

Группа компаний «Кемь» предлагает комплексное решение по энергосбережению (энергоэффективности) Вашего предприятия. Внедрение адаптивного комплекса энергосбережения (АКЭС), позволит существенно сократить расход электроэнергии и улучшить технико-экономические показатели Вашего предприятия. АКЭС разработан российскими учеными, компанией, оборудование сертифицировано (Патенты на изобретения № 2713213 действителен до 26.12.2038 г., № 195195 действителен до 26.12.2028 г.). Деятельность осуществляется в рамках Федерального закона № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Установка комплекса АКЭС позволит:

- Экономить на оплате электроэнергии от 10% до 20% (показатели экономии зависят от качества энергии предприятия)
- Разгрузить сеть до 30%, что позволяет подключить дополнительное оборудование на действующих мощностях
- Улучшить качество электроэнергии, сгладить скачки и кратковременные провалы в сети, что положительно влияет на работу всего предприятия и срок службы оборудования
- Дополнительно обеспечить удаленный доступ к состоянию параметров сети предприятия

АКЭС осуществляет несколько функций:

- Снижение токов в сети за счет компенсации реактивной мощности
- Улучшение коэффициента мощности
- Выравнивание перекоса фаз в питающей сети
- Фильтрация гармонических искажений
- Защита потребителей электроэнергии от скачков и провалов напряжения в сети
- Снижение пусковых токов

АКЭС является комплексной системой построения и состоит из блока управления и дополнительных модулей, с помощью подключения которых возможно наращивать мощность АКЭС. Установка АКЭС производится параллельно сети предприятия, что не нарушает ее конфигурацию. Также модульная система позволит рационально использовать пространство в трансформаторных подстанциях предприятия.

Экономия электрической энергии является на сегодняшний день одним из самых ключевых факторов экономики. Этому, в частности, посвящен Федеральный закон 261-ФЗ

«Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Добиться сбережения электроэнергии возможно лишь за счет повышения качества электроэнергии, основными из которых являются компенсация реактивной мощности, снижение не симметрии питающих токов и напряжений, фильтрация высших гармоник, ограничение пусковых токов, компенсация кратковременных выбросов и падений напряжений, сглаживание переходных процессов.

Компенсация реактивной мощности

Все потребители электроэнергии на предприятии, а также средства преобразования электроэнергии (асинхронные двигатели, трансформаторы, различные типы преобразователей), чей режим сопровождается постоянным

возникновением электромагнитных полей, нагружают сеть как активной, так и реактивной составляющими полной потребляемой энергии. Реактивная составляющая энергии (мощности) (далее реактивная мощность) необходима для работы оборудования, содержащего значительные индуктивности, и в то же время является дополнительной нагрузкой на сеть.

Каждый генератор или трансформатор может длительно отдавать без опасности аварии только вполне определенную мощность S , равную произведению его номинального тока I на номинальное напряжение U . Произведение действующих значений тока и напряжения называется полной мощностью.

$$S = UI$$

Полная мощность представляет собой наибольшее значение активной мощности при заданных значениях тока и напряжения. Она характеризует ту наибольшую мощность, которую можно получить от источника переменного тока при условии, что между проходящим по нему током и напряжением отсутствует сдвиг фаз.

Связь между активной мощностью P , реактивной мощностью Q и полной мощностью S можно определить из «треугольника мощностей» (рис.1).

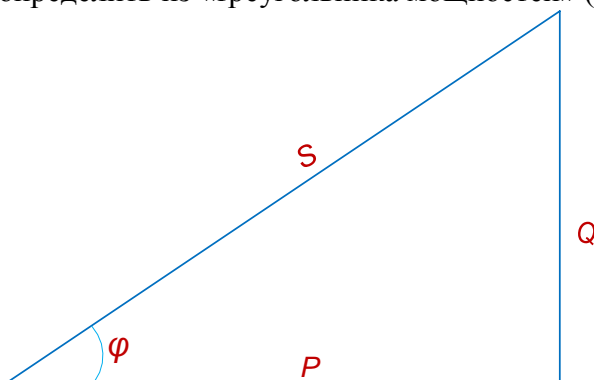


Рис. 1- Треугольник мощностей

Зависимость между активной, реактивной и полной мощностью определяется углом сдвига фаз между током и напряжением в сети, точнее – величиной косинуса этого угла – $\cos\varphi$ (коэффициентом мощности).

Из треугольника мощностей следует, что при заданной полной мощности S чем больше реактивная мощность Q , которая проходит через генератор переменного тока или трансформатор, тем меньше активная мощность P , которую он может отдать приемнику.

