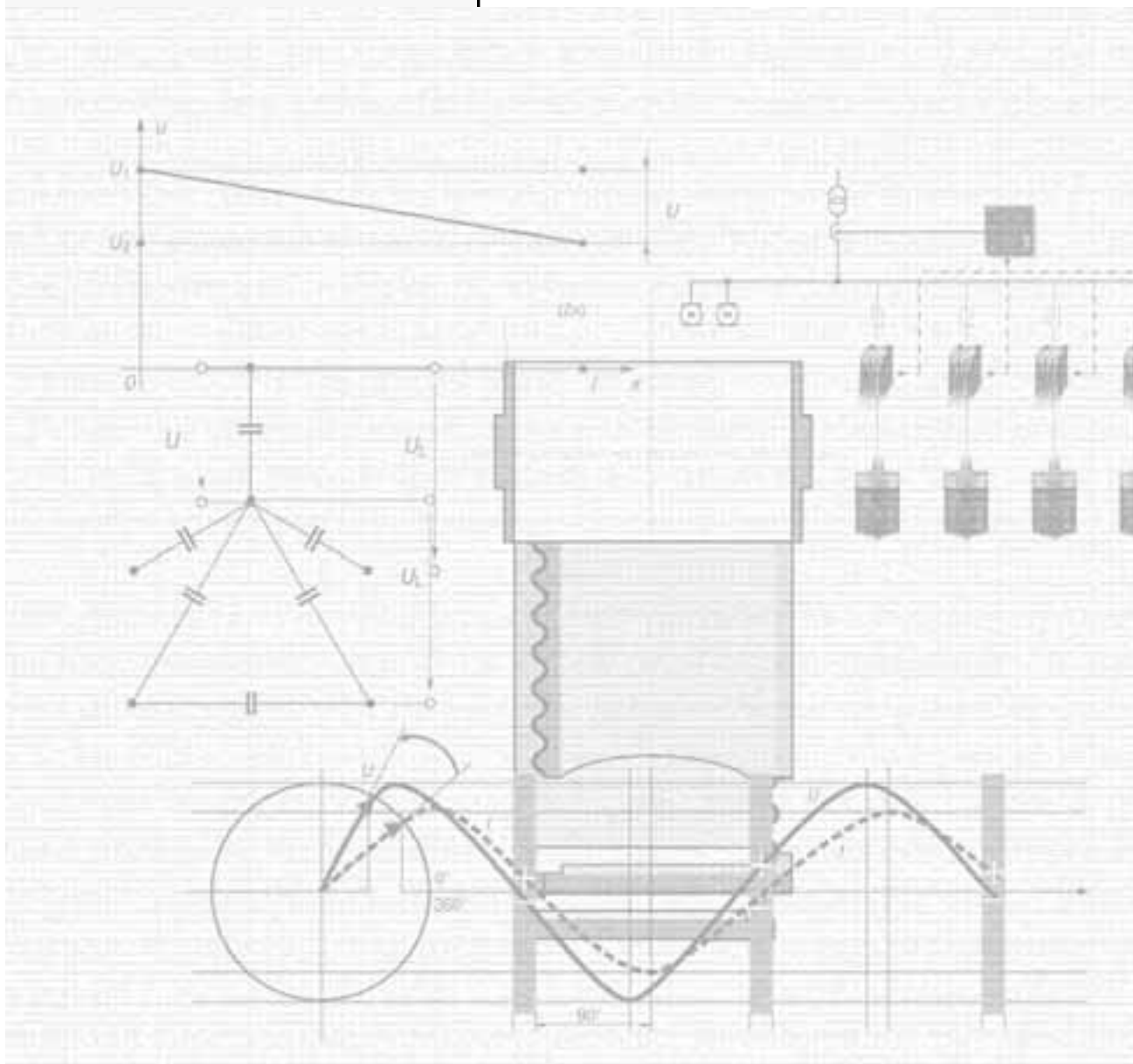


ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ  
ПО КОМПОНЕНТАМ КРМ

## Глава 1

# РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ И ЕЕ КОМПЕНСАЦИЯ КОНДЕНСАТОРАМИ



# ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ПРЕДПОСЫЛКИ КРМ

## РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

### *Вместо эпитафии*

В бывшем СССР промышленные предприятия редко простаивали без нагрузки, работали «на полную мощность». Практически на каждом предприятии стояли (обычно фиксированные) системы компенсации реактивной мощности (КРМ). В приказном порядке обеспечивался учет и соблюдение надлежащего значения коэффициента мощности (КМ) предприятия. Спад промышленного производства в нашей стране и простой большинства предприятий привели к временной невостребованности систем КРМ ввиду малого потребления мощности простаивающими предприятиями. Постепенно установки КРМ устаревали и выходили из строя. Ставшая нередкой неполная загрузка по мощности промышленного оборудования, особенно старого (электродвигателей и т. п.), привела к повышенному поступлению в сеть реактивной электроэнергии.

