

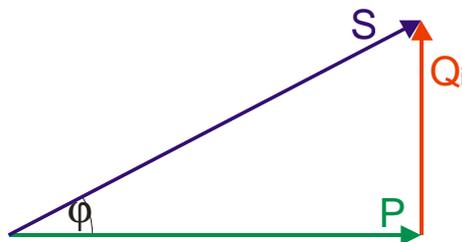
КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Каждый промышленный индукционный приёмник (двигатель, трансформатор) использует мощность электросети:

- активную P [кВт], которая трансформируется приёмниками приобретая другие формы (механическую, тепловую),
- реактивную Q [кВар], которая служит для создания электромагнитного поля, необходимого для работы индукционных двигателей и трансформаторов. Ее нельзя трансформировать в другой вид энергии и, вследствие чего она бесполезно течет между источниками и приёмниками переменного тока.

Равнодействующая мощность, получаемая приёмником, определяется как полная мощность S (кВА). Взаимозависимость данных значений выглядит следующим образом:



$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} \times U \times I$$

Полная мощность определяет ток, получаемый из электросети и, следовательно, пропускную способность трансформаторов и линий электроснабжения. Как видно, ее уровень зависит от потребления реактивной мощности.

Угол ϕ , на выше представленной схеме, принято называть фазовым углом перемещения. Коэффициент мощности определяется как косинус, или тангенс угла.

В таблице приводятся примерные значения коэффициента мощности:

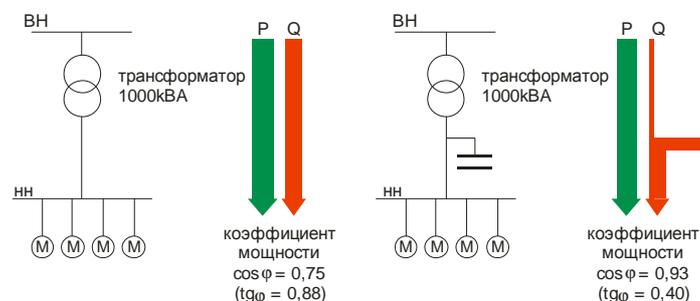
Перечень		косφ
освещение	традиционная лампа накаливания	1,00
	флуоресцентная лампа	0,50-0,60
	содовая лампа	0,50-0,60
привод	асинхронный двигатель	0,60-0,90
	тиристорный привод	0,70
Сварка	дуговая сварка	0,50
	сварка электродная	0,60
Электропечь	индукционная печь	0,60-0,80
	дуговая печь	0,60-0,80
	печь сопротивления	1,00

Вместо передачи пассивной мощности с помощью электросети ее можно создать на месте, на предприятии или в точке подачи электроэнергии. Такое действие называется компенсацией реактивной мощности и производится путем установки конденсаторов и батареи конденсаторов.

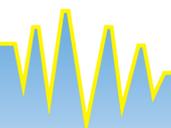
2. ПРЕИМУЩЕСТВА, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ПАССИВНОЙ МОЩНОСТИ

2.1. Улучшение коэффициента мощности

На ниже представленной схеме предприятия, оснащенного приемниками мощностью 750кВт при реальном коэффициенте мощности $\cos\varphi=0,75$ ($\text{tg}\varphi=0,88$), равнодействующая мощности электросети ВН составляет 1000кВА, а эклектический ток – 1444А. Установка конденсаторов мощностью 360кВар, и улучшение коэффициента мощности к значению $\cos\varphi=0,93$ ($\text{tg}\varphi=0,40$) приведет к снижению потребления равнодействующей мощности к уровню 808кВА, а эклектического тока – к значению 1166А, т.е. о 19%.



Для предприятия это обозначает:



- отсутствие оплаты за потребление реактивной энергии (в большинстве европейских стран поставщики энергии начисляют оплату, чтобы компенсировать затраты вытекающие из передачи реактивной мощности, в случае когда коэффициент мощности $\text{tg}\varphi$ предприятия выше, чем 0,4 или $\text{cos}\varphi$ меньше 0,93;
- возможность установки дополнительных приемников, при этом нет необходимости замены трансформатора питания.

Для поставщика электроэнергии это обозначает снижение мощности об 19%.