Так при значении $\cos\varphi = 0,95$ реактивная мощность составляет 33% потребляемой активной мощности, при $\cos\varphi = 0,7$ величина реактивной мощности практически равна величине активной мощности, а при $\cos\varphi = 0,5$ превышает ее 1,7 раза, значительно увеличивая активные потери в сети.

Таким образом, реактивная мощность не позволяет полностью использовать всю расчетную мощность источников переменного тока для выработки полезно используемой электрической энергии. То же самое относится и к электрическим сетям. Ток, который можно безопасно пропускать по данной электрической сети, определяется, главным образом, поперечным сечением ее проводов. Поэтому, если часть проходящего по сети тока идет на создание реактивной мощности, то уменьшается активный ток, обеспечивающий создание активной мощности, которую можно пропустить по данной сети.

Бесполезная циркуляция реактивной составляющей электрической энергии

между источником переменного тока и приемником, обусловленная наличием в нем реактивных сопротивлений, приводит к потерям определенного количества энергии, которая теряется в проводах всей электрической цепи. Повышенная загрузка сетей реактивным током приводит также к понижению напряжения в сети, а резкие колебания реактивной мощности – к колебаниям напряжения в сети. При этом у трансформаторов при уменьшении $\cos\varphi$ уменьшается пропускная способность по активной мощности вследствие увеличения реактивной нагрузки, а у электроприемников предприятия снижается производительность и даже нарушается работоспособность.

Для компенсации реактивной мощности, применяются специальные компенсирующие устройства, являющиеся источниками реактивной энергии преимущественно ёмкостного характера. Принцип компенсации поясняется рис. 2.

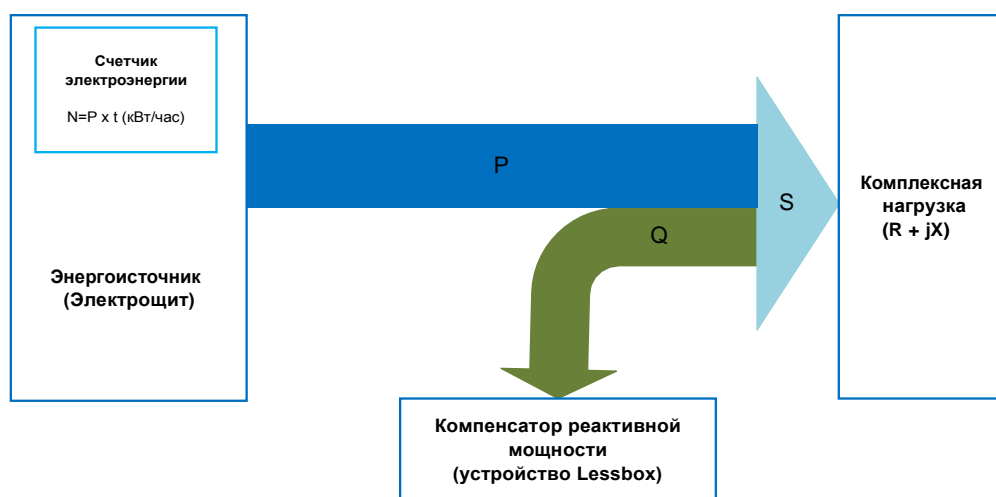


Рис. 2- Принцип компенсации реактивной мощности

Реактивная мощность, обусловленная индуктивным или емкостным характером нагрузки, компенсируется в непосредственной близости от нагрузки Q (см. рис.2), чем исключается ее негативное влияние на энергоснабжение предприятия.

Для компенсации реактивной мощности на предприятии при индуктивном характере нагрузки энергопотребителей применяются: синхронные компенсаторы, электродвигатели и конденсаторные установки.

По результатам проведенных исследований, приведенных в различных источниках, установлено, что большие единичные мощности и худшие по сравнению с конденсаторными установками технико-экономические показатели в диапазоне небольших (до 10 МВА) мощностей компенсации, практически исключают использование в сетях подавляющего числа предприятий синхронных компенсаторов, а использование синхронных двигателей экономически не эффективно для низковольтных сетей (до 1000 В), а также высоковольтных сетей при потребляемых мощностях менее 1500 кВт.

Поэтому в настоящее время для компенсации реактивной мощности на предприятиях широкое использование получили конденсаторные установки, достоинством которых является:

- малые удельные потери активной мощности (собственные потери современных низковольтных косинусных конденсаторов не превышают 0,5 Вт на 1000 Вар, при этом в синхронных компенсаторах это значение достигает 10% номинальной мощности компенсатора, а в синхронных двигателях, работающих в режиме перевозбуждения - до 7%);

- простой монтаж и эксплуатация (не нужно фундамента);
- относительно невысокие капиталовложения;
- возможность подбора любой необходимой мощности компенсации;
- возможность установки и подключения в любой точке электросети;
- отсутствие вращающихся частей и, как следствие, шума во время работы;
- небольшие эксплуатационные затраты.

