароопасность, наличие остаточного заряда, но главное - отсутствие возможности плавного регулирования и временные задержки при вкючении/отключении, что ограничивает применение контакторных установок в электрических сетях с резко изменяющейся нелинейной нагрузкой, а также прямую зависимость генерируемой реактивной энергии (мощности) от приложенного напряжения

$$Q = U^2 \cdot \acute{\omega} \cdot C$$

где $\acute{\omega}$ – частота, C – емкость, Q – реактивная мощность.

Кроме того, в релейных установках:

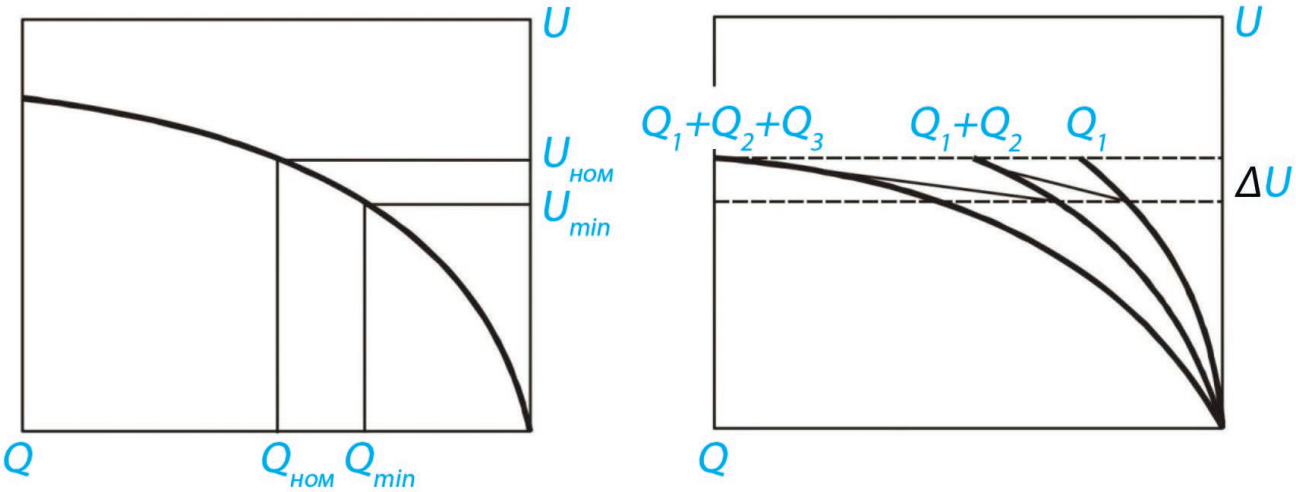


Рис. *Зависимость генерируемой реактивной энергии от напряжения односекционной (слева) и трехсекционной (справа) конденсаторной установки*

- включение ступени (батареи) сопровождается броском тока, отключение – перенапряжением, что негативно влияет на срок службы конденсаторов и контакторов управления;
- конденсаторы чувствительны к высшим гармоникам тока - сопротивление конденсатора $X_c = 1/(\acute{\omega} \cdot C)$, т.е. тем больше, чем выше частота $\acute{\omega}$ гармоники, что влечет за собой увеличение потерь мощности в конденсаторах, их нагрев и сокращение срока службы.

При тиристорном управлении автоматические УКРМ практически лишены негативов перекомпенсации и в большинстве случаев индифферентны к небольшим гармоническим искажениям, т.е. при определенной доле нелинейной нагрузки могут поставляться без фильтров гармоник - токоограничивающих реакторов. Сообразно возможностям цена автоматических релейных установок выше, чем у нерегулируемых, а цена автоматических установок с управлением тиристорными ключами наиболее высокая в этом сегменте средств компенсации реактивной мощности.

Расчет автоматических КРМ проводится по одной из существующих методик, но экономическая целесообразность использования сегодня должна определяться по потерям активной мощности на передачу реактивной составляющей.

Важно: Из-за (сравнительно) продолжительного времени коммутации, превышающего норму отклика на управляющий сигнал SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) в цифровых сетях в десятки раз, автоматические релейные конденсаторные установки должны и будут заменяться тиристорными УКРМ. Это по факту определено в прилагаемом к новой Энергетической стратегии Перечне «технологического оборудования, востребованного организациями топливно-энергетического комплекса Российской Федерации, создание или локализация производства которого необходимы на территории Российской Федерации до 2035 года», где акцент сделан на решениях и технологиях «на основе полупроводниковых компонентов (статические компенсаторы реактивной мощности, инверторы, преобразователи, выпрямители)».

Вместе с тем, в условиях перехода на «цифру» с большими затратами на модернизацию (или замену) силового оборудования, интеграцию систем датчиков и линий телекоммуникации с АСУ, а тем более при финансовых сложностях предприятий после пандемии, сравнительно недорогие автоматические контакторные УКРМ могут использоваться для компенсации реактивной мощности в качестве эффективного временного решения. Безусловно, такие релейные УКРМ должны проектироваться в виде комплектных конденсаторных установок (ККУ) модульного типа с перспективой оперативной (без остановки производства) и недорогой модернизации до уровня ККУ с тиристорными ключами;

Гибридные установки компенсации реактивной мощности

По факту гибридные установки компенсации реактивной мощности – это объединенные в одном корпусе нерегулируемые ячейки-конденсаторные батареи и две и более автоматических ячеек с собственным контроллером. Разработка гибридных УКРМ позволяет снизить цену установки, но применяются они только в сетях, где энергоаудитом выявлено наличие статической (фоновой) потребности в реактивной мощности постоянно работающего оборудования, а расчетом установлена целесообразность и экономическая эффективность применения гибридной КРМ.

«Фильтровые», «дроссельные» установки компенсации реактивной мощности

По факту:

- нерегулируемые;
- автоматические;
- гибридные установки,

компенсации реактивной мощности, где используются пассивные фильтры гармоник – колебательные L-C контура, в которых последовательно соединенные индуктивность (реактор) и емкость (конденсатор) настраиваются на наиболее интенсивную гармонику.

Фильтры в установках служат для:

- защиты конденсаторов, контакторов, коммутационной и измерительной аппаратуры от высоких значений токов

гармоник, возникающих при параллельном резонансе установки с индуктивностью сети;

- защиты электронных систем управления в сети от бросков тока и высокочастотных перенапряжений, характерных для переходных процессов при включении конденсаторной батареи с кратковременным резким снижением напряжений фаз почти до нуля с последующим восстановлением.

Справка: Сопротивление реактивных элементов контура при резонансе (характеристическое волновое сопротивление)

$$p = X_{L1} / X_{C1}$$

отношение индуктивного сопротивления к емкостному, однако помимо этого p показывает изменение напряжения емкости в контуре $U_C = U_N \cdot (1/(1 - p))$ при разных отношениях f_{LC} / f_1, и определяет выбор оптимальной частоты резонанса, что обусловило применение к p некорректных терминов - коэффициент частотной расстройки, коэффициент дросселирования и пр.

IEC 61642 в расчетах параметров при параллельном включении конденсаторов с индуктивностью сети показывает, что даже на относительно «слабой» по интенсивности гармонических искажений 11 гармонике напряжение изменяется на 8.3%, а через конденсаторы идет ток, более чем на 90% превышающий номинальный, а среднеквадратичное значение гармонического тока в 1.45 раз выше номинального. Для решения проблемы стандарт предписывает формирование параллельного или последовательного резонансного колебательного контура, наиболее простым решением которого является включение реактора последовательно с емкостным сопротивлением каждой ступени установки.

