

# КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

**Реактивная мощность** – это технические потери электроэнергии, вызванные электромагнитными процессами в сетях. Недостаток её вызывает повышенный нагрев проводников и создает избыточную нагрузку на сеть, в результате чего источник электроэнергии работает в усиленном режиме.

# КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

- Если средства компенсации мощности не предусмотрены, то за потребление реактивной энергии из сети придется переплачивать значительные суммы.
- Существенные реактивные нагрузки становятся причиной понижения напряжения в электросети и ухудшения качества электропитания. Помимо того, чрезмерно нагружаются линии электропередач и трансформаторное оборудование, в результате чего увеличиваются капитальные затраты на обустройство и эксплуатацию электрораспределительных станций.
- Генерация электрической энергии и её потребители обычно не находятся близко друг от друга. Большие города и большие промышленные регионы часто получают электроэнергию от источников, находящихся на большом расстоянии. Составляющие системы и нагрузка включают в себя источники реактивной мощности

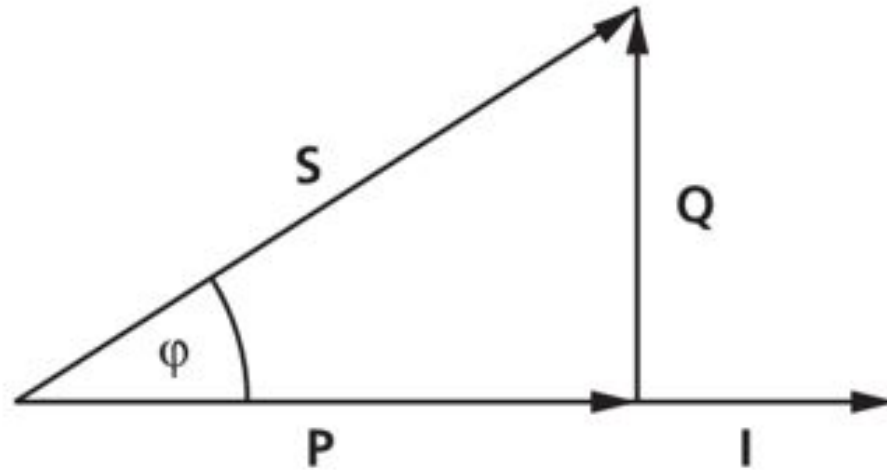
# КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

- (кабели и катушки индуктивности трансформаторов, ЭД), которые оказывают влияние на профиль напряжения сети и стабильность системы. Линии передачи высоковольтных систем (500 кВ) могут иметь до 200 МВАр емкостной мощности на длину 100 км. Кабельные соединения могут давать даже большую реактивную мощность. Большие нагрузки, содержащие электрические дуговые печи или мощные приводы, могут иметь до 100 МВАр индуктивной реактивной мощности. Без соответствующей компенсации реактивной мощности в длинных линиях передачи могут наступить критические условия работы системы из-за сильных колебаний напряжения и проблем со стабильностью.

# КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

$$S \text{ (ВА)} = \sqrt{P^2 \text{ (Вт)} + Q^2 \text{ (вар)}}$$

Треугольник мощностей



# Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$ )

- Удобным параметром для определения активного и реактивного компонентов мощности, напряжения и тока является косинус угла сдвига фаз (фазовый угол) между током и напряжением. В электротехнической практике этот параметр получил название «коэффициент мощности».
- **Коэффициент мощности ( $\cos$ ) фазового угла  $\varphi$**  при полной нагрузке маркируется на электрических машинах.

$$\cos\varphi = P/S$$

- **Тангенс ( $\operatorname{tg}$ ) фазового угла  $\varphi$**  удобен для выражения отношения реактивной мощности к активной.

$$\operatorname{tg}\varphi = Q/P$$

# Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$ )

- Два следующих выражения показывают соотношение между косинусом и тангенсом фазового угла  $\varphi$ .