При этом используются как простые батареи косинусных конденсаторов, так и регулируемые конденсаторные установки, в которых путем отслеживания значения коэффициента мощности осуществляется его коррекция за счёт подключения или отключения необходимого числа батарей конденсаторов.

Однако в существующих устройствах при использовании конденсаторных установок (в том числе управляемых) возникает ряд проблем, значительно снижающих их эксплуатационные свойства и надежность:

- малое число ступеней коммутации и, как следствие, низкая точность компенсации;
- возможность «перекомпенсации» при уменьшении реактивной мощности в сети индуктивного характера (то есть генерация реактивной мощности емкостного характера);
- в регулируемых конденсаторных установках управление батареями трехфазных косинусных конденсаторов осуществляется по измерительным трансформаторам, установленным на одной из фаз, что значительно снижает точность компенсации по другим фазам;
- возможность выхода из строя косинусных конденсаторов из-за наличия высокого уровня гармоник в сети при нелинейной нагрузке потребителей (импульсных стабилизаторов, преобразователей электроэнергии и т.д.), в которых возникают высшие гармоники тока, соизмеримые по своей величине с основной гармоникой;
- возможность выхода из строя косинусных конденсаторов из-за образования в совокупности с индуктивностью нагрузки последовательных колебательных контуров, близких по частоте резонанса к частоте одной из высших гармоник. Это приводит к значительному увеличению тока конденсаторов и существенно сокращает их срок службы. Перенапряжения, возникающие при резонансе на элементах конденсаторной установки и нагрузки, могут привести к пробоев их изоляции.

Кроме того, существующие конденсаторные установки практически не решают задачи уменьшения перекаса фаз. Функция подавления гармоник при использовании конденсаторных установок, может быть обеспечена только отдельно приобретаемым фильтром гармоник, настроенным на высшие гармоники (как правило, 3-ей, 5-ой, 7-ой, 11-ой и 13-ой).

Симметрирование фаз.

Перекас фаз - это несимметрия токов и напряжений, явление, при котором амплитуды фазных напряжений и токов не равны между собой и сдвинуты друг относительно друга по фазе, отличной от 120 градусов. Перекас фаз возникает, как правило, в результате ошибочного распределения нагрузки в фазах внутренних 3-х фазных сетей, относительно высокого сопротивления нулевого провода (в худшем случае при его обрыве) или того и другого вместе.. Наиболее часто явление перекаса фаз наблюдается на крупных предприятиях, оснащённых однофазными электросварочными устройствами, индукционными плавильными печами и иными нагревательными установками с высокой потребительской мощностью. Кроме

того, причиной перекоса фаз электроустановок может быть обрыв одной из фаз, приводящий к сильным увеличениям токов в остальных фазах, выход из строя автоматического выключателя, когда происходит короткое замыкание фазы с нулевым проводом и т.д.

При этом в нулевом проводе четырехпроводной линии появляется ток, равный геометрической сумме фазных токов. В некоторых случаях (например, при отключении нагрузки одной или двух фаз) по нулевому проводу может протекать ток, равный фазному току нагрузки, что приводит к значительному увеличению активных потерь, а также увеличению вероятности поражения электрическим током персонала, эксплуатирующего оборудование. Кроме того, это может привести к разрушению нулевого провода, так как защита от токовых перегрузок нулевых проводников, как правило, не предусмотрена.

Как уже говорилось выше, перекос фаз может возникать в различных ситуациях: 1. Нулевой провод исправен, нагрузки по фазам различны (вплоть до перегрузок).

В этом случае падения напряжения в обмотках питающего трансформатора будут различными, что приведет к изменению не только фазных, но и линейных напряжений.

На рисунке 3 представлена векторная диаграмма напряжений на выходе 3-х фазного трансформатора на холостом ходу (векторы OA , OB , OC – фазные напряжения; векторы AB , BC , CA – линейные напряжения).