При последовательном соединении индуктивности и емкости в колебательном контуре на резонансной частоте

$$2\pi \cdot f_{рез} \cdot L = 1/(2\pi \cdot f_{рез} \cdot C)$$

а полное сопротивление контура

$$Z = sqrt\,(R^2 + (2\pi \cdot f_{рез} \cdot L - 1/(2\pi \cdot f_{рез} \cdot C))^2) = R.$$

В итоге контур пропускает токи гармоник на резонансной частоте, но блокирует на частотах выше и ниже $f_{рез}$. Причем на частотах больше $f_{рез}$ контур имеет индуктивный характер, а ниже $f_{рез}$ – емкостной, т.е. не мешает конденсаторной установке выполнять свою основную функцию компенсации реактивной мощности.

Резонансные частоты для L-C фильтров конденсаторных установок компенсации реактивной мощности

Согласно IEC 61642 колебательный L-C контур нужно настраивать:

- на частоту ниже $5 \cdot f_1$ при $p > 4\%$ для сетей, где основной гармоникой искажений является 5-я;
- частоту ниже $3 \cdot f_1$ при $p > 11\%$ для сетей, преимущественно засоряемых 3-й гармоникой;
- частоту $3{,}78 \cdot f_1$, т.е. при $p = 7\%$, которую стандарт считает оптимальной для большинства сетей с нелинейными нагрузками.

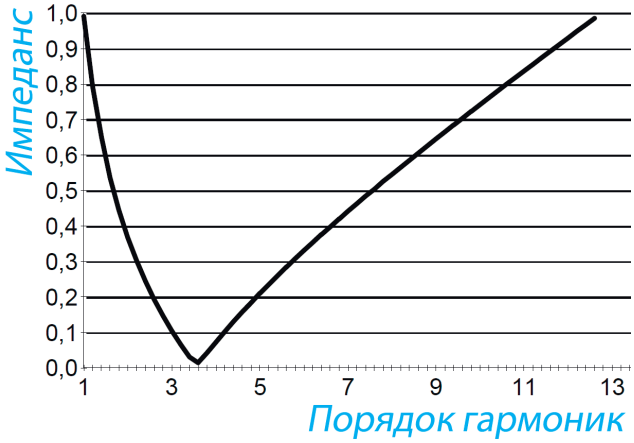


Рис. *Импеданс последовательного контура реактор-конденсатор с настройкой на частоту $3{,}78 \cdot f_1$ при характеристическом волновом сопротивлении $p = 7\%$*

Тогда:

- оптимальной резонансной частотой для контуров с последовательным соединением L-C будет $f_{рез} = 3.78 \cdot 50 = 189$ Гц, а $p = (50/189)^2 = 0.07$ или 7%;
- интервал резонансных частот L-C контуров сетей с превалированием искажений 5-й гармоникой лежит в интервале $f_{рез} < 5*50 = 250$ Гц при $p > (50/250)^2 = 0.04$ или 4%,
- для сетей с превалированием искажений 3-й гармоникой лежит в интервале $f_{рез} < 3*50 = 150$ Гц при $p > (50/150)^2 = 0.11$ или 11%.

Общие характеристики конденсаторных установок «МИРКОН»

Конденсаторные установки «МИРКОН» производятся в соответствии с ГОСТ 27389-87, Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 004/2011 по ТУ3430-001-79415193-2009, что подтверждено сертификатом соответствия ТС RU C-RU.АЛ32.В.00674

Таблица. *Общие характеристики конденсаторных установок «МИРКОН»*

Режим работы	Нерегулируемые; С автоматическим регулированием; С ручным регулированием реактивной мощности.
Номинальное напряжение	0,23кВ; 0,4кВ; 0,69кВ
Частота	50Гц; 60Гц
Максимальная длительная перегрузка по току	1,3 Iном
Максимальная перегрузка по напряжению	1,1 Uном (8 часов в сутки)
Уровень гармонических искажений сети [Gh/Sn]	≤15%; ≤25%; ≤50% (фильтровые с дросселями)
Типы вводного устройства в стандартном исполнении	Автоматический выключатель, ПВР, разъединитель, выключатель-разъединитель с выносной рукоятью
Коммутация конденсаторов	Специальные контакторы, тиристоры, комбинированная.
Тип ввода в стандартном исполнении	Кабельный снизу (по согласованию сверху)
Обслуживание	Одностороннее, с фасада или двухстороннее.
Гарантийные обязательства	18 месяцев со дня ввода в эксплуатацию, что подтверждается соответствующим документом, но не более 24 месяцев с даты поставки.

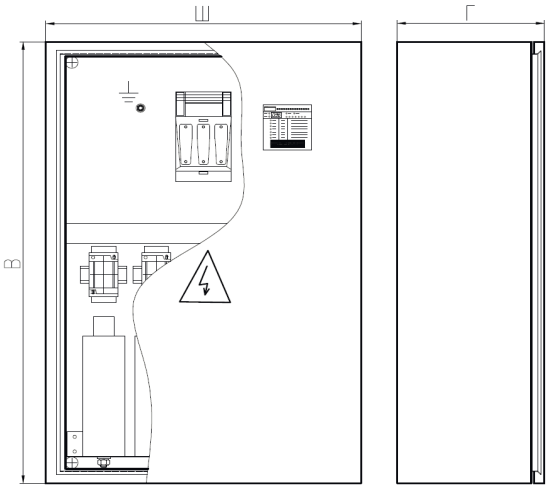
Таблица. *Условия эксплуатации*

Температурный режим окружающей среды	-40°C/+40°C
Степень защиты	IP-20; IP-31; IP-44; IP-54; др.
Климатическая зона, по ГОСТ	«У»-умеренный; «УХЛ» - умеренно холодный; «ХЛ»-холодный.
Категория размещения, по ГОСТ	«4»-в помещении с отоплением; «3»-в помещении без отопления; «2»-под навесом; «1»- на открытом воздухе.
Относительная влажность	≤95%
Высота над уровнем моря	≤2000м

Таблица. *Технические параметры применяемых конденсаторов*

	Schneider Electric Easy Can	TDK Epcos PhiCap	Schneider Electric VarPlus Can	Zez Silko Normal	TDK Epcos PhaseCap Compact	КПС-0.4 (Россия)
Uном,кВ	0,415 ÷ 0,48	0,4 ÷ 0,525	0,415 ÷ 0,48	0,4 ÷ 0,525	0,4 ÷ 0,8	0,4 ÷ 0,69
Перегрузка от $I_{ном}$	1,5	1,5	1,8	1,5	1,6 ÷ 2	1,3
Перегрузка от $U_{ном}$	1,1(8 часов)	1,1(8 часов)		1,1(8 часов)		1,1(8 часов)
Число коммутаций в год	5 000	5 000	7 000	5 000	10 000	5000
Пусковой ток	200 $I_{ном}$	200 $I_{ном}$	250 $I_{ном}$	300 $I_{ном}$	400 $I_{ном}$	200 $I_{ном}$
Срок службы до, ч	100 000	135 000	130 000	130 000	200 000	100 000

Конденсаторные установки навесного исполнения



Нерегулируемые

- *с пофазной компенсацией реактивной мощности.* Повышение *cosφ* в нескомпенсированных линиях освещения, рекламных щитах в сетях с напряжением 0,23кВ
- *Компенсация реактивной мощности трехфазной нагрузки.* Повышение *cosφ* при индивидуальной компенсации реактиной мощности, где не требуется автоматическая регулировка

Регулируемые

- *автоматическая компенсация реактивной мощности.* Пофазная и трехфазная нагрузки