На современном этапе, с ростом производства, вопросы КРМ вновь приобретают актуальность. Полное использование мощностей (при полной загрузке трансформаторов) возможно только при компенсации реактивной составляющей мощности. К слову сказать, на Западе, например в Германии, оборудование редко простаивает и тариф на потребление реактивной мощности (РМ) весьма велик (частные электрические компании четко следят за засорением электросети потребителем в целом, и в частности — за наличием у потребителя устройств компенсации). Поэтому практически ни одно промышленное предприятие там давно уже не обходится без оборудования КРМ\*.

Данное издание не претендует на глубокий анализ систем КРМ, а лишь упорядочивает основную информацию, необходимую для практического применения компонентов КРМ. Технические характеристики, особенности и условия применения современных компо-

нентов КРМ приведены достаточно подробно — на примере компонентов КРМ концерна «Epcos» (бывшее подразделение «Siemens» по производству пассивных компонентов). Данный концерн с давних времен специализируется на фазных конденсаторах и компонентах КРМ, являясь общепризнанным лидером в этой области.

Продукция «Epcos»\* характеризуется широким спектром компонентов (фазные конденсаторы и контакторы разных типов, микропроцессорные регуляторы РМ, защитные дроссели, трехфазные мультиметры и проч.), необходимых для комплектации систем КРМ различных типов.

### ***Возникновение РМ и необходимость компенсаторов***

Основной нагрузкой электрической сети современных промышленных предприятий являются асинхронные [электро-] двигатели (АД) и распределительные трансформаторы. Когда заходит речь о мощности нагрузки, то потребителя обычно волнует вопрос об уровне активной составляющей мощности, так как именно она определяет полезную работу. С другой стороны, принцип действия и АД, и трансформаторов основан на изменении магнитного поля в индуктивных элементах (обмотках нагрузки).

Отставание тока по фазе от напряжения в индуктивных элементах обуславливает интервалы времени (на **Рис. 1.1** они выделены серым цветом), когда напряжение и ток имеют противоположные знаки: напряжение положительно, а ток отрицателен, и наоборот. В эти моменты мощность не потребляется нагрузкой, а подается обратно по сети в сторону генератора. При этом электроэнергия, запасаемая в каждом индуктивном элементе, распространяется по сети, не рассеиваясь в активных элементах, а совершая колебательные движения (от нагрузки к генератору и обратно).

\* В англоязычной литературе аббревиатуре КРМ соответствует термин PFC — Power Factor Correction.

\* Официальный дистрибьютор — фирма «Додэка ЭК» ([www.dodeca.ru](http://www.dodeca.ru)) предоставляет подробную информацию по всему спектру компонентов «Epcos».

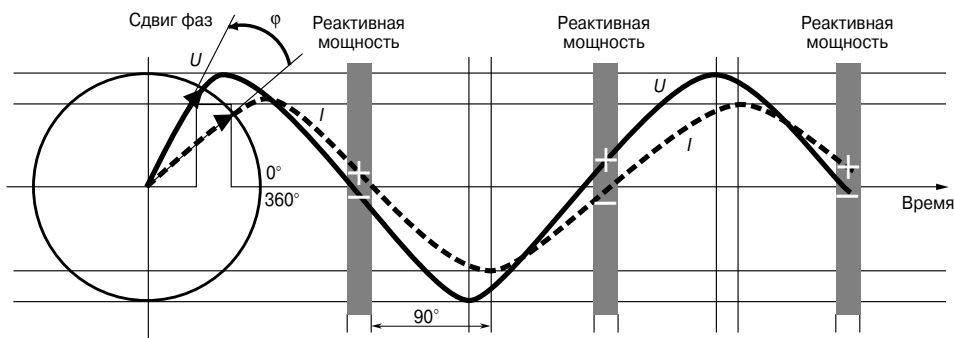


Рис. 1.1. Возникновение реактивной мощности

Соответствующую мощность называют реактивной.

Наличие РМ является паразитным фактором, неблагоприятным для сети в целом.

Оно приводит к следующим негативным явлениям, возникающим в распределительной сети:

- снижение пропускной способности,
- повышенные активные потери,
- большое падение напряжения.