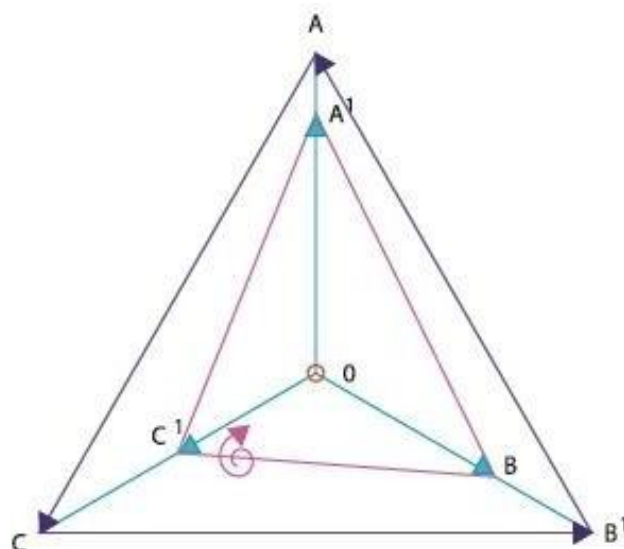


Рис.3 – Векторная диаграмма напряжений при неравномерной загрузке фаз трансформатора

При подключении нагрузки фазные напряжения на выходе трансформатора уменьшатся на разную величину из-за разных нагрузок, с учетом падений напряжений в обмотках трансформатора (векторы OA' , OB' , OC' – фазные напряжения; векторы $A'B'$, $B'C'$, $C'A'$ – линейные напряжения). Как видно из рисунка, изменились не только фазные но и линейные напряжения.

2. Падения напряжений в обмотках трансформатора пренебрежимо малы, но «неисправен» нулевой провод.

Взаиморасположение фазных и линейных напряжений можно изобразить в виде равностороннего треугольника (рис.4) с вершинами «А», «В», «С» и центром в точке «0». Векторы AB , BC и CA (лежащие на сторонах

треугольника) - это линейные напряжения (380В).

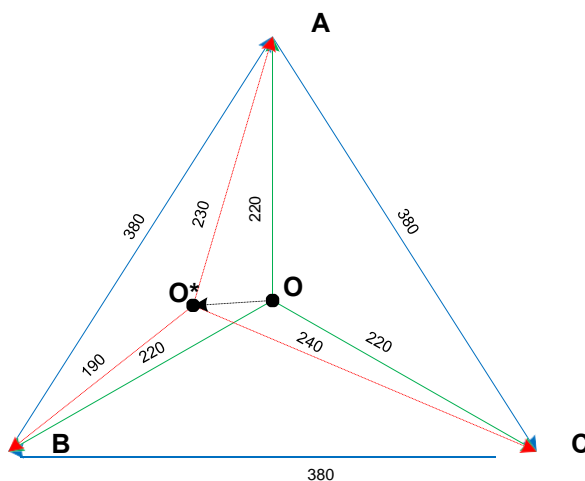


Рис. 4- Векторная диаграмма напряжений при смещении нейтрали

Векторы (сплошные линии), проведенные из центра треугольника к его вершинам - $0A$, $0B$ и $0C$ - это фазные напряжения. При симметричной нагрузке они равны между собой $0A=0B=0C$ и сдвинуты друг относительно друга на угол 120° . В данном случае перекося фазных напряжений отсутствует.

Одной из причин, вызывающей возникновение перекося фаз, является «плохой нуль», когда сопротивление между нулевой точкой трансформатора и нулевой точкой нагрузки недопустимо велико или, еще хуже, когда происходит «обрыв» нулевого провода. В таких случаях, из-за того, что к сети подключают множество потребителей, в том числе однофазных, в каждый случайный момент времени можно ожидать, что нагрузки в различных фазах отличаются друг от друга. Причем, даже если однофазные нагрузки по величине одинаковы, то их включение под нагрузку или отключение не может происходить синхронно. Различие фазных нагрузок по величине и характеру создает условия для возникновения перекося фазных напряжений.

Графически это будет выглядеть следующим образом (пунктирные линии на рис. 3): точка O в центре треугольника, из которой исходят векторы идеальных фазных напряжений величиной 220В ($0A$, $0B$ и $0C$) смещается относительно центра треугольника в точку O' . Смещаются и сами векторы фазных напряжений на произвольный угол друг относительно друга. Напряжение на каждой из фаз меняется с величины в 220 В, например, на 190В, 240В и 230В соответственно.

В данном случае перекося фаз (фазных напряжений), как правило, характеризуется неизменностью или одинаковостью линейных напряжений источника и значительным различием по величине фазных напряжений. То есть треугольник, образуемый векторами линейных напряжений остается равносторонним, это означает, что значение трех линейных напряжений соответствует 380В.

3. Падения напряжения в обмотках трансформатора существенны и «неисправен» нулевой провод.