Таблица. *Технические параметры навесных установок*

Наименование	Мощность, кВАр	В×Ш×Г (мм) для У3	В×Ш×Г (мм) для У3 IP54	В×Ш×Г (мм) для У1 IP54	Тип вводного устройства
УКРМ-0,4-5-1	5	500×400×220	500×400×220	500×400×220	10А-16А
УКРМ-0,4-5-2,5	5	395×310×220	395×310×220	500×400×220	10А-16А
УКРМ-0,4-6,8-1,7	6,8	500×400×220	500×400×220	500×400×220	16А-25А
УКРМ-0,4-7,5-2,5	7,5	395×310×220	395×310×220	500×400×220	16А-25А
УКРМ-0,4-9-3	9	500×400×220	500×400×220	500×400×220	20А-25А
УКРМ-0,4-10-2,5	10	395×310×220	395×310×220	500×400×220	20А-25А
УКРМ-0,4-10-5	10	395×310×220	395×310×220	500×400×220	20А-25А
УКРМ-0,4-12,6-1,8	12,6	395×310×220	395×310×220	650×500×220	25А-32А
УКРМ-0,4-15-2,5	15	500×400×220	500×400×220	650×500×220	32А-40А
УКРМ-0,4-15-5	15	500×400×220	500×400×220	650×500×220	32А-40А
УКРМ-0,4-19,8-1,8	19,8	500×400×220	500×400×220	650×500×220	40А-50А
УКРМ-0,4-20-2,5	20	500×400×220	500×400×220	650×500×220	40А-50А
УКРМ-0,4-20-5	20	500×400×220	500×400×220	650×500×220	40А-50А
УКРМ-0,4-20-10	20	500×400×220	500×400×220	650×500×220	40А-50А
УКРМ-0,4-25-2,5	25	650×500×220	650×500×220	650×500×220	50А-63А
УКРМ-0,4-25-5	25	500×400×220	500×400×220	650×500×220	50А-63А
УКРМ-0,4-25-12,5	25	500×400×220	500×400×220	650×500×220	50А-63А
УКРМ-0,4-27-1,8	27	650×500×220	650×500×220	650×500×220	50А-63А
УКРМ-0,4-30-2,5	30	650×500×220	650×500×220	650×500×220	50А-63А
УКРМ-0,4-30-5	30	650×500×220	650×500×220	650×500×220	50А-63А
УКРМ-0,4-30-7,5	30	650×500×220	650×500×220	650×500×220	50А-63А
УКРМ-0,4-30-10	30	650×500×220	650×500×220	650×500×220	50А-63А
УКРМ-0,4-32,4-3,6	32,4	650×500×220	650×500×220	650×500×220	63А
УКРМ-0,4-35-5	35	650×500×220	650×500×220	650×500×220	63А
УКРМ-0,4-37,5-2,5	37,5	650×500×220	650×500×220	800×600×250	63А
УКРМ-0,4-39,6-3,6	39,6	650×500×220	650×500×220	800×600×250	80А-100А
УКРМ-0,4-40-2,5	40	650×500×220	650×500×220	800×600×250	80А-100А

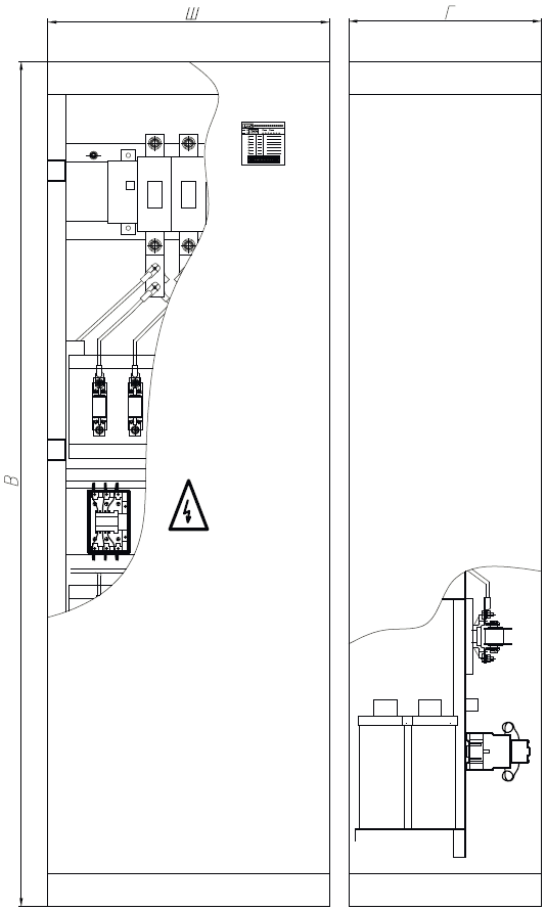
Таблица. *Технические параметры навесных регулируемых установок*

Наименование	Мощность, кВАр	В×Ш×Г (мм) для У3	В×Ш×Г (мм) для У3 IP54	В×Ш×Г (мм) для У1 IP54	Тип вводного устройства
УКРМ-0,4-40-5	40	650×500×220	650×500×220	800×600×250	80А-100А
УКРМ-0,4-40-10	40	650×500×220	650×500×220	650×500×220	80А-100А
УКРМ-0,4-40-20	40	650×500×220	650×500×220	650×500×220	80А-100А
УКРМ-0,4-45-5	45	650×500×220	650×500×220	800×600×250	80А-100А
УКРМ-0,4-45-15	45	650×500×220	650×500×220	650×500×220	80А-100А
УКРМ-0,4-46,8-3,6	46,8	650×500×220	650×500×220	800×600×250	100А
УКРМ-0,4-50-2,5	50	650×500×220	650×500×220	800×600×250	100А
УКРМ-0,4-50-5	50	650×500×220	650×500×220	800×600×250	100А
УКРМ-0,4-50-10	50	650×500×220	650×500×220	650×500×220	100А
УКРМ-0,4-50-12,5	50	650×500×220	650×500×220	650×500×220	100А
УКРМ-0,4-50-25	50	650×500×220	650×500×220	650×500×220	100А
УКРМ-0,4-54-3,6	54	650×500×220	650×500×220	800×600×250	100А
УКРМ-0,4-55-5	55	650×500×220	650×500×220	800×600×250	100А
УКРМ-0,4-60-5	60	650×500×220	650×500×220	800×600×250	100А
УКРМ-0,4-60-10	60	650×500×220	650×500×220	800×600×250	100А
УКРМ-0,4-60-15	60	650×500×220	650×500×220	800×600×250	100А
УКРМ-0,4-60-20	60	650×500×220	650×500×220	650×500×220	100А
УКРМ-0,4-62,5-12,5	62,5	650×500×220	650×500×220	800×600×250	125А
УКРМ-0,4-64,8-3,6	64,8	800×650×250	800×650×250	800×600×250	125А
УКРМ-0,4-70-5	70	800×650×250	800×650×250	800×600×250	125А
УКРМ-0,4-70-10	70	800×650×250	800×650×250	800×600×250	125А
УКРМ-0,4-75-7,5	75	800×650×250	800×650×250	800×600×250	125А
УКРМ-0,4-75-12,5	75	800×650×250	800×650×250	800×600×250	125А
УКРМ-0,4-75-25	75	800×650×250	800×650×250	800×600×250	125А
УКРМ-0,4-80-10(20)	80	800×650×250	800×650×250	800×600×250	ПВР-160А
УКРМ-0,4-87,5-12,5	87,5	800×650×250	800×650×250	800×600×250	ПВР-160А
УКРМ-0,4-90-10	90	800×650×250	800×650×250	1000×650×300	ПВР-160А
УКРМ-0,4-90-15	90	800×650×250	800×650×250	1000×650×300	ПВР-160А
УКРМ-0,4-100-5	100	800×650×250	800×650×250	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-100-10	100	800×650×250	800×650×250	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-100-12,5	100	800×650×250	800×650×250	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-100-20	100	800×650×250	800×650×250	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-100-25	100	800×650×250	800×650×250	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-100-33,3	100	800×650×250	800×650×250	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-105-5	105	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-105-7,5	105	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-112,5-12,5	112,5	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-120-10	120	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-120-20	120	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-120-30	120	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	200А-250А
УКРМ-0,4-125-5	125	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А