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}\varphi^2}}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1}$$

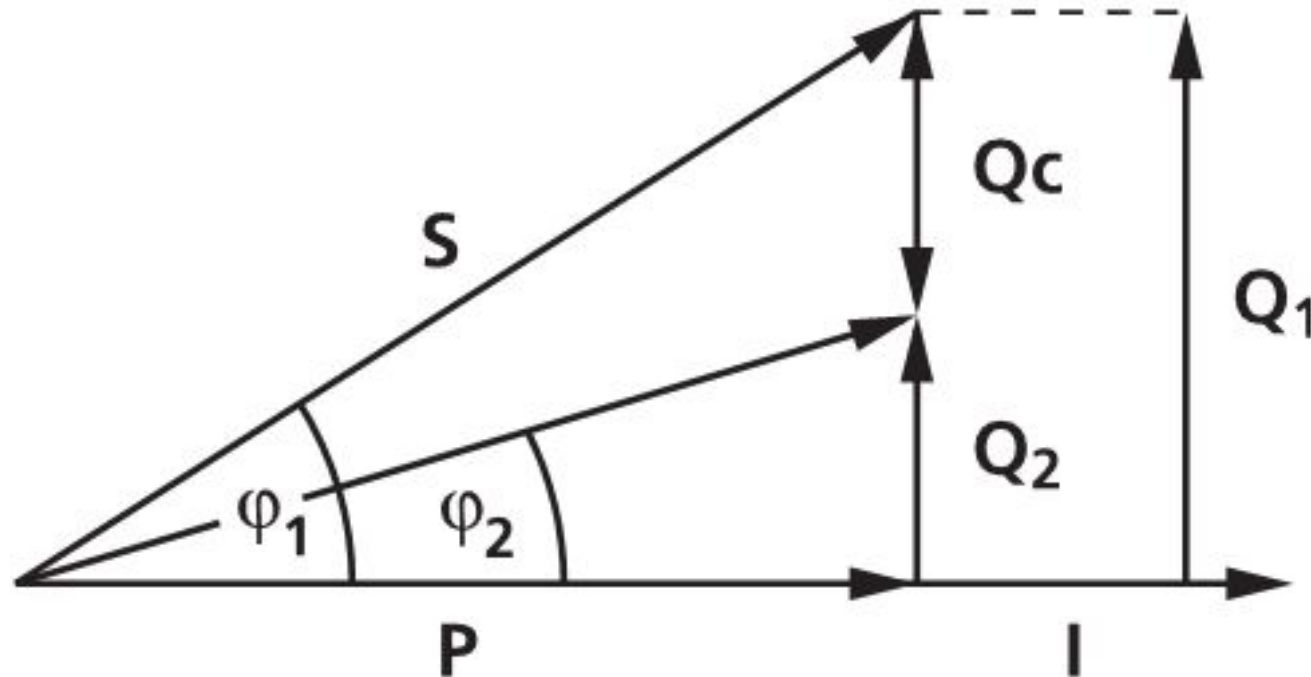
# Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$ )

- Так как система распределения электроэнергии должна быть рассчитана на полную мощность, предпринимаются усилия для снижения её значения. Если параллельно потребителю электроэнергии установлены конденсаторы соответствующей величины, реактивный ток циркулирует между конденсатором и потребителями. Это значит, что этот дополнительный ток не протекает по остальной части распределительной сети. Если, таким способом, достигнут коэффициент мощности, равный единице, через систему распределения протекает только активный ток.
- Реактивная мощность  $Q_C$ , скомпенсированная конденсатором, - это разность между индуктивной реактивной мощностью до компенсации  $Q_1$  и реактивной мощностью после компенсации  $Q_2$ , то есть

$$Q_C = Q_1 - Q_2$$

$$Q_C (\text{вар}) = P (\text{Вт}) \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$$

# Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$ )



