

Ташполотов Ысламидин, д.ф.-м.н., профессор,
Ошский государственный университет,
Кулуев Жалил Осмонахунович, доцент,
Жалилов Улан Жалилович, магистрант,
Ошский технологический университет

АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (ПКЭЭ)

Рассмотрена классификация мероприятий и способов регулирования параметров в целях улучшения ПКЭЭ. Обоснована целесообразность применения данных мероприятий и их значение в экономике энергетики, положительные и отрицательные стороны их применения.

Ключевые слова: энергия, напряжение, ток, частота, колебание, отклонение, несимметрия, несинусоидальность, перенапряжение, устройство, сопротивление, нагрузка.

Ташполотов Ысламидин, ф.-м.и. д., профессор,
Ош мамлекеттик университети
Кулуев Жалил Осмонахунович, доцент,
Жалилов Улан Жалилович, магистрант,
Ош технологиялык университети

ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯНЫН САПАТЫНЫН КӨРСӨТКҮЧТӨРҮН (ЭЭСК) ЖАКШЫРТУУГА МАКСАТТАЛАН ИШ ЧАРАЛАР МЕНЕН ТЕХНИКАЛЫК КАРАЖАТТАРДЫ ТАЛДОО

ЭЭСКны жакшыртуу максатталган иш чаралардын жана параметрлерди жөнгө салуу ыкмалардын түрлөрү каралды. Аталган иш чараларды колдонуунун максаттуулугу жана алардын энергетика экономикасындагы мааниси, аларды колдонуунун оң жана терс жактары негизделген.

Ачык сөздөр: энергия, чыңалуу, ток, жыштык, термелүү, нормадан четтөө, симметриясыздык, синусоидалдуу эместик, чыңалуунун кекин жогорулашы, түзүлүш, каршылык, жүктөм.

Tashpolotov Yslamidin,
Doctor of physical and mathematical Sciences, professor,
Osh State University,
Kuluev Zhalil Osmonahunovich, docent,
Zhalilov Ulan Zhalilovich, graduate student,
Osh Technological University

ANALYSIS OF EVENTS AND IMPROVEMENT EQUIPMENT INDICATORS OF QUALITY OF ELECTRIC ENERGY (IQEE)

The classification of measures and methods for regulating parameters in order to improve the IQEE is considered. The expediency of applying these measures and their importance in the energy economy, the positive and negative aspects of their application are substantiated.

Key words: energy, voltage, current, frequency, oscillation, deviation, asymmetry, non-sinusoidality, overvoltage, device, resistance, load.

Существуют три основные группы методов повышения качества электроэнергии:
1. Рационализация электроснабжения, заключающаяся, в частности, в повышении мощности сети, в питании нелинейных потребителей повышенным напряжением;

2. Улучшение структуры первых уровней регулирования, например обеспечение номинальной загрузки двигателей, использование многофазных схем выпрямления, включение в состав потребителя корректирующих устройств;
3. Использование устройств коррекции качества - регуляторов одного или нескольких показателей качества электроэнергии или связанных с ними параметров потребляемой мощности.

Экономически наиболее предпочтительной является третья группа, так как изменение структуры сети и потребителей ведет к значительным затратам. Проектирование же новых сетей потребителей необходимо вести с учетом современных требований к качеству, ориентируясь на разработку регуляторов качества электроэнергии различных типов. Целенаправленное воздействие на изменение одного вида искажений вызывает косвенное воздействие на другие виды искажений. Например, компенсация колебаний напряжения вызывает снижение уровней гармоник и приводит к изменению отклонений напряжения.

Анализ показал, что обеспечить требования по отклонениям напряжения можно за счет регулирования напряжения в центре питания и путем снижения потерь напряжения в элементах сети [1].

Регулирование реализуется с помощью изменения коэффициента трансформации питающего трансформатора. Для этого трансформаторы оснащаются средствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) или имеют возможность переключения отпаек регулировочных ответвлений без возбуждения (ПБВ), т. е. с отключением их от сети на время переключения ответвлений. трансформаторы с РПН позволяют регулировать напряжение в диапазоне от ± 10 до ± 15 % с дискретностью 1,25...2,50%. трансформаторы с ПБВ обычно имеют регулировочный диапазон ± 5 %.

