

УДК 621.316

НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ЗАДАЧА

В.А. Воронин, аспирант

Научный руководитель: Г.М. Лебедев, д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Развитие электроэнергетики и промышленности связано с совершенствованием существующей и внедрением новой, передовой технологии. Этому процессу сопутствует широкое внедрение мощных нелинейных, несимметричных и резкопеременных электроприемников, а также различных систем управления технологическими процессами, систем защиты и автоматики, чувствительных к электромагнитным помехам (ЭМП). Со временем данная тенденция только набирает обороты, делая проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) и качества электроэнергии (КЭ) все более актуальными и значимыми. На всем протяжении развития электроэнергетики инженеры и ученые, для достижения оптимальных режимов работы электрических сетей, промышленных предприятий и сокращения отрицательного влияния ЭМП, исследуют проблемы КЭ и ЭМС и ищут пути их решения. При наличии ЭМП возникают дополнительные потери мощности в элементах сети и электрооборудовании, ускоряется износ изоляции электрооборудования, происходят нарушения технологического процесса. Все это может привести к значительному финансовому ущербу для предприятия. Для сокращения этого ущерба могут использоваться различные мероприятия по улучшению КЭ, однако, они также требуют финансовых затрат на их осуществление. Таким образом, возникает задача оптимизации КЭ или, иными словами, определения оптимума между величиной ущерба от низкого КЭ и затратами на мероприятия по его улучшению.

Оптимизация является технико-экономической задачей, цель которой состоит в нахождении наилучшего (с точки зрения определенного критерия) распределения наличных ресурсов. Решается данная задача с помощью оптимальной модели методами математического программирования, т.е. путем поиска экстремумов целевой функции при заданных ограничениях. Постановка оптимизационной задачи заключается в определении объекта и критериев оптимизации, целевой функции и ее ограничений.

Объектом оптимизации являются четыре показателя КЭ (ПКЭ): отклонения напряжения, коэффициенты несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательности и коэффициент гармонических составляющих. Также в данный перечень можно добавить и колебания напряжения, т.к. они также оказывают негативное влияние на электрооборудование [3], однако

стандартом [1] данный ПКЭ не нормируется. Из ненормируемых ПКЭ, влияющих на величину ущерба, также можно выделить интергармонические составляющие напряжения, прерывания и провалы напряжения, импульсные напряжения.

Критерий оптимальности должен быть увязан с экономическим критерием эффективности. Таким критерием может быть минимум приведенных затрат. Следовательно, целевая функция может быть представлена как:

$$Z(\bar{P}) = K_n K(\bar{P}) + Y(\bar{P}) \rightarrow \min \quad (1)$$

где $Z(\bar{P})$ – приведенные затраты; $K(\bar{P})$ – единовременные капитальные вложения в мероприятия по улучшению КЭ; K_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений; $Y(\bar{P})$ – ущерб от низкого КЭ; \bar{P} – n -мерный вектор оптимизируемых ПКЭ; n – число оптимизируемых ПКЭ. Графически целевая функция представлена на рис. 1.

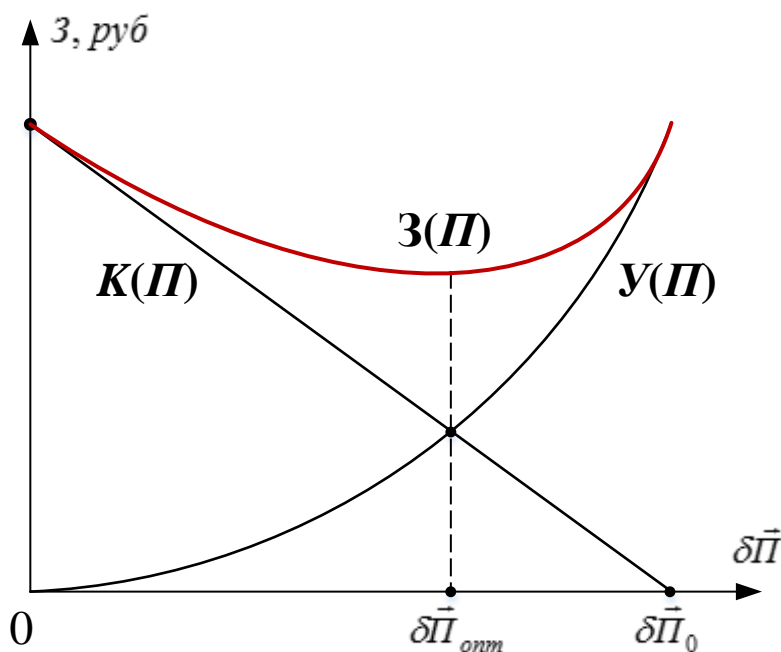


Рис. 1. Принципиальный характер изменения составляющих затрат при управлении КЭ. Z – суммарные затраты; δP – отклонения ПКЭ; $\delta P_{\text{опт}}$ – оптимальный уровень отклонений ПКЭ