Треугольник мощностей, иллюстрирующий действие компенсации реактивной мощности

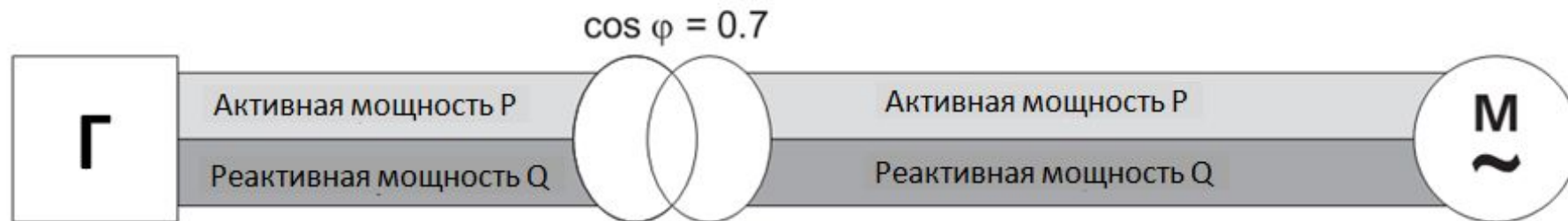


# Необходимость компенсации реактивной мощности

- Реактивный ток, циркулирующий между генератором энергоснабжающей компании и потребителем, преобразуется в тепловую энергию в системе распределения электроэнергии, то есть создаётся дополнительная нагрузка на генераторы, трансформаторы, кабели и распределительное устройство.
- Это приводит к потерям электроэнергии и падению напряжения. Если доля реактивного тока высока, имеющиеся сечения проводников не могут полностью использоваться для передачи полезной энергии, возможно, их нужно соответственно увеличить.
- С точки зрения энергоснабжающей компании низкий коэффициент мощности приводит к увеличению затрат на инвестиции и обслуживание, и эти дополнительные затраты перекладываются на тех, кто за них ответственен, то есть на потребителей с низким коэффициентом мощности. Поэтому в дополнение к электрическому

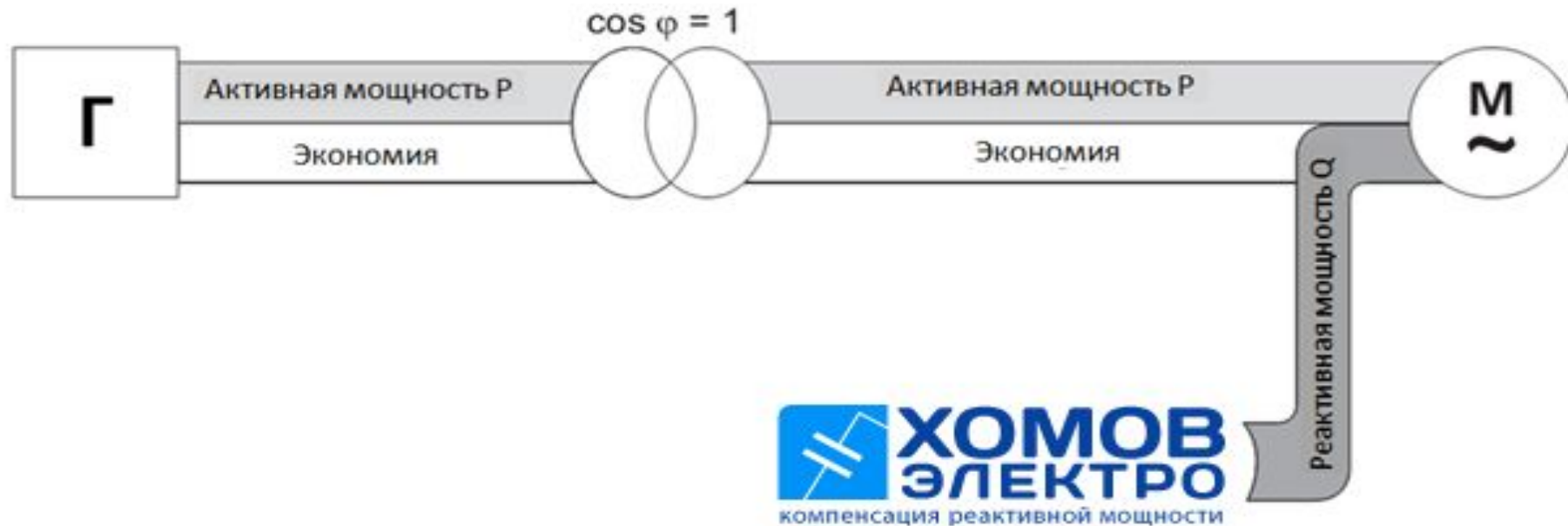
# Необходимость компенсации реактивной мощности