Снижение потерь напряжения в питающих линиях или кабелях может быть реализовано за счет снижения активного и (или) реактивного сопротивления. Снижение сопротивления достигается путем увеличения сечения проводов или применением устройств продольной компенсации (УПК). Продольная емкостная компенсация параметров линии заключается в последовательном включении конденсаторов в рассечку линии, благодаря чему ее реактивное сопротивление уменьшается. Последовательное включение конденсаторов целесообразно лишь при значительной реактивной мощности нагрузки ($\text{tg}\varphi > 0,75-1,0$). Если коэффициент реактивной мощности близок к нулю, потери напряжения в линии определяются в основном активным сопротивлением и активной мощностью. В этих случаях компенсация индуктивного сопротивления нецелесообразна [2].

Применение УПК очень эффективно при резких колебаниях нагрузки, так как регулирующий эффект конденсаторов (значение добавки напряжения) пропорционален току нагрузки и автоматически изменяется практически без инерции. Поэтому последовательное включение конденсаторов следует применять в ВЛ напряжением 35 кВ и ниже, питающих резкопеременные нагрузки с относительно низким коэффициентом мощности. Их используют также в промышленных сетях с резкопеременными нагрузками.

К уменьшению потерь напряжения, а, следовательно, к увеличению напряжения в конце линии помимо выше рассмотренных мер по уменьшению сопротивления сети приводят меры по изменению нагрузок сети, особенно реактивных. Это возможно осуществить, применяя установки поперечной компенсации (включение батарей конденсаторов параллельно нагрузке) и быстродействующие источники реактивной мощности (ИРМ), обрабатывающие реальный график изменения реактивной мощности.

Для улучшения режима напряжения сети, снижения отклонений и колебаний напряжения возможно использование мощных синхронных двигателей с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ).

Для улучшения таких показателей качества электроэнергии целесообразно подключение искажающих ПКЭЭ электроприемников в точках системы с наибольшими значениями мощности КЗ. А применение средств ограничения токов КЗ в сетях, содержащих специфические нагрузки, следует производить только в пределах,

необходимых для обеспечения надежной работы коммутационных аппаратов и электрооборудования.

Колебания напряжения в системе электроснабжения промышленного предприятия вызываются набросами реактивной мощности нагрузок. В отличие от отклонений напряжения колебания напряжения происходят значительно быстрее. Частоты повторения колебаний напряжения достигают 10... 15 Гц при скоростях набросов реактивной мощности до десятков и даже сотен Мегавар в секунду. Для снижения размаха колебаний напряжения нужно уменьшить ХКЗ или набросы реактивной мощности нагрузки QH, для снижения которых должны применяться быстродействующие источники реактивной мощности, способные обеспечить скорости набросов реактивной мощности, соизмеримые с характером изменения нагрузки. Подключение ИРМ приводит к снижению амплитуд колебаний результирующей реактивной мощности, но увеличивает их эквивалентную частоту. При недостаточном быстродействии применение ИРМ может привести даже к ухудшению положения.

Для снижения влияния резкопеременной нагрузки на чувствительные электроприемники применяют способ разделения нагрузок, при котором наиболее часто применяют сдвоенные реакторы, трансформаторы трехобмоточные, с расщепленной обмоткой или питают нагрузки от различных трансформаторов. Эффект использования сдвоенного реактора основан на том, что коэффициент взаимной индукции между обмотками сдвоенного реактора не равен нулю, а падение напряжения, уменьшающееся на 50...60 % за счет магнитной связи обмоток реактора, в каждой секции определяется по формулам:

$$\Delta U_1 = jX_1 \cdot (I_1 - K_M \cdot I_2); \Delta U_2 = jX_L \cdot (I_2 - K_M \cdot I_1) \quad (1)$$

где K_M — коэффициент взаимной индукции между обмотками секций реактора; X_L — индуктивное сопротивление секции обмотки реактора.