Применение конденсаторов позволяет минимизировать многие отрицательные аспекты, возникающие в процессе передачи излишней мощности:

- снижение нагрузки системы, связанное с передачей излишней мощности, благодаря чему увеличиваются ее пропускные способности;
- снижение затрат активной мощности в трансформаторах и кабелях электропитания, вытекающие из передачи пассивной мощности:

$$\Delta P = 3I^2R,$$

где: I – напряжение тока передаваемого по проводе,
 R – активное сопротивление провода.

Для вышеприведенного примера, ограничение потребления тока об 19% обозначает ограничение затрат передачи активной мощности почти об 35%.

- ограничение напряжения в точках отдаленных от источника подачи; напряжение на клеммах приемников зависит от снижения напряжения во время передачи электроэнергии, а это, в свою очередь от действительного значения передаваемого тока, и что с этим связано – коэффициента мощности. Это обозначает, что значение электропитания у потребителей отдаленных от источника подачи электроэнергии может оказаться слишком низкой для правильной работы устройств.

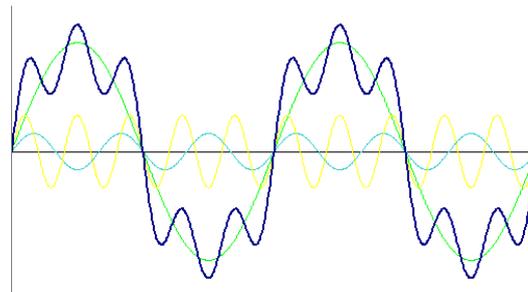
Следует иметь в виду, что последний пункт касается также предприятий с расширенной распределительной сетью.

2.2. Улучшение качественных параметров электроэнергии

Другим важным моментом, связанным с применением систем компенсации пассивной мощности является улучшение качества электроэнергии. Правильно подобранные устройства могут помочь в решении таких проблем, как напр.:

- высшие гармонические токов и напряжения

Широкое применение в промышленности энергоэлектронических устройств, прежде всего нелинейных преобразователей (станции выпрямителей электротяги, регулируемые электропривода, нагревательная техника) а также таких приёмников как сварочные машины, сварочные аппараты и дуговые печи, связано с генерированием высших гармонических, то есть синусоидальных ходов о частотах высших, чем основная частота (гармоническая 3 - я: 150 Гц, гармоническая 5 - ая: 250 Гц, гармоническая 7 - ая: 350 Гц и тд.).



— 50Hz — 150Hz — 250Hz — Prąd wypadkowy
Синусоидальный ход тока искаженный высшими гармониками

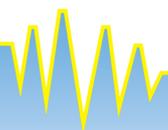
К отрицательным следствиям появления высших гармонических относятся:

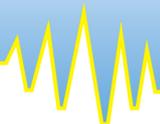
- деформация синусоиды питающего напряжения,
- чрезмерное потребление пассивной мощности,
- увеличение потерь активной мощности,
- дополнительное бремя на нулевой провод,
- нарушение системы безопасности электроэнергии и системы управления,
- ошибочные указания счетчиков электроэнергии,
- сложность в тушении электрической дуги в случае замыкания на землю.
- перегрузка приемников,
- возникновение резонансных явлений.

В целях снижения высших гармоник, используются фильтры высших гармоник (батареи конденсаторов с резонансными дросселями).

- Колебания напряжения и фликер

Работа таких устройств, как термосварщики, дуговые печи, вытягивающие машины, характеризуется резкими изменениями потребления активной и пассивной мощности, что вызывает резкие колебания напряжения, опасные для



A yellow waveform graphic consisting of several sharp peaks and troughs, resembling an electrical signal, located at the top left of the page.

электрических приемников, а также явления мерцания света, т. е. фликер - труднопереносимые человеком.

В целях устранения этих явлений, применяются системы автоматического управления, чаще всего - динамические.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСАЦИИ ПАССИВНОЙ МОЩНОСТИ У ОТДЕЛЬНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Технические и экономические эффекты полученные в результате использования компенсирующих устройств зависят от специфики предприятия, топографии его системы питания и распределения электроэнергии, а также питания приемников. Примеры использования в различных точках энергетической системы следующие:

3.1. Электростанции, тепловые электростанции

Помимо того, что электростанции являются крупнейшими производителями пассивной мощности и, бессмысленным, казалось бы, использование компенсационного оборудования, после тщательного изучения своих потребностей (вентиляторы, конвейеры и т.д.), оказывается, что их мощность и используемая ими ёмкостная пассивная мощность достигают уровня значительного промышленного предприятия. Компенсация пассивной мощности, потребляемой устройствами электростанции позволяет увеличить поставку активной энергии или снизить затраты на производство энергии.