- счётчику активной энергии устанавливается счётчик реактивной энергии.



**Активная и реактивная мощность в системе распределения электроэнергии без компенсации реактивной мощности**

# Необходимость компенсации реактивной мощности



Активная и реактивная мощности в системе распределения электроэнергии с компенсацией реактивной мощности

# Преимущества компенсации реактивной мощности

- Эффективное использование генераторов, трансформаторов, ЛЭП.
- Пониженные потери электроэнергии в сетях.
- Уменьшение падения напряжения в сетях.
- Увеличение срока службы оборудования.
- Отсутствие штрафов.
- Различают два основных вида компенсации реактивной мощности – продольную и поперечную компенсации.

# Поперечная компенсация реактивной мощности

- Поперечная компенсация реактивной мощности осуществляется несколькими способами:
- 1. Применение синхронных ЭД которые потребляют как активную так и реактивную мощность.
- 2. Установка статических конденсаторов в сеть параллельно линии. Они принимают на себя часть реактивной мощности (заряжаются) и отдают в сеть эл. энергию, когда появляется недостаток активной мощности.
- 3. Применение реакторов (катушек индуктивности) с управлением насыщения самих обмоток. Аналог конденсаторным установкам.
- Применение установок смешенного типа (конденсаторы и реакторы).

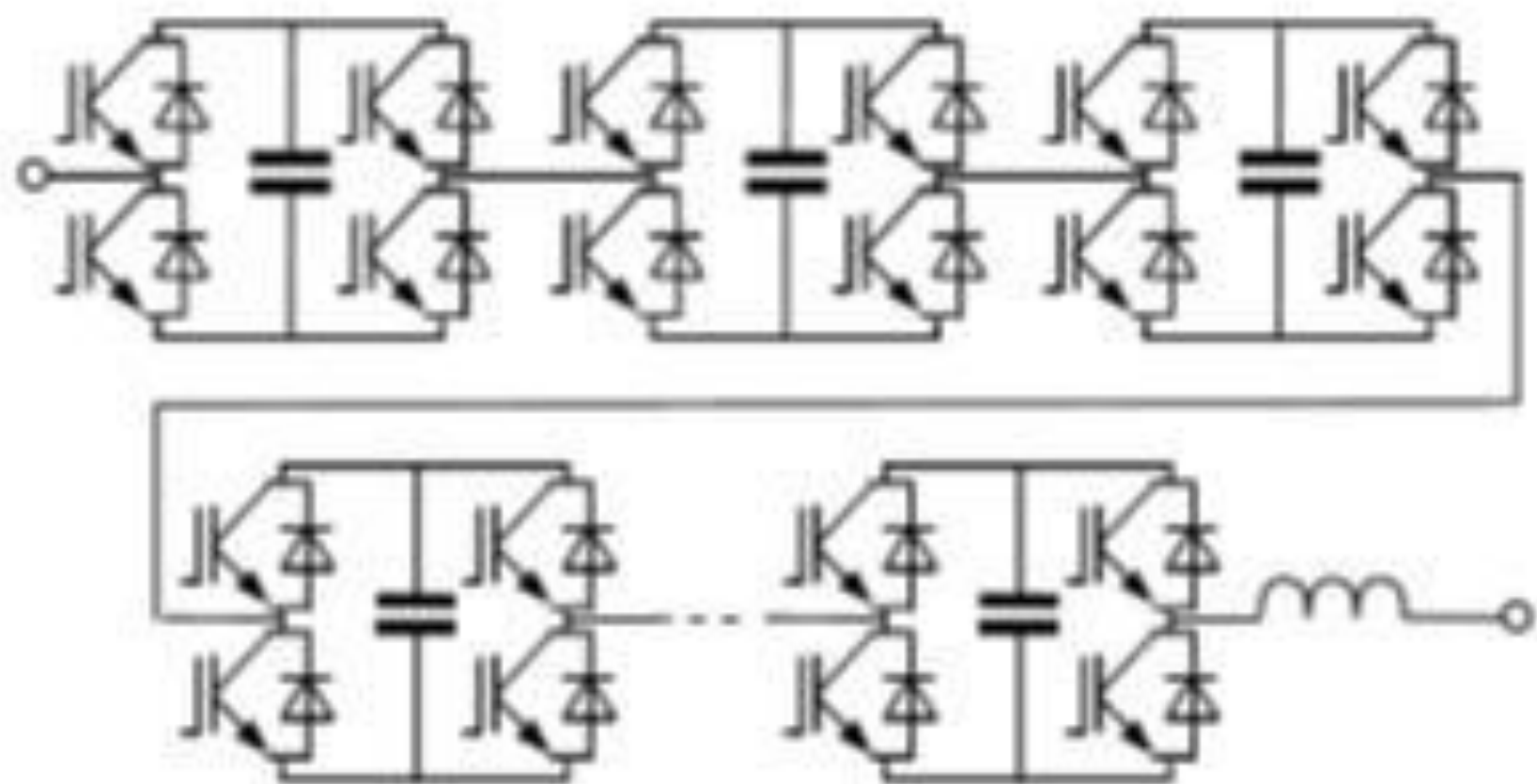


Рис. 13. Однофазная установка многоуровневого преобразователя для компенсации реактивной мощности

# Продольная компенсация реактивной мощности

- Продольная компенсация реактивной мощности осуществляется следующим образом.
- 1. Установкой статических конденсаторов последовательно в сеть.
- 2. Установкой преобразователей напряжения (индукторов – аналогов реакторов) последовательно в сеть.



- A – преобразователь напряжения