Трансформаторы с расщепленной обмоткой позволяют подключать к одной ветви обмотки низшего напряжения резкопеременную нагрузку (источник искажений), а к другой — стабильную. Связь между изменениями напряжения в обмотках определяется по выражению

$$\Delta U_1 = \Delta U_2 \cdot \frac{4-K_P}{4+K_P}, \quad (2)$$

где K_P — коэффициент расщепления, принимаемый равным 3,5.

При выделении резкопеременной нагрузки на отдельный трансформатор общее сопротивление снижается с величины

$$X = \frac{X_{T1} \cdot X_{T2}}{X_{T1} + X_{T2}} + X_C \quad (3)$$

до величины X_C . Тогда размах колебаний напряжения на шинах стабильной нагрузки снижается в X_C/X раз, а на шинах резкопеременной нагрузки увеличивается в $X / (X_C + X_{T2})$ раз [3].

Снижение несимметрии напряжения достигается уменьшением сопротивления сети токам обратной и нулевой последовательностей и снижением значений самих токов. Учитывая, что сопротивления внешней сети (трансформаторов, кабелей, линий) одинаковы для прямой и обратной последовательностей, снизить эти сопротивления возможно лишь путем подключения несимметричной нагрузки к отдельному трансформатору.

Основным источником несимметрии являются однофазные нагрузки. При соотношении между мощностью короткого замыкания в узле сети к мощности однофазной нагрузки больше 50 коэффициент обратной последовательности обычно не превышает 2%, что соответствует требованиям ГОСТ.

Снизить несимметрию можно, например, подключением мощных однофазных нагрузок через собственный трансформатор на шины 110 — 220 кВ. Снижение систематической несимметрии в сетях низкого напряжения осуществляется рациональным распределением однофазных нагрузок между фазами с таким расчетом, чтобы сопротивления этих нагрузок были примерно равны между собой.

Если несимметрию напряжения не удастся снизить с помощью схемных решений, то применяются специальные устройства. В качестве таких симметрирующих

устройств применяют несимметричное включение конденсаторных батарей или специальные схемы симметрирования однофазных нагрузок.

Если несимметрия меняется по вероятностному закону, то для ее снижения применяются автоматические симметрирующие устройства, в схемах которых конденсаторы и реакторы набираются из нескольких небольших параллельных групп и подключаются в зависимости от изменения тока или напряжения обратной последовательности (недостаток — дополнительные потери в реакторах). Ряд устройств основан на базе применения трансформаторов, например трансформаторов с вращающимся магнитным полем, представляющим собой несимметричную нагрузку, или трансформаторов, позволяющих осуществить пофазное регулирование напряжения.

Основные способы уменьшения влияния несинусоидальности напряжения. Среди технических средств применяют: фильтровые устройства: включение параллельно нагрузке узкополосных резонансных фильтров, фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), фильтросимметрирующих устройств (ФСУ), ИРМ, содержащих ФКУ, специальное оборудование, характеризующееся пониженным уровнем генерации высших гармоник, «ненасыщающиеся» трансформаторы, многофазные преобразователи с улучшенными энергетическими показателями.

Сопrotивление звена фильтра токам высших гармоник $X_{Фп} = X_{Ln} - X_{Cn}$, где X_L , X_C — сопротивления соответственно реактора и батареи конденсаторов току промышленной частоты, n — номер гармонической составляющей.

С увеличением частоты индуктивное сопротивление реактора увеличивается пропорционально, а батареи конденсаторов — уменьшается обратно пропорционально номеру гармоники. На частоте одной из гармоник индуктивное сопротивление реактора становится равным емкостному сопротивлению батареи конденсаторов, и в цепи звена фильтра возникает резонанс напряжений. При этом сопротивление звена фильтра n току резонансной частоты равно нулю и оно шунтирует электрическую систему на этой частоте. Номер гармоники n_p резонансной частоты вычисляют по формуле

$$n_p = \sqrt{X_C/X_L} \quad (4)$$

Идеальный фильтр полностью отфильтровывает токи гармоник, на частоты которых настроены его звенья. Однако практически наличие активных сопротивлений реакторов и батарей конденсаторов и неточная настройка звеньев фильтра приводят к неполной фильтрации гармоник. Параллельный фильтр представляет собой ряд звеньев, каждое из которых настроено на резонанс для частоты определенной гармоники.