Это наихудшая ситуация, приводящая к существенному перекося фаз. Действуют одновременно два фактора: неравномерная загрузка фаз и высокое сопротивление (обрыв) нулевого провода. Перекося фазных напряжений сильно сказываются на работе оборудования. Основную часть трехфазных потребителей (потребителей, питающихся от линейного напряжения) составляют электродвигатели. Система управления и контроля запуска таких трехфазных

потребителей, как правило, подключается к фазному напряжению. При перекосах фаз система управления запуском электродвигателя, которая контролирует длительность и факт запуска, работает неустойчиво, т.е. спонтанно выдает команды на его пуск или останов. Диапазон изменения фазного напряжения жестко регламентируется эксплуатационной документацией (как правило, не допускается перекос более $\pm 7,5 \div 10$ % от номинала). Если перекос превысил допустимый предел, то системы управления запуском дает сбой. При восстановлении уровня фазного напряжения происходит очередной запуск и так далее.

Известно, что режим запуска асинхронного двигателя характеризуется кратковременной работой обмоток статора в режиме короткого замыкания. Частые повторные пуски будут вызывать значительный перегрев изоляции и существенно увеличивать электропотребление из сети. Возможные негативные последствия такого режима работы - либо отказ в запуске, либо отказ оборудования вследствие перегорания обмоток двигателя.

У однофазных потребителей низкое напряжение является причиной тусклого света осветительных приборов, длительного запуска двигательных приборов, сбоев в работе компьютеров и т.д. Высокое напряжение вызывает отказы электроприемников из-за износа изоляции, отключение их защитными устройствами, перегорание предохранителей.

По информации, приведенной по результатам измерений, небольшая асимметрия напряжения (например, до 2%) на зажимах асинхронного двигателя приводит к значительному увеличению потерь мощности (до 33% в статоре и 12% в роторе), что в свою очередь, вызывает дополнительный нагрев обмоток и снижение срока службы их изоляции (на 10,8%), а при перекосах в 5% общие потери возрастают в 1,5 раза и, соответственно, растет потребляемый ток. Причем, дополнительные потери, обусловленные не симметрией напряжений, не зависят от нагрузки двигателя.

Длительная допустимая мощность для двигателей до 7 кВт при не симметрии напряжений 5% снижается по сравнению с номинальной на 10 - 15%, а при не симметрии 10% - на 25 - 45%. Еще одно отрицательное действие не симметрии напряжения выражается в возникновении дополнительной вибрации, вследствие чего сокращается срок службы отдельных деталей двигателя, в том числе и его обмоток. В симметричном режиме основная причина вибрации - неуравновешенность вращающихся частей, несоосность валов. При не симметрии напряжений возникает дополнительная вибрация, которая соизмерима или больше, чем вибрация в симметричном режиме. Суммарная вибрация может превысить допустимый уровень. Расчеты показывают, что в некоторых случаях допустимая не симметрия напряжений лимитируется не условиями нагрева, а условиями механической перегрузки при колебаниях корпуса двигателя.

Если перекос фаз невозможно обеспечить путем равномерного распределения нагрузки по фазам и при этом его наличие приводит к нарушению технологических процессов, то его устранение обеспечивается обычно путем включения мощного трехфазного стабилизатора напряжения (фактически представляющего собой три самостоятельных однофазных стабилизатора) или установки специального трехфазного симметрирующего трансформатора.

Однако включение фазных стабилизаторов фактически не решает поставленную задачу, так как они сами провоцируют не симметрию трехфазной системы. Помимо своего основного недостатка трехфазные стабилизаторы напряжения потребляют значительное количество электроэнергии и требуют значительных сервисных расходов, так как обладают низкой надежностью - и электромеханические, и электронные стабилизаторы напряжения имеют быстроизнашивающиеся и часто отказывающиеся детали. Поэтому такое решение

снижения перекося фаз является дорогим.

В связи с этим обычно предпочтение отдается симметрирующему трансформатору.

Симметрирующий трансформатор выполняет функции:

- устранение перекося фазных напряжений,
- равномерное распределение нагрузок по фазам;
- обеспечение заданной величины фазных напряжений.

Однако включение симметрирующего трансформатора приводит к ряду дополнительных проблем:

- в связи с тем, что включение симметрирующего трансформатора производится в разрыв проводов сети, в случае выхода его из строя нарушается энергоснабжение всего предприятия;

- симметрирующий трансформатор по своему принципу должен функционировать в недолуженном режиме, что приводит к тому, что он становится мощным источником реактивной мощности индуктивного характера в сети предприятия, которую необходимо дополнительно компенсировать.

- симметрирующий трансформатор имеет значительный вес и габариты, например, симметрирующий трансформатор на 160 кВА имеет вес 250 кг, размеры 710x610x640 мм.