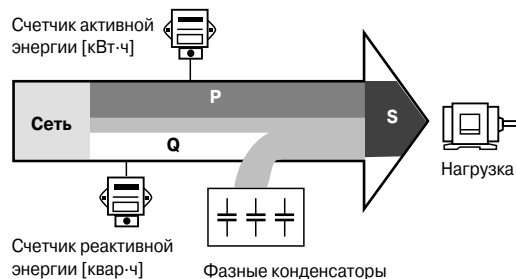
Реактивная мощность  $Q$  пропорциональна реактивному току, протекающему через индуктивный элемент:  $Q = U \cdot I_L$ , где  $I_L$  — реактивный (индуктивный) ток, питающий нагрузку, складывается из активной и индуктивной составляющих:  $I = I_R + I_L$ . Для снижения доли реактивного тока в системе генератор—нагрузка параллельно нагрузке подключают компенсаторы — электроприемники с емкостным током. РМ при этом уже не перемещается между генератором и нагрузкой, а совершает локальные колебания между реактивными элементами — индуктивными обмотками нагрузки и компенсатором (ами). Такая КРМ (снижение индуктивного тока в системе генератор—нагрузка) позволяет, в частности, передать в нагрузку большую активную мощность при той же номинальной полной мощности генератора.

Полная мощность  $S$  сети равна

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

где  $P$  — активная мощность. Как известно, КМ, численно равный косинусу угла  $\varphi$  между током и напряжением, определяют как отношение активной мощности к полной:  $\cos \varphi = P/S$ . Этим коэффициентом принято характеризовать уровень РМ двигателей, генераторов и сети предприятия в целом.

**Примечание.** Нередко наряду с коэффициентом  $\cos \varphi$  в качестве КМ используют величину  $\operatorname{tg} \varphi = Q/P$ , которая непосредственно характеризует отношение РМ к активной. Однако в данном издании под КМ понимается только  $\cos \varphi$ .



## КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА НАГРУЗКИ

### КМ предприятий и оплата РМ

Казалось бы, без КРМ можно обойтись, если пренебречь некоторыми расходами, связанными с некомпенсированной РМ, просто увеличив полную мощность генератора (с использованием дополнительного генератора или генератора большей номинальной мощности). Как известно, тариф за потребление 1 квар·ч РМ для большинства предприятий в нашей стране до сих пор несравненно ниже тарифа за 1 кВт·ч активной. Од-

нако, в соответствии с ПУЭ, средневзвешенный КМ электроприемников должен быть не ниже 0.92...0.95 (для обеспечения надежной работы соседних нагрузок и сети в целом). Соответственно, Главгосэнергонадзор и энергоснабжающие организации устанавливают лимиты расхода РМ практически для каждого предприятия, при превышении которых оно подвергается штрафам.

Кроме того, тариф за 1 квар·ч значителен для ряда предприятий, отличающихся весьма высоким уровнем РМ (низким значением КМ, см. таблицу).

Это предприятия, использующие подъемные краны (для погрузки/разгрузки судов, а также в строительстве и др.), металлопрокатные станы, сварочные трансформаторы, дуговые печи и тому подобное оборудование.

Ряд поставщиков электроэнергии определяет тариф оплаты РМ в зависимости от расхода потребителем активной мощности. Кроме того, может быть определена некоторая «оптимальная» (заданная) величина расхода РМ. С другой стороны, часто определяющим фактором тарифа за расход РМ является не только отрасль, к которой относится предприятие-потребитель, но и территориальный регион, в котором размещено это предприятие.

Например, в 2001 г. ОАО «Новосибирскэнерго» определило расчет надбавки к тарифу по оплате активной мощности при повышенном потреблении РМ (относительно заданного «оптимального» значения) в соответствии со следующей формулой:

$$h = 30 \cdot (Q_{\text{ФАКТ}} - Q_{\text{ЗАД}}) / P_{\text{ФАКТ}} [\%],$$

где  $Q_{\text{ФАКТ}}$  и  $Q_{\text{ЗАД}}$  — соответственно фактическое и заданное значения потребляемой предприятием РМ,  $P_{\text{ФАКТ}}$  — фактическое значение активной мощности.

Например, при  $P_{\text{ФАКТ}} = 150\,000$  кВт,

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{ФАКТ}} &= Q_{\text{ФАКТ}} - Q_{\text{ЗАД}} = \\ &= (150\,000 - 100\,000) \text{ кВт} = 50\,000 \text{ квар}, \\ h &= 30 \cdot (\Delta Q_{\text{ФАКТ}}) / P_{\text{ФАКТ}} = \\ &= 30 \cdot (50\,000 / 150\,000) \% = 10\%. \end{aligned}$$

Соответственно, при тарифе на РМ 0.2 руб./кВт потребитель дополнительно к оплате активной мощности оплачивает  $150\,000 \text{ кВт} \times 0.2 \text{ руб./кВт} = 15\,000 \text{ руб.}$

В целом, отсутствие тарифов по оплате РМ ряда регионов либо низкий тариф указывают на бесхозяйственный подход соответствующих хозяйствующих организаций к учету промышленных энергозатрат и отсутствие должной политики энергосбережения.