- B – последовательно подключенный трансформатор
- C1 - обходной выключатель
- C2 - шунтирование быстродейств. тиристором и выключателем
- D – цепь постоянного тока
- E – вспомогательное питание
- F – охлаждение вентиля

Рис. 16. Одиночный преобразователь напряжения в последовательном включении в линию



# Понятие гармоник

- **Гармоники** – это синусоидальные волны в фазах электрической сети суммирующиеся с фундаментальной (первой) синусойдой. **Гармоники** – есть продолжительные возмущения или искажения **в электрической сети**, имеющие различные источники и проявления такие как импульсы, перекосы фаз, броски и провалы, которые могут быть категоризованы как переходные возмущения.
- Если напряжение и ток, вырабатываемые источником, максимально приближается к форме идеальной синусоиды, то из-за нелинейных нагрузок, подключенных к электрической цепи, форма начального сигнала получает искажение. Гармоники представляют собой производные по частоте от основной синусоиды в 50 Гц и являются кратными ее величине



# Понятие гармоник

- По кратности гармоники подразделяются на четные и нечетные. То есть гармоника №1 – это 50 Гц, 2 – 100 Гц, 3 -150 Гц и т.д. Каждая из них является одной из составляющих результирующей формы напряжения и тока. А значит, что напряжение и ток в сети можно свободно разложить на гармонические составляющие.
- По сути, гармоника представляет собой паразитную ЭДС, которая никак не поглощается существующими потребителями или поглощается только частично. Из-за чего возникает негативное влияние на все силовые сети. Естественное поглощение осуществляют лишь активные сопротивления, но в размере пропорциональном потребляемой ими мощности. В то же время, сами потребители можно рассматривать как источники, активно генерирующие искаженный сигнал.