Фильтрация высших гармоник

Решение задачи повышения производительности труда на современных промышленных предприятиях, а также интенсификация и усложнение технологических процессов привело к тому, что все большую долю в общем объеме суммарных нагрузок наряду с асинхронными двигателями занимают резко переменные и нелинейные нагрузки, мощные вентиляльные преобразователи, электропечи, сварочные комплексы и другие устройства, которые при всей своей экономичности и технологической эффективности оказывают отрицательное влияние на гармонический состав напряжения в сети. Пример фактической формы сетевого напряжения с учетом влияния высших гармоник приведен на рис. 5.

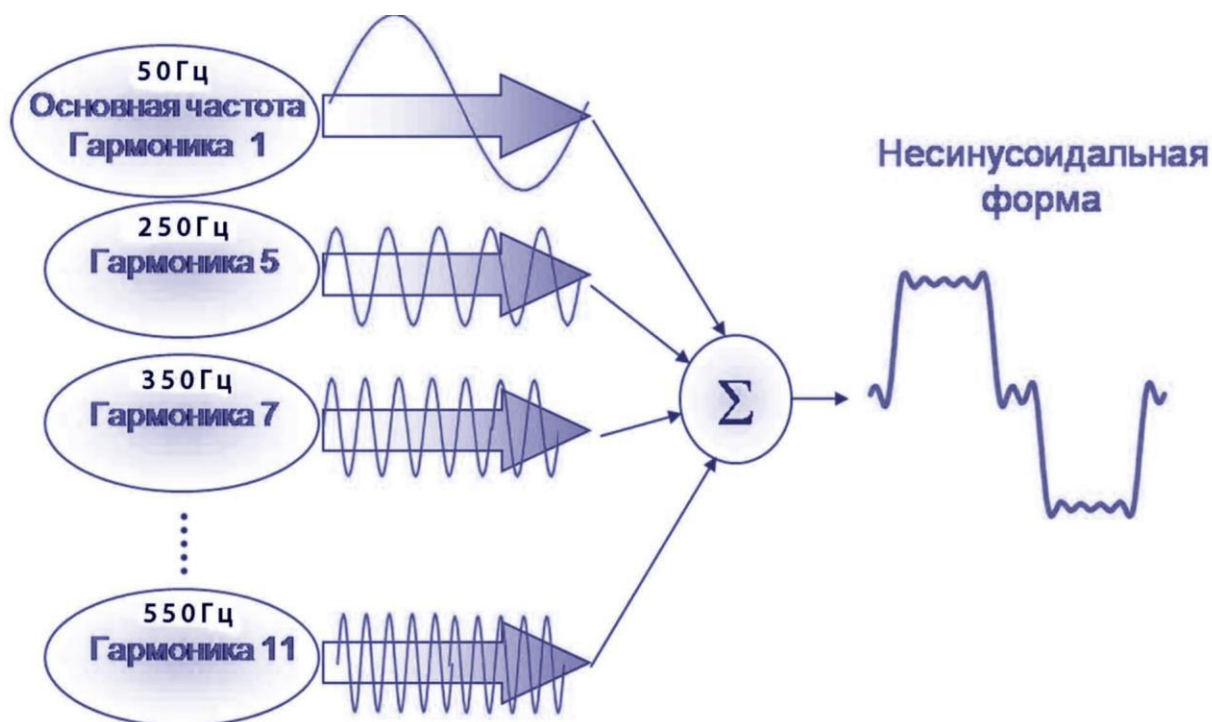


Рис. 5 Искажение формы сетевого напряжения из-за наличия гармоник

Проблемы в сети, обусловленные наличием гармоник:

- снижение вращающего момента на валу асинхронных двигателей;
- повышенные потери и перегрев двигателей (в основном гистерезисные потери) и возможное повреждение изоляционных материалов;
- дополнительная вибрация в двигателях переменного тока, снижающая ресурс их эксплуатации;
- повышение потерь в обмотках и магнитопроводе трансформаторов, приводящих к выходу последних из строя;
- сокращение срока службы электрооборудования из-за интенсификации теплового и электрического старения изоляции
- появление постоянной составляющей тока или напряжения, которая может вызвать насыщение магнитопровода и увеличение тока намагничивания;
- нарушение работоспособности компенсаторов реактивной мощности, перегрев косинусных конденсаторов и увеличение тока через них, что снижает срок службы.

Одним из наиболее перспективных способов уменьшения токов и напряжений высших гармоник в сетях промышленных предприятий является применение силовых фильтров высших гармоник, представляющих собой последовательное соединение индуктивного и емкостного сопротивлений, настроенных в резонанс на фильтруемую гармонику. Широкое распространение получили наборы фиксированных фильтров на 5,7,11,13 гармоники, которыми дополняются конденсаторные установки, используемые для компенсации реактивной мощности.