Таблица. *Технические параметры навесных регулируемых установок*

Наименование	Мощность, кВАр	В×Ш×Г (мм) для У3	В×Ш×Г (мм) для У3 IP54	В×Ш×Г (мм) для У1 IP54	Тип вводного устройства
УКРМ-0,4-125-12,5	125	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-125-25	125	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-130-10	130	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-140-20	140	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-150-5	150	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-150-10	150	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-150-12,5	150	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-150-15	150	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-150-25	150	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-150-30	150	1000×650×300	1000×650×300	1000×650×300	250А
УКРМ-0,4-160-10	160	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-160-20	160	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-162,5-12,5	162,5	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-175-25	175	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-180-15(30)	180	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-180-20	180	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-200-20	200	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-200-25	200	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-225-25	225	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-250-25	250	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А
УКРМ-0,4-250-12,5	250	1200×750×300	1200×750×300	1200×750×300	315А-400А

Регулируемые конденсаторные установки напольного исполнения



Два варианта исполнения корпуса:

- Металлический сварной с внутренними оцинкованными элементами;
- Рамный корпус из оцинкованного профиля тругольной закрытой формы модульной конструкции с монтажными панелями из оцинкованного металла

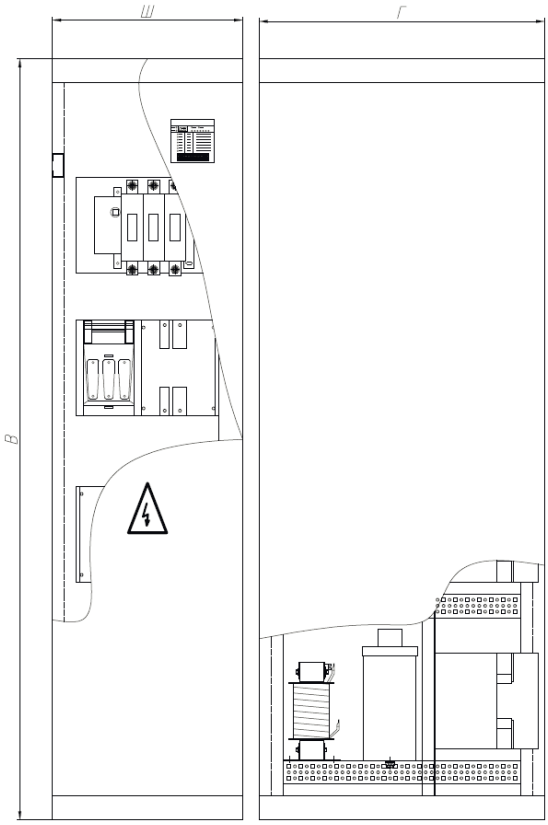
Таблица. *Технические параметры напольных регулируемых установок*

Наименование	Мощность, кВАр	В×Ш×Г (мм) для У3	В×Ш×Г (мм) для У3 IP54	В×Ш×Г (мм) для У1 IP54	Тип вводного устройства
УКРМ-0,4-150-25	150	1800×450×440	2000×450×450	1800×480×450	250А
УКРМ-0,4-200-25	200	1800×450×440	2000×450×450	2000×480×450	400А
УКРМ-0,4-225-25	225	1800×450×440	2000×450×450	2000×480×450	400А
УКРМ-0,4-250-25	250	1800×450×440	2000×450×450	2000×480×450	400А
УКРМ-0,4-275-25	275	1800×450×440	2000×450×450	2000×480×450	630А
УКРМ-0,4-280-10	280	1800×450×440	2000×450×450	2000×480×450	630А
УКРМ-0,4-300-25	300	1800×450×440	2000×450×450	2000×480×450	630А
УКРМ-0,4-325-25	325	1800×615×440	2000×600×450	2000×655×450	630А
УКРМ-0,4-350-25	350	1800×615×440	2000×600×450	2000×655×450	630А
УКРМ-0,4-360-40	360	1800×615×440	2000×600×450	2000×655×450	630А
УКРМ-0,4-375-12,5	375	1800×615×440	2000×600×450	2000×655×450	630А
УКРМ-0,4-375-25	375	1800×615×440	2000×600×450	2000×655×450	630А
УКРМ-0,4-400-25	400	1800×615×440	2000×600×450	2000×655×450	800А
УКРМ-0,4-425-25	425	1800×830×440	2000×800×440	2000×870×450	800А
УКРМ-0,4-450-25	450	1800×830×440	2000×800×440	2000×870×450	800А
УКРМ-0,4-475-25	475	1800×830×440	2000×800×440	2000×870×450	800А
УКРМ-0,4-500-20	500	2000×830×640	2000×800×640	2000×870×650	РЕ-19 1000А
УКРМ-0,4-500-25(50)	500	2000×830×640	2000×800×640	2000×870×650	РЕ-19 1000А
УКРМ-0,4-525-25	525	2000×830×640	2000×800×640	2000×870×650	РЕ-19 1000А
УКРМ-0,4-550-25	550	2000×830×640	2000×800×640	2000×870×650	РЕ-19 1000А
УКРМ-0,4-600-50	600	2000×830×640	2000×800×640	2000×870×650	РЕ-19 1600А

Таблица. *Технические параметры напольных регулируемых установок*

Наименование	Мощность, кВАр	В×Ш×Г (мм) для У3	В×Ш×Г (мм) для У3 IP54	В×Ш×Г (мм) для У1 IP54	Тип вводного устройства
УКРМ-0,4-650-50	650	1900×1230×440	2000×1200×450	2000×1310×450	Два ввода по 630А
УКРМ-0,4-700-50	700	1900×1230×440	2000×1200×450	2000×1310×450	Два ввода по 630А
УКРМ-0,4-750-50	750	1900×1230×440	2000×1200×450	2000×1310×450	Два ввода по 630А
УКРМ-0,4-800-50	800	1800×1230×440	2000×1200×450	2000×1310×450	Два ввода по 800А
УКРМ-0,4-825-50	825	1800×1230×440	2000×1200×450	2000×1310×450	Два ввода по 800А
УКРМ-0,4-850-50	850	1800×1230×440	2000×1200×450	2000×1310×450	Два ввода по 800А
УКРМ-0,4-900-50	900	1800×1660×440	2000×1600×450	2000×1740×450	Два ввода по 800А
УКРМ-0,4-950-50	950	1800×1660×440	2000×1600×450	2000×1740×450	Два ввода по 800А
УКРМ-0,4-1000-50	1000	2000×1660×640	2000×160×640	2000×1740×650	Два ввода по РЕ-19 1000А
УКРМ-0,4-1050-50	1050	2000×1660×640	2000×160×640	2000×1740×650	Два ввода по РЕ-19 1000А
УКРМ-0,4-1100-50	1100	2000×1660×640	2000×160×640	2000×1740×650	Два ввода по РЕ-19 1000А
УКРМ-0,4-1150-50	1150	2000×1660×640	2000×160×640	2000×1740×650	Два ввода по РЕ-19 1000А
УКРМ-0,4-1200-50	1200	2000×1660×640	2000×160×640	2000×1740×650	Два ввода по РЕ-19 1600А

Регулируемые установки, с защитой от гармоник - фильтровые



Применяются как отечественные реакторы, так и евопейских производителей:

- BV elektronik;
- Schneider Electric;
- Circutor
- Gruppo Energia;
- TDK Epcos.

