

Игорь Владимирович ЖЕЖЕЛЕНКО

Дрий Леонидович САЕНКО

Мариупольский Metallургический институт, Республика Украина

ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Резюме. Рассматривается влияние электромагнитных помех (ЭМП) на качество электроэнергии в питающих системах. Указывается их отрицательное влияние на окружающую среду, в том числе на живые организмы. Обсуждаются промышленные источники ЭМП, меры противодействия и вопросы нормирования качества электроэнергии.

THE PROBLEM OF ELECTRIC ENERGY QUALITY IN SUPPLY SYSTEMS

Summary. The influence of electromagnetic disturbances on the quality of electric energy in supply systems is considered. Their destructiveness for the environment, including living organisms, is shown. There are discussed the industrial sources of the disturbances, means of their neutralization, and the problems of standardization of electric energy quality.

PROBLEM JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W SYSTEMACH ZASILAJĄCYCH

Streszczenie. Rozpatruje się wpływ zakłóceń elektromagnetycznych na jakość energii elektrycznej w systemach zasilających. Wskazuje się na ich szkodliwy wpływ na środowisko, w tym również na żywe organizmy. Omawia się przemysłowe źródła zakłóceń elektromagnetycznych, środki przeciwdziałania i zagadnienia normowania jakości energii elektrycznej.

В современной электроэнергетике проблема качества электроэнергии (КЭ) столь же важна, как проблема экологии для человечества. По существу, качество электроэнергии - это экология электромагнитных процессов, связанных с производством, передачей и распределением электрической энергии. Электромагнитные помехи (ЭМП), вид и уровень которых характеризует качество электроэнергии - это своего рода вредные промышленные уносы, загрязняющие

окружающую среду, оказывающие отрицательное влияние на человека, на флору и фауну. Аналогичным образом сказывается отрицательное влияние ЭМП на оборудование, электрические сети и системы; однако можно указать и примеры их непосредственного влияния на человека, животных и растительный мир. Так, колебания напряжения негативно сказываются на восприятии телевизионных передач; степень отрицательного воздействия электромагнитного поля сверхвысоковольтных ЛЭП на растительность и животный мир в зоне ВЛ существенно возрастает при наличии гармоник в кривых напряжения и тока ЛЭП.

Проблемы КЭ, по существу, появились одновременно с возникновением электроэнергетики как отрасли промышленного производства. Однако лишь с огромным ростом и концентрацией генерирующих мощностей и мощностей нагрузок, с интенсивным внедрением несимметричных, нелинейных и резкопеременных (ударных) нагрузок, эта проблема стала одной из наиболее значимых. Решение будет означать существенное повышение энергетической эффективности промышленного производства городского и сельского хозяйства и повышение надежности электроснабжения потребителей. На сегодняшний день сформировался ряд аспектов проблемы КЭ. Это влияние ЭМП на электроустановки в качественном плане и количественные оценки снижения эффективности их функционирования. Эта сторона проблемы и послужила поводом для создания соответствующих международных и национальных стандартов и норм, а также аналогичных по назначению документов отдельных ведомств, фирм и других организаций. Как известно, в этих нормативных документах, как правило, отражены вопросы ограничений отклонений, колебаний, несимметрии и несинусоидальности напряжения; в некоторых стандартах значения мощности искажающих нагрузок, а также гармоник тока. Можно полагать, что вопросы влияния электромагнитных помех на энергоустановки изучены достаточно подробно. В то же время, как свидетельствует практика, необходимо дальнейшее совершенствование стандартов. На наш взгляд, здесь просматриваются два направления:

1) учет взаимного влияния различных ПКЭ;

2) введение некоторых новых ПКЭ.

Известно, что эффект одновременного воздействия различных ЭМП сказывается более значительным, чем в случае суммирования эффектов от действия каждой ЭМП при отсутствии других. Следовательно, в рассматриваемом случае допустимые значения соответствующих ПКЭ должны быть меньше, чем в случае их изолированного воздействия. По-видимому, этот вопрос нуждается в детальном изучении.

Колебания напряжения изучены достаточно подробно с точки зрения колебаний амплитуды, вызываемых, в основном, набросами реактивной мощности. Однако, в мощных промышленных установках типа прокатных станов, возникают значительные набросы активных мощностей, что приводит к колебаниям жазы. При этом могут возникать вибрации трубопроводов, опасные гидравлические удары, другие нежелательные явления. В принципе возможно нарушение устойчивости заводских электростанций. На наш взгляд, этот вопрос нуждается в дальнейшем изучении с целью оценки допустимого значения размаха колебания жазы.