При этом наиболее перспективным является использование фильтров компенсирующих устройств (ФКУ), представляющих собой пассивные LC фильтры, настроенные на частоты гармоник основной частоты. Параметры фильтров подбирают таким образом, чтобы звенья были настроены в резонанс на частоты фильтруемых гармоник, а их емкости позволяли бы генерировать необходимую реактивную мощность на промышленной частоте. Достоинством ФКУ является:

- возможность компенсации заданных гармоник (выявленных по результатам обследования сети предприятия);
- возможность (ограниченная) компенсации реактивной мощности, в том числе динамической (для автоматических ФКУ).
- Однако ФКУ обладают целым рядом недостатков:
- невозможность адаптации фильтров к изменяющемуся во времени частотному спектру гармоник в сети предприятия из-за фиксированной частоты настройки;
- невысокое качество компенсации реактивной мощности (в том числе из-за малого числа ступеней регулирования, вследствие того, что основной задачей ФКУ является компенсация гармоник);
- высокая чувствительность к точности настройки. При неточной настройке звеньев, эффективность ее резко уменьшается и даже может иметь место увеличение уровня гармоник в сети;
- большие габариты и высокая стоимость ФКУ. Например ФКУ, настроенная на 5-ю гармонику при номинальном токе основной гармоники 240 А имеет вес 3240 кг и габариты 1450x1545x2980);
- отсутствие функции устранения перекоса фаз.

Ограничение пусковых токов

Для большинства электротехнических устройств пусковые токи существенно превышают номинальные. Хотя этот процесс имеет кратковременный характер, он может послужить причиной увеличения стоимости электроэнергии для предприятий. В зависимости от используемого тарифа энергоснабжающие предприятия могут взимать месячную плату не по номинальной, а по максимальной потребляемой мощности. Превышение может составлять до 30% месячной стоимости электроэнергии.

Компенсация кратковременного падения напряжения

В системах электропитания возможно снижение напряжения относительно номинального значения. Это приводит к тому, что электродвигатели и другие устройства потребляют ток, превышающий номинальное значение, что может послужить причиной их выхода из строя и снижении коэффициента полезного действия.

Сглаживание переходных процессов

Переходные процессы, имеющие своим результатом кратковременные превышения (обычно несколько миллисекунд) токов и напряжений относительно номинальных значений, могут быть обусловлены внешними и (или) внутренними причинами. В качестве таких причин могут выступать разряд молнии, переключения на питающих подстанциях, переключения на нагрузках. Изменения напряжения в результате переходных процессов могут достигать от нескольких вольт до десятков киловольт, при этом скачки тока могут достигать десятка килоампер.

На практике до 80% изменений напряжения в результате переходных процессов обусловлены переключениями на нагрузке (включение и отключение мощных потребителей). Это может привести к следующим негативным последствиям:

- преждевременному выходу оборудования из строя;
- потерям данных и перезагрузкам в системах с компьютерным управлением;
- выходу их из строя систем управления оборудованием предприятия;
- потерям из-за простоев;
- перегоранию элементов в печатных платах;
- частому перегоранию ламп освещения и стартеров люминесцентных ламп;
- выходу из строя электродвигателей из-за пробоя изоляции обмоток;
- отказу источников бесперебойного питания.

Адаптивные системы энергосбережения

Адаптивные системы энергосбережения (АСЭС) позволяют обеспечить комплексное решение задач энергосбережения по всем указанным выше направлениям.

Компенсация реактивной мощности, симметрирования фаз и подавления гармоник в сети предприятия реализованы в энергосберегающих устройствах АСЭС, как единое оригинальное техническое решение.

Устройство АКЭС содержат в своем составе блоки коммутируемых косинусных фазных и межфазных конденсаторов - соответственно (БФК и БМК рис. 6), итеративные трансформаторы, входящие в эти блоки, быстродействующие

коммутаторы (БК), разрядники, измеритель параметров сети (ИПС), контроллер (К), управляемый фильтр гармоник (УФГ), измерительные трансформаторы, фазокомпенсирующие модули, измерители токов и напряжений, а также другие вспомогательные элементы. Блок- схема устройства АСЭС приведена на Рис 6.