#### КМ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ОБОРУДОВАНИЯ

Тип оборудования (отрасль производства)	Типичный КМ (без КРМ)	Тип оборудования (отрасль производства)	Типичный КМ (без КРМ)
Водяные насосы	0.8...0.85	Горный разрез	0.6...0.7
Компрессоры	0.7...0.8	Литье стали	0.6...0.7
Пивоварня	0.6...0.7	Табачная фабрика	0.6...0.7
Скотобойня	0.6...0.7	Подъемные краны	0.5...0.6
Цементный завод	0.6...0.7	Машины, станки	0.4...0.6
Производство фанеры	0.6...0.7	Сварочные трансформаторы	0.4...0.5

#### Крайне низкий КМ бывших в употреблении АД

Величина  $\cos \varphi = 0.7$  соответствует паспортным данным многих АД. Однако в нынешних условиях роста промышленного производства нередки случаи, когда в целях решения задач, требующих ограниченного уровня активной мощности нагрузки, применяется старое оборудование, рассчитанное производителем на гораздо большую номинальную мощность. Такой нештатный режим эксплуатации электродвигателей и генераторов, с неполной загрузкой по мощности (активной), характеризуется повышенным уровнем поступающей в сеть РМ (снижением КМ АД).

#### СНИЖЕНИЕ КМ ПРИ НЕПОЛНОЙ ЗАГРУЗКЕ АД

Загрузка АД [%] (по мощности)	100	80	60	50	40
$\cos \varphi$ [в % от номинального значения]	100	90	80	70	60

Из этой таблицы следует, что, например, если  $\cos \varphi_{\text{штатн. АД}} = 0.8$ , то при загрузке на 80%  $\cos \varphi (80\%) = 0.9 \cdot 0.8 = 0.72$ . А при  $\cos \varphi_{\text{штатн. АД}} = 0.7$  и загрузке на 50% —  $\cos \varphi (50\%) = 0.7 \cdot 0.7 = 0.49$ .

В приложении приведена номограмма расчета отклонения КМ незагруженного АД от номинального  $\cos \varphi_{\text{НОМ}}$  на основе измерения статорного тока АД.

При работе АД на холостом ходу его КМ может снижаться до 0.1...0.3. Невозможность эксплуатации АД с полной загрузкой по мощности часто является следствием некачественно проведенного ремонта АД, при котором произведены следующих изменения в их конструкции:

- уменьшенное число витков обмотки;
- увеличенный воздушный зазор;
- замена провода обмотки новым, имеющим большее сечение.

Повышенным уровнем РМ характеризуется также работа АД при тяжелых условиях пуска.

## ДОСТОИНСТВА КРМ

### Увеличение пропускной способности

Узким местом предприятий, не отличающихся высоким КМ, является, в частности, пропускная способность сети.

Как видно из предыдущих таблиц, обычная величина КМ АД близка к 0.6...0.7. Если на предприятии эксплуатируются АД без компенсаторов, то и общий КМ предприятия, как правило, близок к 0.7. Допустим, потребитель предприятия с КМ = 0.7 питается от трансформаторной подстанции (ТП), где полная номинальная мощность трансформатора равна 630 кВ·А. Тогда максимальная активная мощность, которую может получить потребитель при условии, что он один нагружает всю ТП, равна  $P = S \cdot \cos \varphi = (630 \cdot 0.7) \text{ кВт} = 440 \text{ кВт}$ . Для потребления бóльшей мощности уже требуется задействование второй ТП. В то же время, КРМ с увеличением КМ до 0.9 обеспечила бы использование дополнительных 130 кВт активной мощности при тех же параметрах распределительного трансформатора.

Следует отметить, что повышение напряжения распределительного трансформатора, производимое некоторыми электриками в нарушение допустимых норм, как правило, не приводит к существенному выигрышу в активной мощности, но может спровоцировать аварийную ситуацию в результате перегрева трансформатора (за счет превышения током допустимого предела) и выхода его из строя. Например, при мощности трансформатора  $S = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$  и напряжении 10 кВ (по высокой стороне сети) провода его первичной обмотки рассчитываются производителем на номинальный ток, равный 63 А. Значительное превышение данной величины недопустимо.

