

## 11 ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

### 11.1 Общие положения

Повышению качества электроэнергии должно уделяться большое внимание в условиях современного дефицита энергии. Качество электроэнергии существенно влияет на расход и на качество технологических процессов, нормальная работа электрооборудования в свою очередь оказывает влияние на качество отпускаемой электроэнергии.

При решении вопросов повышения качества электроэнергии решают ряд задач: математических, экономических, технических.

Экономические задачи решают вопросы затрат и убытков. Математические задачи определяют обоснование методы решения. Технические включают разработку технических средств и мероприятий, направленных на улучшение качества электроэнергии.

Показатели качества электроэнергии являются нормируемыми техническими характеристиками.

### 11.2 Отклонения и размах колебаний частоты

Отклонение частоты – это разность между действительным и номинальным значениями основной частоты за время  $\Delta t_1 = 0,3с$

$$\Delta f = f - f_{НОМ} \quad (11.1)$$

или

$$\Delta f_{\%} = \frac{f - f_{НОМ}}{f_{НОМ}} 100\% \quad (11.2)$$

В нормальном режиме энергосистемы допускается отклонение в пределах  $\pm 0,1$  Гц усредненное за 10 мин. Допускается временная работа энергосистемы с отклонением частоты в пределах  $\pm 0,2$  Гц, усредненное за 10 мин.

Колебания частоты – изменения частоты, происходящие со скоростью 0,2 Гц/с.

Размах колебаний – это разность между наибольшим и наименьшим значениями основной частоты за определенный промежуток времени. Размах колебаний не должен превышать 0,2 Гц

$$\delta f = f_{МАК} - f_{МИН} \quad (11.3)$$

или

$$\delta f_{\%} = \frac{f_{МАК} - f_{МИН}}{f_{НОМ}} 100\% \quad (11.4)$$

Отклонение и размах колебаний частоты влияют на работу электроприемников: АД и СД работающие с постоянным моментом на валу изменяют частоту пропорционально частоте сети,

$$\omega = \frac{2\pi f_1}{p} (1 - s) \quad (11.5)$$

Двигатели работающие с моментом, зависящим от скорости во второй степени  $M \propto \omega^2$  изменяют производительность  $Q$  при изменении частоты.

При несоблюдении параметров частоты в сетях промышленных предприятий увеличиваются потери напряжения и мощности.

В выпрямительных установках с реакторами возможны резонансные явления в цепи реактор - конденсаторная установка. Резонанс напряжений возможен на определенной частоте. Если частота снижается, цепь приобретает емкостный характер для всех высших гармоник. Результат – перегрузка КУ и возможно перераспределение высших гармоник в сети.

Есть нагрузка, не зависящая от частоты: это электрические печи сопротивления; дуговые печи; лампы накаливания.

### 11.3 Отклонения напряжения

Показатель отклонения напряжения – действующее значение фазного и линейного напряжения -  $U_{\phi}$ ,  $U_{л}$ .

Отклонение напряжения – разность между фактическим и номинальным значениями для данной сети

$$\delta U = U - U_{НОМ} \quad (11.6)$$

или

$$\delta U_{\%} = \frac{U - U_{НОМ}}{U_{НОМ}} 100\% \quad (11.7)$$

Нормируемые допустимые отклонения напряжения для электроприемников:

-5 ÷ +10% - для электродвигателей и аппаратов;

-2,5 ÷ +5% - для рабочего освещения;

± 5% - для остальных приемников.

Основные факторы, вызывающие отклонения напряжения:

- изменение режимов электроприемников в узле нагрузки;

- изменение режима источника питания;

- нерациональное подключение однофазных и ударных нагрузок

Изменение напряжения влияет на технико-экономические показатели электроприемников. Так для асинхронных двигателей – при постоянной мощности на валу изменяются потери активной мощности. Снижение напряжения увеличивает токи обмоток статора  $I_s$  и ротора  $I_r$ , что приводит к старению изоляции и увеличивает потребление реактивной мощности за счет тока холостого. Происходит изменение частоты вращения, что существенно влияет на производительность технологического оборудования.

Снижение производительности и рост потерь мощности увеличивает удельный расход электроэнергии на единицу продукции. В электротермическом производстве – увеличивается длительность рабочего процесса или его расстройство. При сварочных работах – снижается качество сварки, увеличивается время сварки. При повышении напряжения – увеличивается реактивная нагрузка.

В осветительных сетях снижение напряжения  $U$  – снижает световой поток, для ЛЛ и ДРЛ снижение на 20% не включит ПРА. Повышение напряжения сокращает срок службы источников света. Изменение напряжения в электронной промышленности приводит к массовому браку. В сетях с вентильным приводом происходит изменение выпрямленного напряжения. Установка стабилизирующих устройств приводит к увеличению дополнительных потерь мощности.