Характеристическое волновое сопротивление:

- 5.67% (7-я гармоника, 210 Гц);
- 7% (5-я гармоника, 189 Гц);
- 14% (3-я гармоника, 134 Гц)

Корпус с усиленными оцинкованными элементами толщиной 2 мм.

Таблица. *Технические параметры контакторных фильтровых установок (134 Гц, 189 Гц)*

Наименование	Мощность, кВАр	В×Ш×Г (мм) для У3 IP31	В×Ш×Г (мм) для У1 IP54	В×Ш×Г (мм) для У3 IP54	Тип вводного устройства
КРМФ-0,4-5-5	5	800×600×250	1200×750×300	1200×750×300	Модульный автомат
КРМФ-0,4-15-5	15	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	
КРМФ-0,4-20-10	20	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	
КРМФ-0,4-25-5	25	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	
КРМФ-0,4-25-12,5	25	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	
КРМФ-0,4-30-10	30	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	
КРМФ-0,4-35-5	35	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	
КРМФ-0,4-37,5-12,5	37,5	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	
КРМФ-0,4-40-10	40	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	АВР 80А
КРМФ-0,4-50-10	50	1900×615×440	1800×655×450	1800×600×450	Автомат с выносной рукоятью 100А
КРМФ-0,4-50-12,5	50	1900×615×440	1800×655×450	1800×600×450	
КРМФ-0,4-50-25	50	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	
КРМФ-0,4-60-10	60	1900×615×440	1800×655×450	1800×600×450	Автомат с выносной рукоятью 125А
КРМФ-0,4-62,5-12,5	62,5	1900×615×440	1800×655×450	1800×600×450	
КРМФ-0,4-70-10	70	1900×615×440	1800×655×450	1800×600×450	Автомат с выносной рукоятью 160А
КРМФ-0,4-75-12,5	75	1900×615×440	1800×655×450	1800×600×450	
КРМФ-0,4-75-25	75	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	
КРМФ-0,4-80-20	80	1900×615×640	1800×655×650	1800×600×600	
КРМФ-0,4-87,5-12,5	87,5	1900×615×640	1800×655×650	1800×600×600	
КРМФ-0,4-90-30	90	1900×615×640	1800×655×650	1800×600×600	
КРМФ-0,4-100-50	100	1900×450×440	1800×480×450	1800×450×450	Автомат с выносной рукоятью 250А
КРМФ-0,4-100-25	100	1900×450×440	1800×655×450	1800×600×450	
КРМФ-0,4-112,5-12,5	112,5	1900×615×640	1800×655×650	1800×600×640	

Таблица. *Технические параметры контакторных фильтровых установок (134 Гц, 189 Гц)*

Наименование	Мощность, кВАр	В×Ш×Г (мм)	В×Ш×Г (мм) для исполнения У3	В×Ш×Г (мм) для исполнения У1	Тип вводного устройства
КРМФ-0,4-120-20	120	1900×615×640	1800×655×650	1800×600×640	Автомат с выносной рукоятью 250А
КРМФ-0,4-125-12,5	125	2100×615×640	2000×655×650	2000×600×640	
КРМФ-0,4-137,5-12,5	137,5	2100×615×640	2000×655×650	2000×600×640	
КРМФ-0,4-150-12,5	150	2100×615×640	2000×655×650	2000×600×640	
КРМФ-0,4-150-25	150	2100×615×640	2000×655×650	2000×600×640	
КРМФ-0,4-162,5-12,5	162,5	2100×615×640	2000×655×650	2000×600×640	Рубильник с выносной рукоятью 315А
КРМФ-0,4-175-25	175	2100×615×640	2000×655×650	2000×600×640	
КРМФ-0,4-180-20	180	2100×615×640	2000×655×650	2000×600×640	Рубильник с выносной рукоятью 400А
КРМФ-0,4-187,5-12,5	187,5	2100×615×640	2000×655×650	2000×600×640	
КРМФ-0,4-200-25	200	2100×615×640	2000×655×650	2000×800×640	
КРМФ-0,4-200-50	200	2100×615×640	2000×655×650	2000×600×600	
КРМФ-0,4-212,5-12,5	212,5	2100×830×640	2100×870×650	2000×800×640	
КРМФ-0,4-225-25	225	2100×830×640	2100×870×650	2000×800×640	
КРМФ-0,4-250-25	250	2100×830×640	2100×870×650	2000×800×640	
КРМФ-0,4-250-50	250	2100×830×640	2100×870×650	2000×800×640	
КРМФ-0,4-262,5-12,5	262,5	2100×830×640	2100×870×650	2000×800×640	Рубильник с выносной рукоятью 630А
КРМФ-0,4-275-25	275	2100×830×640	2100×870×650	2000×800×640	
КРМФ-0,4-300-25	300	2100×830×640	2100×870×650	2000×800×640	
КРМФ-0,4-300-50	300	2100×830×640	2100×870×650	2000×800×640	
КРМФ-0,4-325-25	325	2100×1065×840	2000×1000×650	2000×1200×640	
КРМФ-0,4-350-25	350	2100×1065×840	2000×1000×650	2000×1200×640	
КРМФ-0,4-350-50	350	2100×1065×840	2000×1000×650	2000×1200×640	
КРМФ-0,4-375-25	375	2100×1065×840	2000×1000×650	2000×1200×640	Рубильник с выносной рукоятью 800А
КРМФ-0,4-400-50	400	2100×1065×840	2000×1000×650	2000×1200×640	
КРМФ-0,4-400-25	400	2100×1065×840	2000×1000×650	2000×1200×640	
КРМФ-0,4-425-25	425	2100×1660×640	2000×1000×850	2000×1600×640	Два рубильника с выносной рукоятью 400А
КРМФ-0,4-450-50	450	2100×1660×640	2000×1000×850	2000×1600×640	
КРМФ-0,4-450-25	450	2100×1660×640	2000×1000×850	2000×1600×640	
КРМФ-0,4-475-25	475	2100×1660×640	2000×1740×650	2000×1600×640	
КРМФ-0,4-500-50	500	2100×1660×640	2000×1740×650	2000×1600×640	
КРМФ-0,4-550-50	550	2100×1660×640	2000×1740×650	2000×1600×640	Два рубильника с выносной рукоятью 630А
КРМФ-0,4-600-50	600	2100×1660×640	2000×1740×650	2000×1600×640	
КРМФ-0,4-650-50	650	2100×1880×840	2000×1870×650	2000×1200×640 + 2000×800×640	
КРМФ-0,4-700-50	700	2100×2130×840	2000×2000×650	2000×1400×640 + 2000×800×640	
КРМФ-0,4-750-50	750	2100×2130×840	2000×2000×850	2000×1400×640 + 2000×800×640	Два рубильника с выносной рукоятью 800А
КРМФ-0,4-800-50	800	2100×2130×840	2000×2000×850	2000×1600×640 + 2000×800×640	
КРМФ-0,4-850-50	850	2100×2490×640	2000×2000×850	2000×1600×640 + 2000×800×640	Три рубильника с выносной рукоятью 630А
КРМФ-0,4-900-50	900	2100×2490×640	2000×2000×850	2000×1600×640 + 2000×800×640	

Регулируемые установки, с защитой от гармоник и тиристорным управлением - тиристорно-фильтровые.