Колебания амплитуды при весьма низких частотах (10^{-4} - 10^{-6} Гц) обычно не рассматриваются при анализе КЭ; исключение составляют импульсные помехи. Между тем, при коммутации мощных потребителей, а также при одно- и трехфазных автоматических повторных включениях линий, особенно частых в грозный период, возникают провалы (выбросы) в кривой напряжения. Эти ЭМП вызывают сбои в микропроцессорных системах автоматики поточных технологических линий химической, автомобильной и других отраслей промышленности. При этом возникают огромные убытки. Известно, что вероятность нарушений повышается с увеличением глубины и крутизны провала. Однако эти параметры еще не стали объектом нормирования. Одним из методов ограничения несинусоидальности является лимитирование установленной мощности вентильных преобразователей, подключенных к узлам электрических сетей - это принято стандартами ряда европейских стран, Китая и других. Эти ограничения, однако, не корреспондированы с АЧХ узла сети, в результате возможно появление

значительных гармоник тока как у потребителя, так и в питающей энергосистеме. По-видимому, в стандарт было бы целесообразно внести определенные коррективы.

Аналитический аспект проблемы КЭ, в основном, сводится к корректной оценке значений ПКЭ в узле сетей. Наряду с достаточно простыми детерминированными методами, применяемыми в случае сетей относительно несложной стабильной конфигурации со стабильными нагрузками, получили развитие стохастические методы. Если построение алгоритмов и программ расчетов не встречает принципиальных трудностей, то получение корректных исходных данных является в ряде случаев сложной задачей. Ее решение зависит в значительной мере от требуемой точности расчетов. Распространенное стремление рассчитать "как можно точнее", учесть максимум факторов - зачастую приводит лишь к возрастанию погрешностей. Принимая в среднем эффект отрицательного воздействия ЭМП пропорциональным квадрату ее значения, можем считать допустимой погрешность расчета ПКЭ в пределах $\pm 10\%$. Очевидно, что результаты проектных расчетов должны корреспондироваться с данными измерений; обеспечение высокой точности измерительных приборов сопряжено с существенным увеличением их стоимости, что вряд ли применено при больших масштабах контроля КЭ.

При математическом моделировании электрических сетей для расчета ПКЭ важное значение приобретает корректное представление схем замещения и параметров узлов нагрузки. Обобщение сопротивления обратной последовательности даже для однотипных нагрузок (например, крупных промышленных центров, предприятий различных отраслей народного хозяйства и др.) различными авторами представляются существенно отличающимися значениями. Использование значений аналогичных сопротивлений, применяемых для расчета несимметричных коротких замыканий, не допустимо. Вопрос этот должен быть предметом специального исследования. Ситуация еще более усложняется при расчетах в жазных координатах. Не менее важным является

обоснование схем замещения узлов и их АЧХ при расчете несинусоидальных режимов, в особенности, для городских электрических сетей; наличие конденсаторов в нагрузочных узлах в значительной мере влияет на корректность расчета несинусоидальных режимов.

Точный расчет и анализ режима электрической сети невозможен без учета активных сопротивлений. Однако, корректный учет активных сопротивлений (амплитудно-частотных характеристик) элементов электрической сети является весьма сложной задачей. В расчетах обычно активными сопротивлениями пренебрегают, а учитывают только реактивные. В этом случае, согласно теореме Фостера, для чисто реактивных цепей имеет место чередование нулей и полюсов частотных характеристик входных и взаимных сопротивлений. Если в обычных режимах пренебрежение активными сопротивлениями не вносит заметной погрешности, то в случае резонанса токов или напряжений активные сопротивления играют определяющую роль в оценке частотных характеристик. Однако, даже при не очень сложной структуре электрической сети, расчет частотной характеристики с учетом активных сопротивлений представляет значительную сложность, что обусловлено необходимостью проведения расчета в комплексных числах.

В связи с этим возникает необходимость разработки достаточно простой методики оценки реактивного сопротивления электрической сети. Для нерезонансных режимов, а также для случая резонанса напряжения, входное активное сопротивление электрической сети практически неизменно. Его можно, с достаточной для практических расчетов точностью, определить путем эквивалентирования схемы, составленной только из активных сопротивлений. В случае резонанса токов активное сопротивление существенно возрастает и становится определяющим при определении полного сопротивления. Активное сопротивление при резонансе токов определяется как

$$R = X_C^2 / r_\Sigma$$

где X_c - емкостное сопротивление контура на частоте параллельного резонанса;
 Γ_{Σ} - суммарное активное сопротивление контура.

Необходимо отметить, что приведенное выражение можно использовать для гармоник, частоты которых отличаются от резонансной на величину не более $\pm 5\%$. При этом погрешность определения эквивалентного активного сопротивления составляет 10-15%. Предложенный метод может быть применен для электрических сетей 6-10 кВ, отличающихся высокой добротностью.

Не менее важным в рассматриваемой проблеме является вопрос определения активных сопротивлений различных элементов на частотах гармоник. Существующие методы определения активных сопротивлений дают противоречивые результаты и, на наш взгляд, окончательный вывод о применимости того или иного подхода можно сделать лишь после тщательных экспериментальных исследований.