# Причины и источники гармоник в электрических сетях

- Главной причиной гармонического искажения является протекание каких-либо переходных процессов в электрических сетях. Независимо от характера созданной нагрузки, переходной процесс можно наблюдать в работе той же лампы накаливания, которая, казалось бы, характеризуется исключительно активными потерями. Так, разница между сопротивлением нити лампы в холодном и нагретом состоянии создает переходной процесс, который приводит к скачку. Но из-за низкого уровня искажения и относительно кратковременного протекания, влияние на всю систему получается ничтожным.
- Поэтому можно смело сказать, что и активные, и реактивные сопротивления в сетях электропитания могут способствовать генерации гармоник. Тем не менее, существует ряд устройств, обуславливающих весомую величину искажения, которая способна нанести существенный ущерб приборам.

# Причины и источники гармоник в электрических сетях

- На практике к источникам искажения относят такие виды оборудования:
- Силовое электрооборудование – приводы постоянного и переменного тока, высокочастотные плавильные печи, полупроводниковые преобразователи, источники бесперебойного питания (ИБП), преобразователи частоты.
- Устройства, работающие по принципу формирования электрической дуги – электросварочные установки, дуговые печи, лампы освещения (ДРЛ, люминесцентные и другие).
- Насыщаемые приборы – двигатели, трансформаторы, обладающие магнитопроводом, который может достигнуть насыщения петли гистерезиса. Без такового насыщения их вклад в формирование гармонической составляющей будет незначительным.

# Причины и источники гармоник в электрических сетях

- Среди бытовых приборов значительный вклад в генерацию несинусоидальных составляющих вносят те же микроволновые печи. Обратите внимание, что из-за особенностей режима работы одна такая печь способна кратковременно снижать уровень напряжения в сети на 2 – 4%, и, что куда более существенно, повышать коэффициент искажения его кривой на 6 – 18%.

# Возможные последствия от воздействия гармоник

- В случае постоянно присутствующего фактора, генерирующего гармоники, их воздействие может обуславливать различные негативные последствия в электрической сети. Из которых особо следует выделить:
- **Сопутствующий нагрев**, выводящий из строя изоляцию двигателей, обмоток трансформаторов, снижающий сопротивление конденсаторов и.т. При нагревании фазного провода или других токопроводящих элементов в диэлектриках возникают необратимые процессы, снижающие их изоляционные свойства.
- **Ложное срабатывание в распределительных сетях** – приводит к отключению автоматов, высоковольтных выключателей и прочих устройств, реагирующих на изменение режима, обусловленное гармониками.

# Возможные последствия от воздействия гармоник

- **Вызывает асимметрию** в промышленных сетях с трехфазными источниками при возникновении гармоник на одной фазе. От чего может нарушаться нормальная работа трехфазных выпрямителей, силовых трансформаторов, трехфазных ИБП и прочего оборудования.
- **Возникновение шума в сетях связи**, влияние на смежные слаботочные и силовые кабели за счет наведенной ЭДС. На величину гармоник ЭДС влияет как расстояние между проводниками, так и продолжительность их приближения.
- Приводит к преждевременному **электрическому старению** оборудования. За счет разрушения чувствительных элементов, высокоточные приборы утрачивают класс точности и подвергаются преждевременному изнашиванию.
- Обуславливает дополнительные **финансовые расходы**, обуславливаемые потерями от индуктивных нагрузок, остановкой производства, внеочередными ремонтами и преждевременной поломкой.



# **Возможные последствия от воздействия гармоник**

- **Потребность увеличения сечения нулевых проводов в связи с суммированием гармоник кратных 3-ей в трехфазных сетях.**

# Защита от гармоник

- Стараются компенсировать только наиболее паразитные (опасные) гармоники 3, 5, 11.
- Для защиты от гармоник в устройстве используются различные схемы. Основные:
  - — использование резистора, способного поглотить данный ток и перевести его в тепловую энергию;
  - — применение конденсаторов (выполняют роль компенсатора реактивной мощности)
- применение фильтров гармоник.