Количество звеньев в фильтре может быть любым. На практике обычно применяют фильтры, состоящие из двух или четырех звеньев, настроенных на частоты 5, 7, 11, 13, 23 и 25-й гармоник. Поперечные фильтры присоединяют как в местах возникновения высших гармоник, так и в пунктах их усиления. Поперечный фильтр является одновременно и источником реактивной мощности, и средством компенсации реактивных нагрузок.

Параметры фильтров подбирают таким образом, чтобы звенья были настроены в резонанс на частоты фильтруемых гармоник, а их емкости позволяли генерировать необходимую реактивную мощность на промышленной частоте. В ряде случаев для компенсации реактивной мощности параллельно фильтру включают батарею конденсаторов. Такое устройство называют фильтрокомпенсирующим (ФКУ). ФКУ выполняют и функцию фильтрации гармоник, и функцию компенсации реактивной мощности.

В настоящее время помимо пассивных узкополосных фильтров применяют и активные фильтры (АФ). Активный фильтр — преобразователь переменного-постоянного тока с емкостным или индуктивным накопителем электрической энергии на стороне постоянного тока, формирующий методом импульсной модуляции определенное значение напряжения или тока. В его составе интегрированные силовые ключи, соединенные по типовым схемам. Подключение АФ в сеть производится в качестве источника напряжения или источника тока.

Для защиты от перенапряжений применяются ограничители перенапряжений. От кратковременного снижения и провалов напряжений могут использоваться динамические компенсаторы искажений напряжения (ДКИН), которые решают многие проблемы качества электроэнергии, включая провалы (в том числе и импульсные) и перенапряжения питающего напряжения.

Основные преимущества ДКИН:

- нет батарей и всех проблем, связанных с ними,
- время реакции на кратковременные нарушения электроснабжения 2 мс,
- эффективность работы устройства ДКИН более 99 % при 50 %-ной нагрузке и более 98,8 % при 100 %-ной нагрузке,
- низкая потребляемая мощность и малые эксплуатационные затраты,
- компенсация гармонических составляющих, фликеров,
- синусоидальная форма выходного напряжения,
- защита от всех видов КЗ,
- высокая надежность.

Снижение уровня негативного влияния на сеть от приемников электроэнергии специфических нагрузок (ударных, с нелинейными вольт-амперными характеристиками, несимметричных) достигается нормированием их и разделением питания специфических и «спокойных» нагрузок.

Помимо выделения отдельного ввода для специфических нагрузок возможны и другие решения рационального построения схем электроснабжения:

- четырехсекционная схема главной понижающей подстанции на напряжении 6—10 кВ с трансформаторами с расщепленными вторичными обмотками и со сдвоенными реакторами для раздельного питания «спокойной» и специфической нагрузки,
- перевод трансформаторов главной понизительной подстанции (ГПП) на параллельную работу включением секционного выключателя напряжением 6—10 кВ, когда это допустимо по токам КЗ. Это мероприятие можно применять и временно, например в периоды пуска крупных двигателей,
- осуществление в цеховых сетях питания осветительной нагрузки отдельно от силовой резкопеременной (например, от сварочных агрегатов) [4].

Заключение

Таким образом, нами рассмотрены мероприятия и способы регулирования необходимых параметров электроэнергии в целях улучшения ПКЭЭ, выполнение организационных мероприятий и внедрение различного технического оборудования. Обоснована целесообразность применения данных мероприятий и их значение в экономике энергетики, положительные и отрицательные стороны их применения.

Литература:

1. **Жежеленко, И.В.** Качество электроэнергии на промышленных предприятиях [Текст] / М.Л. Рабинович, В.М. Божко // — М. 1981. с. 5-7
2. **Липкин, М.** “Электроснабжение промышленных предприятий и установок”. [Текст] / М.: “Энергоиздат”, 1990 г. с. 98-105
3. **Распопов, Е.В.** Электрические системы и сети. Качество электроэнергии и его обеспечение. [Текст] // М.1990.с. 3-15
4. **Синенко, Л.С.** Электроснабжение. Версия 1.0 конспект лекций [Текст] / Е.Ю. Сизганова, Ю.П. Попов // Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. с. 148-156.