Заслуживает внимания вопрос о целесообразности учета взаимного влияния ЭМП при расчете значений ПКЭ. Известно, что, например, колебания, отклонения и несимметрия напряжения оказывают влияние на значения несинусоидальности напряжения, колебания и несимметрия напряжения также взаимосвязаны (например, при работе ЭДСП) и т.д. Однако целесообразность учета этих обстоятельств помимо количественной оценки степени взаимного влияния различных ЭМП, будет определяться также требуемой точностью расчета.

В практике проектирования постоянно возникает необходимость прогнозирования значений ПКЭ в условиях некорректной информации, когда нет достоверных данных о технологических процессах, параметрах электрооборудования и структуры сети. Разработка таких методов представляется важной и неотложной задачей. В равной мере сказанное относится и к прогнозированию АЧХ входных сопротивлений электрических сетей со стороны нагрузочных узлов. По-видимому, имеющийся опыт расчетов и измерений штих АЧХ при условии его обобщения и анализа, мог бы стать основой для достоверного прогноза в конкретных случаях.

Следующий аспект проблемы включает вопросы измерения и коррекции ПКЭ.

Можно констатировать, что к настоящему времени имеются разработки значительной гаммы измерительных и корректирующих устройств, позволяющих обеспечить контроль и нормализацию КЭ. Однако масштабы внедрения их существенно различны: от корректного решения проблемы в ряде стран Европы и США до практически полного отсутствия каких-либо подходов к практическому решению проблемы (в некоторых энергосистемах Китая и др.).

В мировой практике преимущественное распространение получило использование корректирующих устройств многоцелевого назначения, примером которых могут являться шильтро-симметрирующие устройства. Они обеспечивают компенсацию реактивной мощности, симметрирование системы линейных напряжений и шильтрацию ВГ. Аналогичные функции выполняют быстродействующие статические компенсаторы реактивной мощности, основное назначение которых - снижение колебаний напряжения.

Не менее важной проблемой, тесно связанной с КЭ, является определение реактивной мощности. Существенный рост в промышленности доли нелинейных нагрузок, являющихся потребителями реактивной мощности, делает актуальной проблему ее оценки и расчета параметров компенсирующих устройств при наличии высших гармоник в питающей сети. Необходимо отметить, что режим реактивной мощности определяет как КЭ, так и экономичность режимов работы систем электроснабжения. Уровень реактивной мощности оказывает существенное влияние на отклонения, колебания, несимметрию напряжения, режим реактивной мощности токов и напряжений.

Методы расчета реактивной мощности при низком качестве электроэнергии на протяжении нескольких десятков лет привлекают к себе внимание ряда ученых. С течением времени менялся подход к оценке реактивной мощности, к методам ее расчета. Большой вклад в развитие понятия реактивной мощности в нелинейных цепях внесли такие ученые как А. Bogucki, М. Brodzki, С. Budeanu, L. Czarnecki, S. Fryze, Z. Nowomiejski.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жежеленко И.В.: Высшие гармоники в сетях промпредприятий. М., Энергоатомиздат, 1984.
- [2] Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л.: Взаимные сопротивления электрических сетей на частотах гармоник. Изв. вузов СССР - Энергетика, N 9, 1990.
- [3] Нормирование показателей качества электрической энергии и их оптимизация. Под ред. А. Богуцки, А. З. Гамма, И. В. Жежеленко. Гливице - Иркутск, 1988.
- [4] Саенко Ю.Л.: Реактивная мощность в системах электроснабжения с нелинейными нагрузками. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Elektryka, z. 123, Gliwice, 1991.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Roman Janiczek

Wpłynęło do redakcji dnia 16 marca 1992 r.

THE PROBLEM OF ELECTRIC ENERGY QUALITY IN SUPPLY SYSTEMS

A b s t r a c t

The problem of electric energy quality is, in essence, the problem of electromagnetic process ecology. Electromagnetic disturbances pollute the environment, noxiously influencing all living things, electrical devices, networks and systems. A characteristic feature of the contemporary electrical devices is a big concentration of electric power together with frequent appearance of asymmetrical, non-linear and quick-variable loads.

The impact of amplitude and phase fluctuations which can cause a loss of industrial power stations stability, needs a detailed investigation. Nowadays the stochastic methods are introduced to solve the problem of quality. To prepare a mathematical model of necessary accuracy, it is essential to work

out a simple method of appreciation the networks reactance, and in some situations also the resistance. The interdependences between different kinds of disturbances cause, in authors' opinion, a necessity of detailed experimental investigations, in order to choose the proper methods and purposes of analytic calculations.

Apart from the methods of investigations the quality parameters', there are entering the correcting devices, especially for filtration of higher frequencies and simmetrization of the circuit, and the static compensators of reactive power.

The electric energy quality considerably depends on the character of reactive power in the network. The participation of large scale non-linear receivers of the reactive power makes the problem of its appreciation and calculation of parameters of compensating devices the task of substantial importance.