Таблица. *Технические параметры тиристорно-фильтровых установок (134 Гц, 189 Гц)*

Наименование	Мощность, кВАр	В×Ш×Г (мм)	В×Ш×Г (мм) для исполнения У3	В×Ш×Г (мм) для исполнения У1	Тип вводного устройства
КРМФТ-0,4-15-5	15	1900×450×640	1900×480×650	1800×450×600	Автомат с выносной рукоятью 80А
КРМФТ-0,4-20-10	20	1900×450×640	1900×480×650	1800×450×600	
КРМФТ-0,4-25-5	25	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	
КРМФТ-0,4-25-12,5	25	1900×450×640	1900×480×650	1800×450×600	
КРМФТ-0,4-30-10	30	1900×450×640	1900×480×650	1800×450×600	
КРМФТ-0,4-35-5	35	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	
КРМФТ-0,4-37,5-12,5	37,5	1900×450×640	1900×480×650	1800×450×600	
КРМФТ-0,4-40-10	40	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	
КРМФТ-0,4-50-10	50	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	Автомат с выносной рукоятью 100А
КРМФТ-0,4-50-12,5	50	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	
КРМФТ-0,4-50-25	50	1900×450×640	1900×480×650	1800×450×600	
КРМФТ-0,4-62,5-10(12,5)	62,5	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	АВР 125А
КРМФТ-0,4-70-10	70	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	Автомат с выносной рукоятью 160А
КРМФТ-0,4-75-12,5	75	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	
КРМФТ-0,4-75-25	75	1900×450×640	1900×480×650	1800×450×600	
КРМФТ-0,4-80-20	80	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	
КРМФТ-0,4-87,5-12,5	87,5	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	
КРМФТ-0,4-90-30	90	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	
КРМФТ-0,4-100-50	100	1900×450×640	1900×480×650	1800×450×600	Автомат с выносной рукоятью 250А
КРМФТ-0,4-100-25	100	1900×615×640	1900×655×650	1800×600×600	
КРМФТ-0,4-112,5-12,5	112,5	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	
КРМФТ-0,4-120-20	120	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	
КРМФТ-0,4-125-12,5	125	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	
КРМФТ-0,4-137,5-12,5	137,5	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	
КРМФТ-0,4-150-12,5	150	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	
КРМФТ-0,4-150-25	150	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	
КРМФТ-0,4-162,5-12,5	162,5	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	Рубильник с выносной рукоятью 315А
КРМФТ-0,4-175-25	175	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	
КРМФТ-0,4-180-20	180	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	Рубильник с выносной рукоятью 400А
КРМФТ-0,4-187,5-12,5	187,5	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	
КРМФТ-0,4-200-25	200	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	
КРМФТ-0,4-200-50	200	2100×615×840	2100×655×850	2000×600×800	
КРМФТ-0,4-212,5-12,5	212,5	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	
КРМФТ-0,4-225-25	225	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	
КРМФТ-0,4-250-25	250	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	
КРМФТ-0,4-250-50	250	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	
КРМФТ-0,4-262,5-12,5	262,5	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	Рубильник с выносной рукоятью 630А
КРМФТ-0,4-275-25	275	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	
КРМФТ-0,4-300-25	300	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	
КРМФТ-0,4-300-50	300	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	

Таблица. *Технические параметры тиристорно-фильтровых установок (134 Гц, 189 Гц)*

Наименование	Мощность, кВАр	В×Ш×Г (мм)	В×Ш×Г (мм) для исполнения У3	В×Ш×Г (мм) для исполнения У1	Тип вводного устройства
КРМФТ-0,4-325-25	325	2100×830×840	2100×870×850	2000×800×800	РВР 630А
КРМФТ-0,4-350-25	350	2×(2100×615×840)	2×(2100×655×850)	2000×1200×800	Два рубильника с выносной рукоятью 400А
КРМФТ-0,4-350-50	350	2×(2100×615×840)	2×(2100×655×850)	2000×1200×800	
КРМФТ-0,4-375-25	375	2×(2100×615×840)	2×(2100×655×850)	2000×1200×800	
КРМФТ-0,4-400-50	400	2×(2100×615×840)	2×(2100×655×850)	2000×1200×800	
КРМФТ-0,4-400-25	400	2×(2100×830×840)	2×(2100×870×850)	2000×1600×800	
КРМФТ-0,4-425-25	425	2×(2100×830×840)	2×(2100×870×850)	2000×1600×800	
КРМФТ-0,4-450-25	450	2×(2100×830×840)	2×(2100×870×850)	2000×1600×800	
КРМФТ-0,4-450-50	450	2×(2100×830×840)	2×(2100×870×850)	2000×1600×800	
КРМФТ-0,4-475-25	475	2×(2100×830×840)	2×(2100×870×850)	2000×1600×800	
КРМФТ-0,4-500-50	500	2×(2100×830×840)	2×(2100×870×850)	2000×1600×800	
КРМФТ-0,4-525-25	525	2×(2100×830×840)	2×(2100×870×850)	2000×1600×800	Два рубильника с выносной рукоятью по 630А
КРМФТ-0,4-600-50	600	2×(2100×830×840)	2×(2100×870×850)	2000×1600×800	
КРМФТ-0,4-650-50	650	2×(2100×830×840)	2×(2100×870×850)	2000×1600×800	
КРМФТ-0,4-700-50	700	2100×615×840 + 2×(2100×830×840)	2100×655×850 + 2×(2100×870×850)	2100×600×800 + 2×(2100×800×800)	Три рубильника с выносной рукоятью по 400А
КРМФТ-0,4-750-50	750	3×(2100×830×840)	3×(2100×870×850)	2000×2400×800	
КРМФТ-0,4-800-50	800	3×(2100×830×840)	3×(2100×870×850)	2000×2400×800	Три рубильника с выносной рукоятью по 630А
КРМФТ-0,4-850-50	850	3×(2100×830×840)	3×(2100×870×850)	2000×2400×800	
КРМФТ-0,4-900-50	900	3×(2100×830×840)	3×(2100×870×850)	2000×2400×800	

Конденсаторные модули М2

Конденсаторные модули выполнены в компактном форм-факторе с конечными шинами для ввода. Конденсаторный модуль может состоять из 2, 3, 4, 5 или 6 ступеней разной мощности, дополнительно комплектоваться антирезонансным дросселем для защиты конденсаторов от токов гармоник, использоваться в способах индивидуальной, групповой, централизованной или смешанной (комбинированной) компенсации реактивной мощности.

Конденсаторные модули изготавливаются в виде низковольтных комплектных устройств (НКУ или КУ) по ГОСТ Р 51321.1-2007 полностью испытанными и готовыми к подключению для условий эксплуатации УХЛ4, просто интегрируются в функциональные группы, в том числе в действующих УКРМ, могут размещаться в эксплуатируемых распределительных шкафах, что почти на четверть снижает затраты на установку и ввод в действие в сравнении с шкафными УКРМ, УКРМФ.