Область допустимых отклонений оптимизируемых ПКЭ ограничена техническими требованиями к электрической сети и электроприемникам. В качестве таких ограничений могут использоваться предельно допустимые значения стандартов КЭ [1] и ЭМС [2] или допустимое значение температуры изоляции, как предлагается в работе [4]. Последний вариант накладывает ограничения не на характеристики ЭМП, а на характеристики реакции электроприемника, однако, он является более предпочтительным поскольку отра-

жает физический смысл ограничений и позволяет установить разные наборы ограничений для разных видов электрооборудования. Допустимые значения ПКЭ стандартов являются обобщенными и не учитывают особенности отдельных типов электроприемников, что в ряде случаев приводит к их необоснованной жесткости. Так, в работах [5-8] отмечается, что ряд электроприемников может нормально функционировать и при превышении допустимых значений ПКЭ.

Поскольку значения ПКЭ входят в функцию (1) во второй степени (что следует из выражений для определения дополнительных потерь мощности при низком КЭ [3]), то целевая функция $Z(\bar{P})$ является нелинейной и следовательно для решения оптимизационной задачи должны использоваться методы нелинейного программирования.

Еще одним важным свойством целевой функции (1) является ее несепабельность – величина одного аргумента функции влияет на изменение другого. Иными словами, между ПКЭ присутствует взаимовлияние. Так, несимметрия и колебания напряжения оказывают влияния на отклонения напряжения прямой последовательности, а отклонения напряжения, в свою очередь, влияют на уровень несинусоидальности в сети с вентильными преобразователями [9]. Взаимное влияние ПКЭ в настоящее время еще мало изучено и нормирование ПКЭ осуществляется без его учета [4]. Перечисленные факторы обуславливают необходимость в учете всех ПКЭ при решении оптимизационной задачи. Также это обусловлено многофункциональностью технических средств улучшения КЭ, воздействующих сразу на несколько ПКЭ.

Структурная схема математической модели оптимизации ПКЭ представлена на рис. 2. В модели можно выделить 4 блока. Блок №1 – моделирование эмиссии ЭМП искажающими электроприемниками, выходным параметром блока являются характеристики ЭМП $x_{внутр}$, поступающие на вход блока №2. Блок №2 осуществляет расчет распространения ЭМП в сети и взаимодействия с корректирующими устройствами, выходными параметрами блока являются величина остаточного уровня ЭМП $x'_{внутр}$ и затраты на мероприятия по улучшению КЭ $K(x_{внутр})$. На вход блока №3 поступают характеристики ЭМП x , обусловленные совокупным действием внешних и внутренних источников ЭМП, а также средств улучшения КЭ. Блок №3 осуществляет расчет реакции электроприемника на ЭМП, выраженной величиной ущерба $U(x)$. В блоке №4 происходит обработка данных об ущербе от низкого КЭ и затратах на его улучшение и определение оптимальных значений ПКЭ $x_{опт}$. Каждый блок модели также можно представить в виде аналогичной структурной схемы.

Выбор метода оптимизации в основном определяется видом математической модели, требуемой степенью точности полученных результатов, располагаемыми вычислительными ресурсами. Как было отмечено ранее, для решения оптимизационной задачи должны использоваться методы нелинейного программирования. В зависимости от исходных условий постановка задачи может быть детерминистической или стохастической. К наиболее рас-

пространственным методом оптимизации относятся метод неопределенных множителей Лагранжа, различные модификации градиентного метода, метод Ньютона и т.д.