### Снижение активных потерь

Эксплуатация оборудования при низком КМ, помимо ограничения пропускной способности сети, приводит к повышенным потерям активной мощности  $\Delta P$  в проводах. Если  $r$  — сопротивление проводов, то  $\Delta P = rI^2$ , где  $I$  — полный ток. Так как  $I = S/U$ , то

$$\Delta P = rS^2/U^2 = r(P^2 + Q^2)/U^2 = rP^2/U^2 + rQ^2/U^2.$$

Таким образом, дополнительные активные потери, связанные с некомпенсированной РМ, пропорциональны ее квадрату:  $\Delta P_Q = rQ^2/U^2$ . Как известно, потери также пропорциональны сопротивлению проводов, а следовательно, длине провода  $l$ , и обратно пропорциональны его сечению  $S$ :  $r = r\lambda/S$ , где  $r$  — удельное

сопротивление провода. Поэтому КРМ особенно актуальна, когда нагрузка подключена тонким протяженным кабелем, выполненным из алюминия, так как проводимость меди ( $\gamma_{Cu} = 54 \text{ мм}^{-1} \cdot \text{мОм}^{-1}$ ) больше проводимости алюминия ( $\gamma_{Al} = 32 \text{ мм}^{-1} \cdot \text{мОм}^{-1}$ ,  $\gamma = 1/r$ ).

Следует также учесть, что реальное (эффективное) сопротивление соединительных проводов, подключающих нагрузку (нагрузка редко бывает подключена единым отрезком провода/кабеля), может значительно превосходить сопротивление отдельных отрезков провода (на порядок) за счет неизбежных на практике стыков, воздушных отрезков, наращений и т. п. Поэтому, эффективное сопротивление провода  $r_{\text{эфф}} = k_R \cdot r$ , где коэффициент  $k_R$  выбирают с учетом реальной характеристики соединительных проводов. Таким образом,  $\Delta P_Q = k_R \cdot rQ^2/U^2$ .

Нередко потребитель материально ответственен за потери в фидере, соединяющем его ТП (местную, напряжение трансформатора которой по высокой стороне равно, скажем, 6.3 кВ) с головной ТП (110 кВ). При этом величина экономического эффекта от КРМ для потребителя зависит также от параметров этого фидера.

Кроме того, большие активные потери в проводах могут приводить к перегреву и повреждению, в том числе, к нарушению (оплавлению) изоляции проводов и короткому замыканию проложенных совместно (например, в одном кабеле) проводов, а следовательно, к пожарам и другим чрезвычайным ситуациям.

### Снижение потерь (провала) напряжения

Потери (провал) напряжения в однофазной сети равны  $\Delta U = U_1 - U_2 = 2rl$ , где  $r$  — сопротивление подводящих проводов,  $U_1$  — напряжение на зажимах генератора,  $U_2$  — напряжение, подведенное к нагрузке (см. Рис. 1.2). Для нормального функционирования нагрузки необходимо, чтобы напряжение  $U_2$  не опускалось ниже определенной величины ( $U_{2\_доп}$ ), указанной в ПУЭ для соответствующей нагрузки. Это значит, что потери напряжения  $\Delta U$  должны быть строго ограничены (если номинальное напряжение нагрузки опустится ниже допустимой нормы, она может просто перестать функционировать). Соответственно, вводятся ограничения на полный ток  $I_{\text{доп}}$  и реактивную составляющую тока (пропорциональную РМ):

$$I_{\text{доп}} \leq (U_1 - U_{2\_доп})/2r.$$

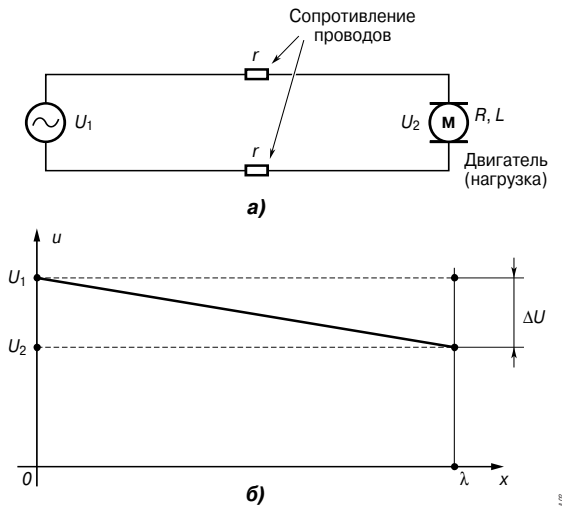


Рис. 1.2. Провал напряжения в сети: а) схема, б) график

Например, напряжение на зажимах двигателей не должно отличаться от своего номинального значения более чем на  $\pm 5\%$ . Таким образом,  $U_2 \geq 0.95U_1$ , т. е. для двигателя допустимая величина полного тока в подводящих проводах определяется выражением:

$$I_{\text{доп}} \leq 0.5U_1/2r = 0.025U_1/r.$$

Другой пример: ПУЭ предписывают выполнять проводку так, чтобы напряжение  $U_2$  внутреннего рабочего освещения промышленных предприятий и общественных зданий не опускалось ниже  $97.5\%U_1$ . Тогда

$$I_{\text{доп}} \leq 0.025U_1/2r = 0.0125U_1/r.$$

С другой стороны, повышение выходного напряжения генератора (распределительного трансформатора), например, с 380 до 440 В, может быть небезопасным по отношению к остальным нагрузкам (дополнительно к угрозе перегрева трансформатора), которые расположены ближе к генератору и не подвержены падениям напряжения в подводящих проводах. Такое повышение напряжения, с которым мы нередко сталкиваемся на практике, приводит не только непосредственно к выходу из строя электроприемников — перегоранию обмоток двигателей, завариванию контактов пускателей и контакторов и т. п., но вызывает и косвенный ущерб. В частности, превышение напряжения  $U_2$  на 10% сокращает срок службы ламп накаливания в три раза. Соответственно, лампа будет работать 300...350 ч вместо положенных 1000 ч и т. д.

Для трехфазной сети потери напряжения  $\Delta U$  определяются как разность линейных напряжений  $U_1$  и  $U_2$ . При этом разность фазных напряжений равна  $\Delta U_{\phi} = rl$ . Поэтому  $\Delta U = U_1 - U_2 = 1.73 \cdot \Delta U_{\phi} = 1.73rl$ .

# КОНДЕНСАТОРЫ КАК ОСНОВНОЕ СРЕДСТВО КРМ

## МЕСТНАЯ КРМ И КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

### Достоинства конденсаторов

Основным средством КРМ являются конденсаторы и выполненные на их основе *конденсаторные установки* (КУ). Конденсаторы, применяемые для КРМ, называются фазными (косинусными), так как они корректируют фазу угла  $\varphi$  между током и напряжением, косинус этого угла ( $\cos \varphi$ ) есть КМ.

КРМ индуктивной нагрузки (двигателей и др.) состоит в подборе такого же абсолютного значения РМ фазных конденсаторов, но противоположного по знаку. При равенстве абсолютных значений РМ конденсаторов и нагрузки суммарная РМ равна нулю.

По сравнению с синхронными электродвигателями, которые на современных предприятиях реже используются в качестве компенсаторов РМ, фазные конденсаторы обладают следующими очевидными преимуществами:

- простая конструкция, не требующая специального обслуживания;
- простой монтаж;
- высокая надежность;
- отсутствие вращающихся частей;
- низкая стоимость;
- возможность быстрого и точного подбора величины компенсируемой РМ;
- простое подключение в любой точке сети;
- малые удельные потери (высокий КПД);
- отсутствие шума при эксплуатации.

**Примечание.** Далее по тексту под конденсаторами везде подразумеваются именно фазные конденсаторы.

### Местная КРМ двигателей и трансформаторов

В простейшем случае КРМ параллельно нагрузке подключают один или несколько (батарею) фазных конденсаторов.

Если число конденсаторов (конденсаторных батарей) соответствует числу нагрузок и каждый конденсатор расположен непосредственно у соответствующей нагрузки (рядом с двигателем и т. п.), то такая система КРМ называется *местной*.

Чаще всего РМ каждой из нагрузок (во включенном состоянии нагрузки) с течением времени меняется незначительно и для ее компенсации не требуется изменения номиналов (РМ) подключенных конденсаторных батарей. Поэтому при местной КРМ коммутация (подключение к сети и отключение) батарей обычно необходима только при включении и отключении

нагрузки. Таким образом, местная\* КРМ чаще всего имеет фиксированный характер (*фиксированная, статическая или нерегулируемая* КРМ) ввиду неизменного уровня РМ нагрузки и соответствующей РМ компенсаторов (конденсаторных батарей).

### Коммутация фазных конденсаторов

Коммутация фазных конденсаторов обычно сопровождается значительными импульсными (пусковыми) токами, превышающими номинальный на два порядка (и более).

Значительный пусковой ток часто резко сокращает срок службы фазных конденсаторов и другого оборудования, в целом же — приводит к снижению качества электроэнергии (появление ВЧ-составляющих тока и т. п.). Поэтому каждая коммутация современных фазных конденсаторов должна производиться с помощью специальных конденсаторных контакторов, ограничивающих пусковой ток. Такой контактор, обладающий малым пусковым током, представляет собой электромагнитное реле специального типа или (реже) тиристор. При этом номинальная РМ фазного конденсатора не должна превышать номинальной РМ контактора.