Для поддержания заданного уровня напряжения необходимо соблюдение баланса реактивной мощности, оптимальное регулирование в центре питания (ЦП), местное регулирование и рациональное распределение по фазам ударных и однофазных нагрузок.

Улучшить качество напряжения может применение более высокого напряжения 6 (10 или 20) кВ, специальных регулировочных устройств, трансформаторов с РПН, линейных регуляторов, управляемых БК, СД.

При выборе регулировочных устройств приведенные годовые затраты сравниваются с убытками от низкого качества напряжения. Как правило, низкое качество напряжения зависит от неправильного выбора напряжения данной ступени.

## 11.4 Колебания напряжения

Колебания напряжения оцениваются размахом изменения напряжения, в интервале времени  $\Delta t_j$  между следующими друг за другом изменениями. Размах напряжения – это разность между соседними экстремумами действующих значений.

$$\delta V = U_{\max} - U_{\min} \quad (11.8)$$

или

$$\delta V_{\%} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{ном}}} 100\% \quad (11.9)$$

Частота изменений напряжений  $m$  – количество изменений напряжения со скоростью более 1% в секунду за время  $T$ . Под колебанием  $K_U$  напряжения понимают пять полных размахов в течении 12с. Причинами колебаний в сетях является работа мощных резкопеременных нагрузок - ДСП, сварочных агрегатов, вентильных преобразователей.

Например, исследования сети с машинами контактной сварки показали – колебания не должны превышать 5%.

Колебания напряжения от тиристорных преобразователей приводят к колебаниям тока нагрузки, что является причиной неустойчивого режима САР температуры печей.

Колебания напряжения при работе прокатных станов приводят к колебаниям электромагнитного момента, активной и реактивной мощности синхронных генераторов блок - станций ТЭЦ, могут вызвать неустойчивую работу САР возбуждения, реактивной мощности СГ и СД, ложную работу устройств форсировки возбуждения.

Способы снижения колебаний напряжения

- снижение влияния резкопеременной нагрузки подключением ее на отдельные линии;
- совместное питание спокойной и ударной нагрузки через сдвоенный реактор;
- применение силовых трансформаторов с расщепленными обмотками;
- при большом реактивном сопротивлении линий и низком  $\cos\varphi$  можно применить продольную компенсацию - последовательное включение конденсаторных установок;
- для ограничения пуска мощных СД рекомендуется поддерживать на шинах оптимальную мощность КЗ, разделять функции линейного и пускового реактора;

- применение сдвоенных реакторов при пуске и последовательное включение обеих ветвей, отключение одной после пуска;
- ограничение самозапуска двигателей снижением времени АВР и АПВ.

### 11.5 Несимметрия напряжения

Причины несимметрии: несимметричные режимы (НС), которые характеризуются несимметрией тока и напряжения; однофазная нагрузка; мощные ДСП, изменение режима сетей.

Различают кратковременные и длительные НС режимы.

Кратковременные НС режимы – несимметричные КЗ, обрывы ВЛ с замыканием на землю и тому подобное.

Длительные НС режимы вызваны несимметрией самих элементов сети или несимметричным подключением нагрузок.

Несимметричный режим обусловленный несимметрией элементов сети называется продольной несимметрией. Это неполнофазные режимы ВЛ, несимметрия параметров фаз элементов сети, специальные системы ДПЗ, ДПР, ДПТ (два провода-земля, два провода-рельсы, два провода-труба).

Несимметрия от однофазных и многофазных нагрузок называется поперечной. Она возникает при неравенстве активных и индуктивных нагрузок, например ДСП.

Несимметрия характеризуется коэффициентом несимметрии  $K_{НСМ}$ , по току и напряжению. По напряжению

$$K_{НСМ,U} = \frac{U_2}{U_{НОМ}} 100\%, \quad (11.10)$$

По току

$$K_{НСМ,I} = \frac{I_2}{I_{НОМ}} 100\% \quad (11.11)$$

где  $I_2$  и  $U_2$  – ток и напряжение обратной последовательности основной частоты,

$U_{НОМ}$  – номинальное линейное напряжение.

Длительно допустимый коэффициент несимметрии по напряжению на зажимах любого 3-хфазного симметричного приемника равен  $K_{НСМ,U} \leq 2\%$

При наличии токов нулевой последовательности происходит смещение нейтрали, которое характеризуется коэффициентом неуравновешенности напряжений

$$K_{0U} = \frac{U_0}{U_{НОМ}} 100\% \quad (11.12)$$

- это отношение напряжения нулевой последовательности к номинальному фазному напряжению, в процентах %.

Влияние несимметрии на отдельные приемники.

В синхронных машинах токи обратной последовательности создают обратный магнитный поток с двойной частотой вращения Гц. Суммарное поле тройной частоты создает пульсирующее поле. Магнитное поле обратной последовательности создает дополнительные вихревые токи. Это повышенный нагрев и вибрация.