Таблица. *Технические параметры конденсаторных модулей*

Наименование	Мощность, кВАр	Минимальная ступень, кВАр	Ступени, кВАр	Кол-во ступеней регулирования
УКРМ-М2-0,4-25-25	25	25	25	1
УКРМ-М2-0,4-40-5	40	5	5 + 5 + 10 + 20	8
УКРМ-М2-0,4-40-10	40	10	10 + 10 + 20	4
УКРМ-М2-0,4-40-20	40	20	20 + 20	2
УКРМ-М2-0,4-50-5	50	5	5 + 10 + 10 + 25	10
УКРМ-М2-0,4-50-10	50	10	10 + 20 + 20	5
УКРМ-М2-0,4-50-12,5	50	12,5	12,5 + 12,5 + 25	4
УКРМ-М2-0,4-50-25	50	25	25 + 25	2
УКРМ-М2-0,4-60-5	60	5	5 + 5 + 10 + 25 + 25	12
УКРМ-М2-0,4-60-10	60	10	10 + 10 + 20 + 20	6
УКРМ-М2-0,4-60-20	60	20	20 + 20 + 20	3
УКРМ-М2-0,4-70-10	70	10	10 + 20 + 40	7
УКРМ-М2-0,4-75-12,5	75	12,5	12,5 + 12,5 + 25 + 25	6
УКРМ-М2-0,4-75-25	75	25	25 + 50	3
УКРМ-М2-0,4-80-20	80	20	20 + 20 + 40	4
УКРМ-М2-0,4-90-15	90	15	15 + 15 + 30 + 30	6
УКРМ-М2-0,4-100-10	100	10	10 + 20 + 20 + 50	10
УКРМ-М2-0,4-100-12,5	100	12,5	12,5 + 12,5 + 25 + 50	8
УКРМ-М2-0,4-100-25	100	25	25 + 25 + 50	4
УКРМ-М2-0,4-110-10	110	10	10 + 20 + 30 + 50	11
УКРМ-М2-0,4-120-20	120	20	20 + 20 + 30 + 50	6
УКРМ-М2-0,4-125-12,5	125	12,5	12,5 + 12,5 + 25 + 25 + 50	10
УКРМ-М2-0,4-125-25	125	25	25 + 50 + 50	5
УКРМ-М2-0,4-150-25	150	25	25 + 25 + 50 + 50	6
УКРМ-М2-0,4-175-12,5	175	12,5	12,5 × 2 + 25 × 2 + 50 × 2	14

Информация представлена в формате: «Параметр» / «Измеряемый или расчетный показатель»

Напряжение

Для продолжительных изменений:

- Положительное отклонение
- Отрицательное отклонение
- Установившееся отклонение
- Отклонение частоты
- Коэффициент несимметрии по обратной и нулевой последовательности
- Коэффициент искажения синусоидальности
- Коэффициент n-ой гармонической составляющей (n от 2 до 50)
- Коэффициент h-ой интергармонической составляющей напряжения (h от 1 до 49)
- Напряжение информационных сигналов

Для случайных событий:

- Длительность провала напряжения
- Длительность прерывания напряжения
- Длительность временного перенапряжения
- Глубина провала напряжения
- Коэффициент временного перенапряжения
- Длительность импульса напряжения
- Амплитуда импульса напряжения

Дополнительные показатели:

- Среднеквадратическое значение напряжения основной частоты
- Среднеквадратическое значение напряжения гармоник, интергармоник, информационных сигналов
- Среднеквадратическое значение напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей

Сила тока

- Среднеквадратическое значение тока основной частоты
- Среднеквадратическое значение тока прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Коэффициент искажения синусоидальности
- Коэффициент несимметрии тока по обратной последовательности
- Коэффициент несимметрии тока по нулевой последовательности
- Среднеквадратическое значение тока гармоник, интергармоник, информационных сигналов
- Коэффициент n-ой гармонической составляющей тока (n от 2 до 50)
- Коэффициент h-ой интергармонической составляющей тока (h от 1 до 49)

Углы фазовых сдвигов между

- Напряжениями основной частоты
- Токами основной частоты
- Напряжением и током основной частоты
- Симметричными составляющими напряжений и токов прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Гармоническими составляющими напряжений и токов

Электрическая мощность

- Активная мощность основной частоты
- Активная мощность гармоник, интергармоник, информационных сигналов
- Реактивная мощность основной частоты
- Реактивная мощность гармоник, интергармоник, информационных сигналов

Электрическая мощность

- Полная мощность основной частоты
- Полная мощность гармоник, интергармоник, информационных сигналов
- Активные мощности прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Реактивные мощности прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Полные мощности прямой, обратной и нулевой последовательностей
- Активная мощность n-ой гармонической составляющей
- Реактивная мощность n-ой гармонической составляющей
- Полная мощность n-ой гармонической составляющей

Электрическая энергия

- Активная энергия
- Реактивная энергия

Справочный раздел. Модернизация средств компенсации неактивной мощности в компании «МИРКОН»

В зависимости от конкретной ситуации в сети объекта с компенсацией реактивной мощности и уровнем гармонических искажений, а также с учетом цифровой трансформации электросетей компания «МИРКОН» предлагает:

- восстановление мощности установки, ее ступеней, эффективности и функциональности УКРМ путем замены конденсаторов, контакторов, кабелей, устройств автоматики, защиты и пр., в том числе с дополнительной установкой электронных блоков для интеграции УКРМ с АСУ ТП или другими подсистемами IndustrialEthernet стандартов IEEE 802.3/ IEEE 802.3u по IP протоколам;
- изменение дискретности и мощности УКРМ, а при необходимости - с интеграцией нерегулируемой ступени для демпфирования фоновой (постоянной) потребности в реактивной энергии, что сокращает число срабатываний контакторов и увеличивает срок службы установки;
- обеспечение защиты установки от токов гармоник пассивными фильтрами, а также локализацию в сети источников гармонических искажений установкой пассивного, активного или гибридного фильтра гармоник;
- замену релейных контакторов на быстродействующие тиристорные ключи, интеграцию дополнительных фильтров гармоник и т.д.

Все решения компании «МИРКОН» по модернизации УКРМ:

- разрабатываются только по данным энергетического аудита с обязательным проведением мониторинга сети по пакету параметров и с учетом перспектив развития объекта;
- реализуются на базе прогрессивных блочно-модульных сборок, под которые шкафы эксплуатируемых УКРМ (или РУ, ТП, КТП, РП, ГРЩ) адаптируются бесплатно во время модернизации.

Расшифровка обозначений конденсаторных установок компенсации реактивной мощности

По цифрам, буквам слева направо:

- **УК** – Установка Конденсаторная;
- **М** (или **РМ**) – с регулированием генерации (подключения ступеней) по реактивной мощности, причем могут быть буквы **Т** или **Н**, обозначающие регулирование по току нагрузки или напряжению в узле нагрузки;
- **XX** (первые две цифры) – год изготовления, что формализует разд. 3 действующего ГОСТ Р 56744-2015.
- первая пара цифр через дефис – номинальное напряжение сети, в которой осуществляется эксплуатация конденсаторной установки;
- следующие цифры через дефис - номинальная реактивная мощность в кВАр всей установки;
- следующие цифры через дефис – минимальная мощность ступени в кВАр, что определяет дискретность регулировки;
- первая буква (буквы) после цифр – исполнение для эксплуатации в климатическом районе по ГОСТ 15150-69 (У – в районе с умеренным климатом, УХЛ или ХЛ - в районе с холодным климатом, М и ТМ – в районе с умеренно-холодным и тропическим морским климатом соответственно, О – для всех макроклиматических районов за исключением арктического и пр.);
- последняя цифра после буквы климатического исполнения – категория эксплуатации в зависимости от места размещения по ГОСТ 15150-69, где 1 – на открытом воздухе, 2 – под навесом или в помещении со сравнительно свободным доступом воздуха с улицы, 2.1 – при использовании в качестве встроенного блока, модуля комплектных изделий (категорий 1, 1.1, 2), 3 и 4 – в закрытом помещении без регулирования и с регулированием микроклимата соответственно, 3.1 – в нерегулярно отапливаемых помещениях и т.д.

При необходимости выделить место положения ячейки ввода в маркировку после **УК** добавляют «**Л**» или «**П**» (ячейка слева или справа при положении к фронту установки), буква «**Ф**» говорит о наличии фильтра гармоник, «**Т**» - автоматического управления тиристорными ключами, а нерегулируемые установки могут дополнительно маркироваться буквой «**Н**» перед обозначением номинального напряжения.