### Неавтоматические конденсаторные установки (с ручным управлением РМ)

Местная КРМ хороша только для постоянных нагрузок (например, один АД с постоянной скоростью вращения вала). Для переменной нагрузки (например, несколько двигателей, размещенных на одном предприятии и подключаемых попеременно) следует применять систему КРМ с попеременным подключением фазных конденсаторов соответствующей (реактивной) мощности. Такая система, как правило, монтируется в отдельном металлическом шкафу — для обеспечения надежной защиты ее компонентов от внешних воздействий и защиты человека от поражения электрическим током, и носит название КУ (см. [2], раздел 7 *Конденсаторные установки*).

Поочередное подключение конденсаторов к сети обеспечивает ступенчатое изменение РМ КУ. Обычно каждая ступень — один конденсатор. Но в качестве ступени можно использовать и несколько конденсаторов (конденсаторную батарею), соединенных параллельно (для увеличения суммарной РМ ступени).

\* В англоязычной литературе — «Fixed PFC».

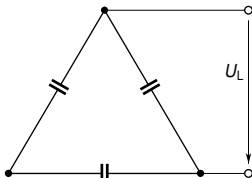
В последнем случае заданная РМ КУ обеспечивается меньшим числом подключенных (параллельно) ступеней (см., например, **Рис. 2.5** далее). Для каждой ступени применяют отдельный конденсаторный контактор.

На некоторых отечественных предприятиях до сих пор применяют ручную коммутацию контакторов — с помощью рубильников. В таких условиях эксплуатация КУ возможна, только если дежурный техник (электрик) следит за показаниями дополнительных приборов,

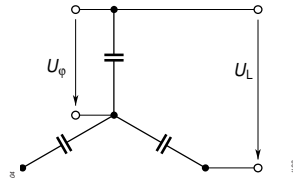
контролирующих параметры сети, и соответствующим образом переключает рубильники с конденсаторными батареями. Конечно, такой способ регулирования РМ весьма архаичен и не отвечает современным требованиям к условиям КРМ. При таком ручном (весьма хаотичном) управлении РМ обслуживающий персонал нередко игнорирует само существование КУ, местные начальники стараются отключить КУ от сети или перевести ее во внештатный режим работы (например, в режим перекомпенсации).

## РАСЧЕТ РМ ФАЗНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

В сетях низкого напряжения (0.4 кВ) промышленных предприятий наиболее часто для КРМ используют трехфазные конденсаторы, соединенные «треугольником» (так называемое  $\Delta$ -соединение). Такой трехфазный конденсатор (см. **Рис. 1.3**) состоит из трех однофазных, каждый из которых включен между двумя фазами (при соединении «звездой» однофазные конденсаторы включают между фазой и средней точкой).



**Рис. 1.3.** Соединение типа «треугольник»



**Рис. 1.4.** Соединение типа «звезда»

РМ трехфазного конденсатора при соединении «треугольником» определяется выражением:

$$Q = 3\omega CU^2 = 6\pi fCU^2,$$

где  $f$  — частота сети,  $C$  — емкость однофазного конденсатора,  $U$  — напряжение сети. При  $f = 50$  Гц и  $U = 400$  В РМ определяется следующим выражением:

$$Q = 6\pi \cdot 50 \text{ Гц} \cdot 400^2 \text{ В}^2 \cdot C = 0.15C \text{ [квар]},$$

где емкость конденсатора  $C$  выражена в мкФ.

На практике в качестве номинала фазных конденсаторов производители сразу указывают их РМ. Обычная единица измерения этой РМ — 1 квар (1 kVAr). Значение РМ современных фазных конденсаторов лежит в пределах от единиц до нескольких десятков квар.

### Пример расчета РМ фазного конденсатора

Рассчитаем номинал фазного конденсатора, необходимого для КРМ двигателя мощностью 20 кВт. Пусть известно, что КМ двигателя составляет  $\cos \varphi_1 = 0.71$ . Следует отметить, что обычно не рекомендуется компенсировать РМ полностью (до  $\cos \varphi = 1$ ), так как при этом возможна перекомпенсация (за счет переменной величины активной мощности нагрузки и других случайных факторов). Обычно стараются достигнуть значения  $\cos \varphi = 0.90 \dots 0.95$ .