Для этого, чаще всего используются батареи конденсаторов с автоматическим управлением (центральная компенсация) или, в случае приемников большой мощности, батареи для индивидуальной компенсации.

3.2. Ветроэлектрическая станция (ВЭС)

ВЭС, особенно сосредоточены в так называемых ветровых фермах это особенные приемники. При работе с номинальным режиме, требуют применения устройств емкостного характера. Тем не менее, при работе на холостом ходу, из-за большого количества кабелей, соединяющих различные элементы фермы, обязательной является индуктивная пассивная мощность.

Для компенсации пассивной мощности ВЭС используются системы следящей (TCR/FC, STATCOM) или более экономические системы автоматической компенсации, состоящие из батареи конденсаторов, конденсаторов и дросселей компенсации, или батареи компенсирующих дросселей.

3.3. Дистрибьюторы электроэнергии

Распределение электроэнергии осуществляется через распределительные станции, преобразовывающие напряжение от высокого к среднему уровню. Эти станции являются основной точкой системы распределения питания, значение которой является результатом потребления как активной, так и пассивной мощности, всеми питаемыми приемниками. В связи с этим, даже в случае



применения у отдельных потребителей систем компенсации, пассивная мощность на станции может достигать высоких значений, при одновременной высокой переменности (низкое потребление в часы внепика, высокое в час пик). Дополнительным аспектом является растущее потребление пассивной мощности у потребителей, которые за это не вносят плату (например, в домашних хозяйствах, в результате применения энергосберегающих лампочек – в отличие от ламп накаливания, которые характеризуются низким коэффициентом мощности порядка $\cos\varphi = 0,5$).

Для компенсации пассивной мощности в станциях, обычно для каждого раздела станции распределения, устанавливаются неуправляемые батареи конденсаторов средних напряжений, включены постоянно или выключаемые и выключаемые вручную с помощью выключателя в поле питания.

Это решение, однако, не обеспечивает эффективную компенсацию по нескольким причинам:

- отсутствие возможности приспособления пассивной мощности компенсирующего устройства к потребностям сети,
- в случае отсутствия мануального (вручную) управления, могут появляться периоды перекомпенсации (отдача до сети емкостной пассивной мощности),
- в случае отсутствия мануального отключения батареи, в период низкого спроса - сокращение жизнеспособности выключателя,
- в случае появления в сети высших гармонических токов и напряжений (особенно в промышленных и городских регионах) – возможность резонансных явлений или выше, чем номинальные значения результирующего тока.

Во избежание вышеприведённых проблем, применяются более эффективные способы компенсации пассивной мощности (например, автоматически управляемые трансформаторные фильтры пассивного типа).

3.4. Металлургические заводы

В металлургических заводах самыми проблемными являются дуговые печи, особенно переменного тока. Они характеризуются быстроизменяющимся потреблением мощности, как активной так и пассивной, генерированием высших гармонических и колебаниями напряжения. Применение систем компенсации пассивной мощности дает возможность улучшить качество электроэнергии, а также увеличить активную мощность печи и пропускные способности системы питания и распределения.

Другими потребителями компенсации являются предприятия переработки стали (например, металлопрокат, для которого свойственный достаточно низкий натуральный коэффициент мощности, характеризующийся генерированием высших гармонических). В таком случае чаще всего применяются автоматические батареи с резонансными дросселями.

3.5. Шахты

В горно-шахтерских электросетях компенсирующие установки находят широкое применение:

- большая распределительная сеть и понижение напряжения связаны с передачей энергии на расстоянии, приводят к тому, что в большинстве случаев напряжение на дальнем конце линии имеет слишком низкое значение для обеспечения правильной работоспособности устройств (как индивидуальных приемников, так и автоматически управляемых в узлах сети) применяется с целью повышения напряжения на терминалах приемников,
- Вытягивающие машины являются очень проблематичными приемниками из-за сравнительно короткого времени работы, высокой переменности напряжения и генерирования широкого спектра высших гармонических; для редукации негативных эффектов применяется динамическая компенсация или автоматически управляемые фильтры высших гармонических.

3.6. Заводы оснащенные аппаратурой для термосварки

Термосварка как аппаратура характеризуется высоким потреблением пассивной мощности и коротким временем работы. В случае таких заводов, применение компенсации следящей (для завода или индивидуальной для каждого термосварочного аппарата), дает возможность улучшить качество термошвов и стабилизировать напряжение заводской сети.