Т.е. в каталоге производителя:

- УКРМ-0,4-60-20 У1 – конденсаторная установка с регулированием по Реактивной Мощности (РМ) номинального напряжения 400В реактивной мощностью (общей) 60 кВАр с минимальной мощностью ступени 20 кВАр, с возможностью эксплуатации на открытом воздухе (У1), а УКТ-0,4-60-20 У1 или УКН-0,4-60-20 У1 – то же с регулированием генерации реактивной мощности по току (Т) и напряжению (Н) соответственно;
- УКМФ-0,4-60-20 УХЛ1 или

  УКРМФ-0,4-60-20 УХЛ1 – такая же установка с регулированием по реактивной мощности, но с фильтром гармоник и для эксплуатации на открытом воздухе в районах с умеренным или холодным климатом, а УКМТ или УКРМТ – с управлением подключением ступеней тиристорными ключами и т.д.

Важно: Рабочие и предельные рабочие температуры окружающей среды в маркировке по требованиям ГОСТ Р 56744-2015 определены исполнением по климатическим условиям эксплуатации и формализованы в ГОСТ 15150-69. Вместе с тем, пока только некоторые производители, осуществляющие проектирование, указывают в обозначении степень защиты (код IP) и стойкость к току короткого замыкания, что является обязательным по стандарту и может влиять на подбор низковольтной конденсаторной установки для компенсации реактивной мощности.

Гарантийные обязательства компании «МИРКОН» по конденсаторным установкам повышения коэффициента мощности

В соответствии с жесткими требованиями СТО 34.01-3.2.11-012-2017 компания «МИРКОН» для конденсаторных установок повышения коэффициента мощности УКРМ (релейных), УКРМТ (с тиристорными ключами), УКРМФ и УКРМТФ (фильтровых) и гибридных с одной нерегулируемой ступенью для срезания фонового потребления реактивной энергии устанавливает и гарантирует:

- гарантийный срок эксплуатации до 5 лет с момента ввода и общий срок службы до 30 лет (в зависимости от комплектации);
- коэффициент готовности УКРМ, УКРМТ, УКРМФ, УКРМТФ к полноценной работе в период поставки не менее 0,995, после ввода в действие и настройки 1.0;
- интенсивность отказов конденсаторов в батареях установок, модулях в течение 2-хлетнего периода приработки не более $1x10^{-7}$ 1/ч, после приработки не более $0.5x10^{-7}$ 1/ч;
- поставку запасных частей, модулей, блоков для ремонта и замены без нарушения функциональности и ухудшения заявленной эффективности работы еще в течение 20 лет после окончания гарантийного срока;
- поставку запасных частей, модулей, блоков для ремонта, реновации или модернизации в срок от трех месяцев до полугода с момента подписания двустороннего договора;
- безоговорочное соответствие требованиям федеральной, отраслевых программ импортозамещения любой конденсаторной установки повышения коэффициента мощности, заявленной компанией «МИРКОН» со статусом «отечественное изделие».

Важно: Гарантийные обязательства компании «МИРКОН» в отношении своих продуктов являются безусловными, но не безоговорочными и компания берет на себя полную ответственность за работоспособность УКРМ, фильтров гармоник если:

- конденсаторные установки повышения коэффициента мощности были подобраны (или разработаны) по данным анализа энергоаудита объекта с мониторингом параметров качества электроэнергии, проведенного специалистами компании (или сертифицированной организацией);
- условия эксплуатации по нагрузке, токам гармоник, температурно-влажностному режиму в течение гарантийного периода соответствуют проектным (моменту введения в действие);
- эксплуатация установок УКРМ и активных фильтров гармоник осуществлялась персоналом, прошедшим инструктаж и имеющим соответствующий сертификат.

Приложение 1: Опросный лист на выбор конденсаторной установки. Лист 1

* - Стандартная комплектация не влияющая на изменение стоимости установки.

Наименование установки: _____

Тип установки

☐ Нерегулируемая

Регулируемая автоматически с коммутацией: ☐ Контакторами ☐ Тиристорами

Защита конденсаторов от высших гармоник: (Фильтровая)
☐ Нет * ☐ 210 Гц (7-ая гармоника 5,67%, конденсаторы на 0.44 кВ) ☐ 189 Гц (5-ая гармоника 7%, конденсаторы на 0.44 кВ) ☐ 134 Гц (3-я гармоника 14%, конденсаторы на 0.48 кВ)

Параметры сети

$U_{НОМ}$ сети: ☐ 0.4 кВ * ☐ 0.23 кВ ☐ 0.69 кВ ☐ Другое

Дополнительные параметры конденсаторов (при необходимости)

$U_{НОМ}$ конденсаторов, не менее: ☐ 0.4 кВ * ☐ 0.44 кВ ☐ 0.48 кВ ☐ Другое

Длительно выдерживаемый ток: ☐ 1,5 In ☐ 1,8 In, NIl≤20% ☐ Другое

Параметры установки

Номинальная мощность, кВАр: _____
при $U_{НОМ}$ и частоте

Мощность минимальной ступени регулирования, кВАр: (шаг регулирования)
☐ 2,5 ☐ 5 ☐ 10 ☐ 12,5 * ☐ 15
☐ 20 ☐ 25 * ☐ 30 ☐ 33,3 ☐ 37,5 *
☐ 40 ☐ 50 * ☐ 67 ☐

Тип вводного устройства: ☐ Без вводного устройства ☐ С вводным устройством

Выносная рукоять: блокировка двери ☐ Да ☐ Нет

Тип ввода: ☐ Сверху ☐ Снизу ☐ Другое

Особенности регулятора реактивной мощности: ☐ Автоинсталляция* ☐ Наличие порта RS-485 ☐ Другое

Степень защиты: ☐ IP-31 * ☐ IP-44 ☐ IP-54 ☐ Другое

Климатическое исполнение: ☐ У * ☐ УХЛ ☐ ХЛ ☐ Другое

Категория размещения: ☐ 4 * (в составе оборудования) ☐ 3 * (внутри помещения) ☐ 2 (под навесом) ☐ 1 (на открытом воздухе)

Ограничение по габаритным размерам в мм, не более: ☐ Ширина ☐ Глубина ☐ Высота ☐ Нет

Приложение 1: Опросный лист на выбор конденсаторной установки. Лист 2

* - Стандартная комплектация не влияющая на изменение стоимости установки.

Тип корпуса

☐ Напольный (производство РФ, по желанию с цоколем)

☐ Навесной Стандартно до 250 кВАр (включительно)

☐ Давальческий (корпус предоставляется Заказчиком)

Другое

Требование к компонентам (влияние на цену)

☐ Сбалансировано

☐ Премиум

Необходимость шеф-монтажа

☐ Да. (укажите адрес)

☐ Нет

Адрес объекта

Наименование Заказчика:
или название объекта

Общие примечания:
что необходимо учесть

МИРКОН
КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

НАДЕЖНОСТЬ
Усиленные конденсаторы

ПРОСТОТА И ИНФОРМАТИВНОСТЬ
Автоинсталляция
Память аварийных отключений

НЕВЫСОКАЯ ЦЕНА

УДОБСТВО ПОДКЛЮЧЕНИЯ
Шинный мост для двух и более кабелей

БЕЗОПАСНОСТЬ
Блокировка двери

15% СКИДКА ДИЛЕРАМ

ГАРАНТИЯ 24 МЕСЯЦА

ПРОИЗВОДСТВО КОМПЛЕКТАЦИЯ СЕРВИС

www.mircond.com