Будем считать, что в результате КРМ требуется достигнуть  $\cos \varphi_2 = 0.9$  (при этом остаточный уровень реактивной мощности  $Q_2$  в нашем случае равен 0.17 квар). Определим РМ, соответствующую  $\cos \varphi_1$ :

$$\cos \varphi_1 = 0.71, \varphi_1 = 45^\circ \Rightarrow Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi, \operatorname{tg} \varphi_1 = 1 \Rightarrow Q_1 = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 20 \text{ квар}.$$

Следовательно, РМ, которую необходимо компенсировать, составляет:

$$\Delta Q = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = 20 \cdot (1 - \operatorname{tg} (\arccos 0.9)) \text{ квар} = 20 \cdot (1 - 0.48) \text{ квар} = 10.4 \text{ квар}.$$

Таким образом, достаточно использовать один конденсатор, рассчитанный на 10 квар. Его следует подключать с помощью конденсаторного контактора, рассчитанного на величину РМ  $\geq 10$  квар (например, на 12.5 квар). Заметим, что иногда фазные конденсаторы подключают непосредственно параллельно двигателю, а двигатель и конденсатор подключают к сети вместе с помощью одного общего пускателя. Хотя такая схема обходится дешевле (за счет экономии на контакторе), однако в каждом конкретном случае ее следует применять с осторожностью, так как пусковой ток может вывести из строя конденсатор.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Глава 1. РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ И ЕЕ КОМПЕНСАЦИЯ КОНДЕНСАТОРАМИ</b> .....	3
ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ПРЕДПОСЫЛКИ КРМ .....	4
Реактивная мощность .....	4
Коэффициент мощности как характеристика нагрузки .....	5
Достоинства КРМ .....	7
КОНДЕНСАТОРЫ КАК ОСНОВНОЕ СРЕДСТВО КРМ ..	9
Местная КРМ и конденсаторные установки ..	9
Расчет РМ фазных конденсаторов .....	10
<b>Глава 2. КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМ КРМ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ</b> .....	11
КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМ КРМ .....	12
Замена комплектующих в старых конденсаторных установках .....	12
Автоматические конденсаторные установки. Назначение регулятора РМ .....	13
ПРИМЕР ВЫБОРА КОМПОНЕНТОВ И ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КРМ ДЛЯ КРАНОВОГО ХОЗЯЙСТВА .....	17
Характеристика предприятия и тариф на РМ .....	17
Основной расчет .....	18
<b>Глава 3. ФАЗНЫЕ (КОСИНУСНЫЕ) КОНДЕНСАТОРЫ</b> .....	21
ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ .....	22
Пленочная МКК-технология диэлектрика ..	22
Унифицированный разъем (клеммная колодка) марки Sigut .....	26
КОНДЕНСАТОРЫ МАРКИ PhaseCap .....	27
Защитная крышка для конденсаторов PhaseCap .....	31
Герметичный футляр для конденсаторов PhaseCap .....	32
КОНДЕНСАТОРЫ МАРКИ PhaseCap HD (ПОВЫШЕННАЯ МОЩНОСТЬ) .....	33
Защитная крышка для конденсаторов PhaseCap HD .....	34
РАЗРЯДНЫЕ РЕЗИСТОРЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО МОНТАЖУ .....	35
Замечания по монтажу фазных конденсаторов .....	35
Разрядные резисторы фазных конденсаторов .....	35
<b>Глава 4. КОНДЕНСАТОРНЫЕ КОНТАКТОРЫ</b> .....	37
РЕЛЕЙНЫЕ КОНТАКТОРЫ С ДУГОГАСЯЩИМИ КОНТАКТАМИ .....	38
Внешний вид и пусковой ток .....	38
Структура релейных контакторов и их особенности .....	39
ТИРИСТОРНЫЕ КОНТАКТОРЫ МАРКИ TSM-C ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ КРМ .....	41
<b>Глава 5. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ</b> .....	43
ОБЩИЕ СВОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ РМ .....	44
Версии регуляторов и РМ автоматических конденсаторных установок .....	44
РЕГУЛЯТОРЫ PRORNI-6R/T И PRORNI-12R/RS-485 .....	45
РЕГУЛЯТОРЫ BR6000-6R/T И BR6000-12R/RS-232 .....	47
<b>Глава 6. ДРОССЕЛИ</b> .....	49
АНТИРЕЗОНАНСНЫЕ (ФИЛЬТРУЮЩИЕ) ДРОССЕЛИ .....	50
Конструкции, исполнения и соответствующие им габаритные размеры антирезонансных дросселей .....	53
РАЗРЯДНЫЕ ДРОССЕЛИ .....	54
«ВОЗДУШНЫЕ» ДРОССЕЛИ .....	55
СПИСОК АББРЕВИАТУР .....	56
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ. РАСЧЕТНЫЕ ТАБЛИЦЫ И ГРАФИКИ ..	57