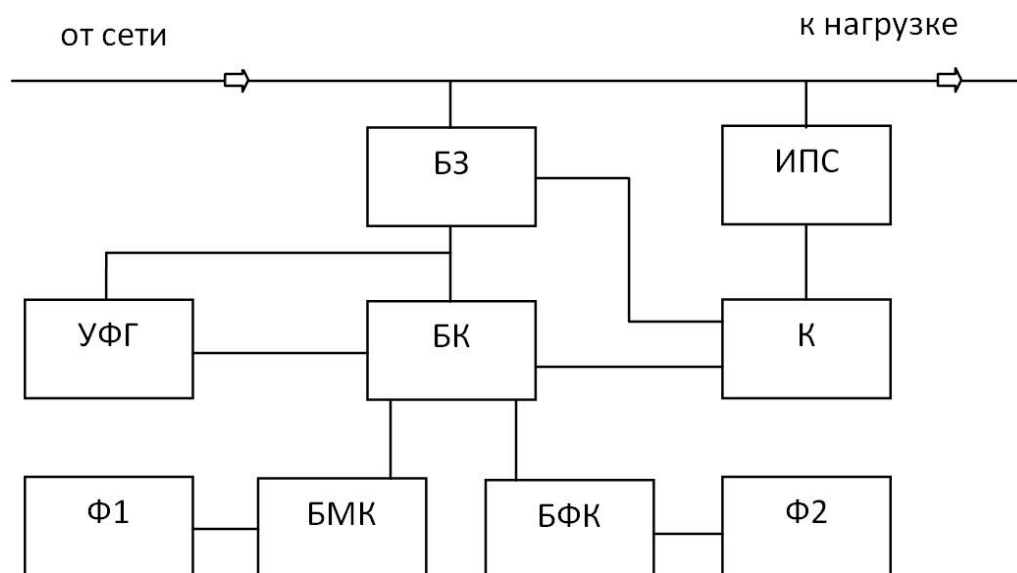


Рис. 6. Блок-схема АСЭС

- БЗ - блок защиты;
- ИПС - измеритель параметров сети;
- УФГ - управляемый фильтр гармоник;
- БК - быстродействующий коммутатор;
- К – контроллер;
- БМК - блок «межфазных» конденсаторов;
- БФК - блок фазных конденсаторов;
- Ф1, Ф2 - высокочастотные фильтры.

После включения устройства АКЭС сначала происходит самоконтроль его системы управления (контроллера), затем, если система управления исправна, анализируется состояние электроэнергетической сети на аварийное или предаварийное состояние (устойчивое недопустимое перенапряжение, перегрузка одной или нескольких фаз по току, обрыв силовых проводов). Если в сети имеет место недопустимое устойчивое перенапряжение или обрыв проводов, работа АКЭС блокируется, а на информационное табло выводится сообщение о характере неисправности. При перегрузках фаз по току блок запускается. При этом сначала по программе контроллера производится анализ гармонического состава сети, и вырабатываются команды коммутации для управляемого фильтра гармоник.

Следует заметить, что в отличие от ФКУ, управляемые фильтры гармоник устройств АКЭС автоматически адаптируют свою настройку к изменению гармонического состава сетевого напряжения (например, в связи с включением вновь приобретенного мощного оборудования с нелинейным вентильным преобразователем с изменяемым углом отсечки), при этом подавление гармоник может превышать 80%.

По завершению отработки фильтра гармоник контроллер вырабатывает

команды управления батареями косинусных конденсаторов индивидуально в каждой из фаз (в отличие от группового управления в конденсаторных установках).

Подключение батарей косинусных конденсаторов по каждой из фаз в устройстве АКЭС производится через итеративный трансформатор, что обеспечивает их дополнительную защиту от перегрузок как по напряжению, так и по току.

Обеспечение многосторонней защиты косинусных конденсаторов в устройстве АКЭС дало возможность уменьшить их габаритные размеры и увеличить число ступеней коммутации, что позволило значительно увеличить точность компенсации реактивной мощности по сравнению с современными управляемыми конденсаторными установками.

Устранение перекоса фаз в устройствах АКЭС обеспечивается блоком «межфазных» конденсаторов. Блок «межфазных» конденсаторов работает таким образом, что при перекосе фазных (линейных) напряжений сети происходит смещение нулевой точки конденсаторной батареи БМК, что, в свою очередь, приводит к изменению положения векторов токов этих конденсаторов и их величин. В результате этого вектор тока конденсаторной батареи, подключенный к «перегруженной» фазе уменьшается, а угол между ним и вектором тока нагрузки соответствующей фазы увеличивается. Это приводит к уменьшению соответствующего тока сети.

Вектор тока конденсаторной батареи БМК, подключенной к «недогруженной» фазе увеличивается, а угол между ним и вектором тока нагрузки уменьшается. Это приводит к увеличению тока сети данной фазы.

Таким образом, значения токов в фазах сети выравниваются и, как следствие, выравниваются фазные и линейные напряжения сети.

Следует заметить, что в отличие от решения с включением симметрирующих трансформаторов (или стабилизаторов напряжения), в устройствах АКЭС симметрирование осуществляется без разрыва сети, что значительно повышает надежность энергоснабжения предприятия. АКЭС не требует проекта подключения к энергосетям.