В асинхронных двигателях сопротивление обмоток току обратной последовательности в 5-7 раз больше, чем при прямой. Значительно возрастает нагрев и старение изоляции, что сокращает срок службы и располагаемую мощность двигателя. Несимметрия создает противодействующий вращающий момент и снижает полезный момент на валу.

Подключение к несинусоидальной сети конденсаторных установок может вызвать еще большую несимметрию. При несимметрии напряжений конденсаторные установки неравномерно загружаются реактивной мощностью по фазам, их общая реактивная мощность изменяется. Полное использование мощности уже невозможно. Располагаемая мощность получается всегда ниже номинальной.

Многофазные выпрямители. При несимметрии напряжения токи по фазам могут значительно отличаться, допустимая мощность снижается, так как отдельные фазы недогружены. Также появляются гармоники двойной частоты, пропорциональные  $K_{НСМ/U}$ , и перегружают конденсаторы сети (тяговые сети).

На работу кабельных и воздушных линий несимметрия практически не влияет. В трансформаторах токи нулевой последовательности влияют на низкочастотные каналы связи, сигнализации, автоблокировки, создают неравномерный нагрев и снижают срок службы.

Мероприятия по снижению несимметрии напряжений сводятся к тому чтобы  $K_{НСМ,U}$  не превышал допустимых пределов. Пофазное распределение нагрузки не всегда обеспечивает допустимое значение.

Применяются симметрирующие устройства. Симметрирование сводится к компенсации тока обратной последовательности однофазной нагрузки.

СУ есть управляемые и неуправляемые. Для симметрирования однофазных нагрузок с постоянным графиком работы и косинусом близким к 1, применяют схему Штейнметца, на рисунке 11.1а. Компенсация тока обратной последовательности выполняется С и L. Схема эффективна при симметрировании чисто активной нагрузки, на рисунке 11.1б. Управляемые СУ также выполняются по схеме Штейнметца с дросселем делителем. Симметричные КУ компенсируют только реактивную составляющую тока

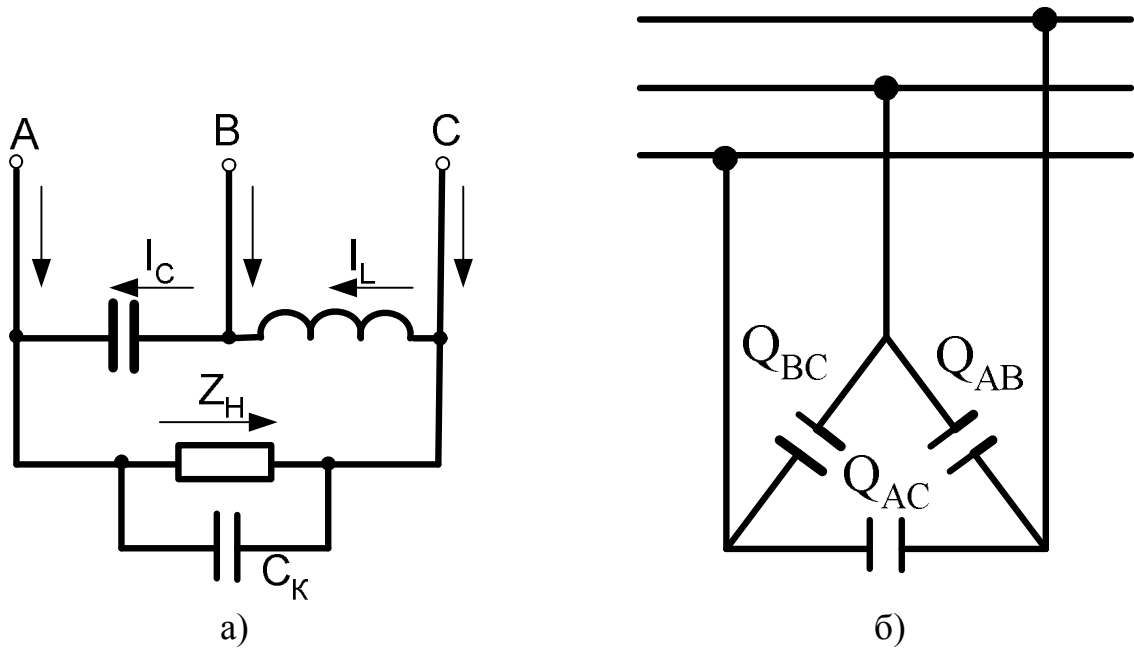


Рисунок 11.1 – Схемы симметрирования

а) – схема Штейнметца, б) - схема симметрирования несимметричной 3-х фазной нагрузки

Симметрирование двух-трехкратных несимметричных нагрузок можно выполнить с помощью несимметричной батареи конденсаторов. При этом мощности конденсаторов не равны по фазам.