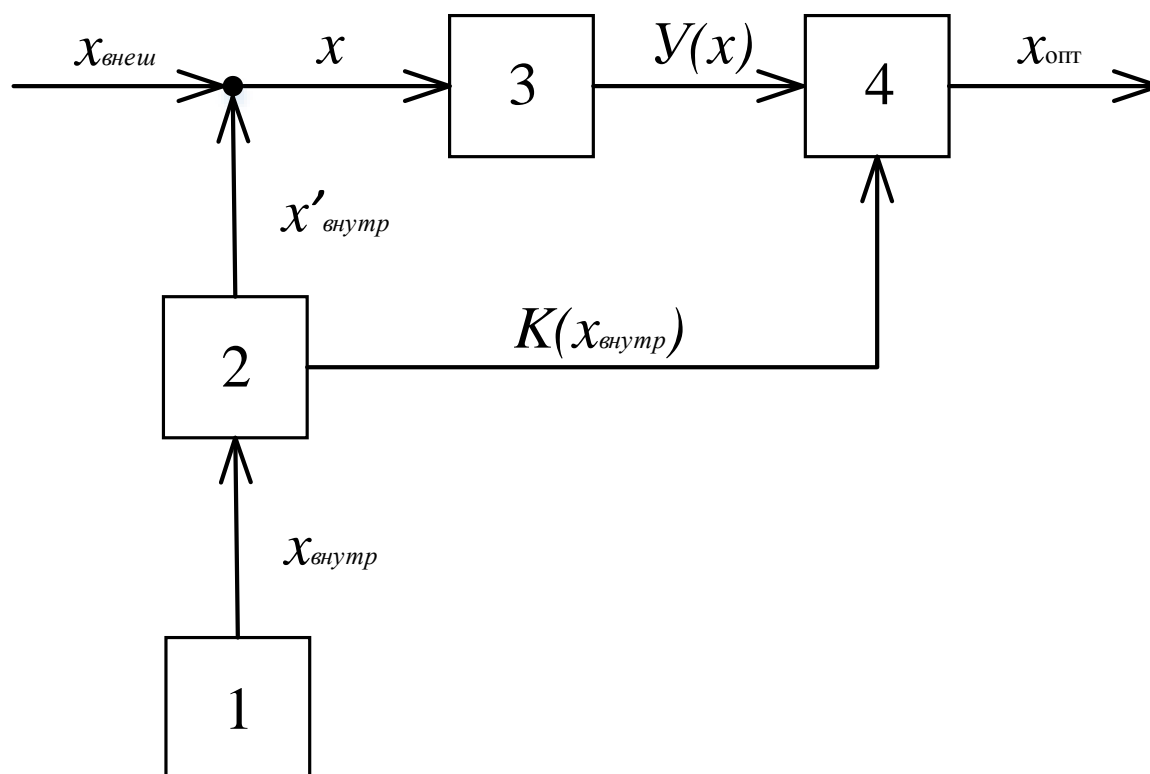


Рис. 2. Структурная схема математической модели оптимизации ПКЭ

Вывод. В работе кратко рассмотрены основные теоретические положения оптимизации ПКЭ. Следующим этапом является более детальная проработка математической модели, рассмотрение каждого блока рис. 2 в отдельности и выбор наиболее подходящего метода оптимизации для различных исходных данных.

Список литературы:

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
2. ГОСТ Р 51317.2.4-2000 Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Уровни электромагнитной совместимости для низкочастотных кондуктивных помех в системах электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Стандартинформ, 2001. – 17 с.
3. Жежеленко, И.В. / Электромагнитная совместимость потребителей: моногр. / И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк и др. – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.
4. Кузнецов, В.Г. Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусоидальность напряжения / В.Г. Кузнецов, Э. Г. Куренный, А.П. Лютий. – Донецк: «Донбасс», 2005. – 249 с.

5. Вагин, Г.Я. О необходимости приведения норм ГОСТ 13109-97 к требованиям международных стандартов / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов // Промышленная энергетика – 2004 - №9.
6. Вагин, Г.Я. Комментарии к новому ГОСТ Р 54149-2010 и сопровождающим его стандартам / Г.Я. Вагин // Промышленная энергетика – 2013 - №1.
7. Вагин, Г.Я. О необходимости приведения нормативных документов по электромагнитной совместимости к требованиям международных стандартов / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов // Промышленная энергетика – 2010 - №11.
8. Вагин, Г.Я. Электромагнитные помехи и электромагнитная совместимость электроприемников промышленных предприятий / Г.Я. Вагин // Промышленная энергетика – 1994. – №7. – С. 37-40.
9. Константинов, Б.А. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость электрооборудования предприятий / Б.А. Константинов, И.В. Жежеленко, А.М. Липский и др. // Электричество – 1977. – №3. – С. 1-8.