УДК 621.316.722.076.12

**МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**В ПО EasyPower и DigSILENT**

*М.С. Балабанов, Е.М. Баранова, М.Б. Ощепков*

ООО «Международная Энергосберегающая Корпорация», г. Санкт-Петербург, Россия

*Аннотация— Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме – обеспечение инжиниринговой компанией абсолютной ответственности за результат внедрения FACTS-устройств, в ходе построения системы автоматического управления по реактивной мощности и напряжению на промышленных предприятиях и в энергорайонах. Целью статьи является анализ опыта практической работы инженеров-проектировщиков ООО «МЭК» (Санкт-Петербург) в ПО DigSILENT и Easy Power при верификации модели Братского ЦКК. Основное внимание в работе авторы акцентируют на качестве составления схем моделирования, погрешности приборов измерения и погрешности самих программных комплексов, в которых выполняется моделирование. Материал исследования будет интересен специалистам в области построения архитектуры Smart Grid.*

Ключевые слова— DigSILENT, Easy Power, FACTS-устройства, качество электроэнергии

#

В 2014 году техническими специалистами ООО «Международная Энергосберегающая Корпорация» (г. Санкт-Петербург) было проведено комплексное обследование и моделирование Филиала ОАО «Группа Илим» в г. Братск [1]. По факту изучения проблематики целлюлозно-картонного комбината и проведенных замеров параметров качества электроэнергии были определены основные цели проекта:

1. Устранение отклонений по следующим показателям:

- отклонение напряжения;

- коэффициент n-й гармонической составляющей напряжения;

2. Приведение tgϕ≤0,4 в точке коммерческого учета электроэнергии.

3. Присоединение дополнительной нагрузки 6 МВт.

4. Обеспечение пропускной способности шинопровода не менее 70 МВт в аварийном режиме при поддержке собственной генерации.

Следует отметить что основной причиной отклонений параметров КЭ на предприятии является специфика технологии производства – наличие большого количества асинхронных электродвигателей. Двигатели, установленные в сети комбината до 1 кВ, снабжены частотными приводами без фильтровых дросселей. Они являются основной причиной наличия высших гармонических составляющих, которые достигают высоких значений в сети до и выше 1 кВ. Причиной отклонений также являются и большие потери напряжения на шинопроводе. Падение напряжения ниже 6 кВ отмечено на шинах всех подстанций, в то время, как согласно ПТЭЭП, п. 2.5.9. «Напряжение на шинах распределительных устройств должно поддерживаться в пределах (100-105)% от номинального значения. Для обеспечения долговечности электродвигателей использовать их при напряжении выше 110 и ниже 90% от номинального не рекомендуется» [2].

Указанные причины подробно описаны в справочной литературе - коэффициент мощности асинхронных двигателей малой и средней мощности (1 - 100 кВт) при номинальной нагрузке принимает значения в пределах 0,7 ÷ 0,9, в то время как синхронные двигатели могут работать при cos φ = 1 [3, 4]. Коэффициент мощности (cos φ) влияет на величину потребляемой двигателем реактивной мощности.

$Q=\sqrt{S^{2}-P^{2}}$ (1)

$S=\frac{P}{η·cosφ}$ (2)

Из формул 1 и 2 следует, что чем ниже значение cos φ, тем большую реактивную мощность будет потреблять двигатель при постоянной нагрузке на валу.

На ЦКК Братск, как и на большинстве предприятий РФ в настоящее время, была проведена работа по модернизации производства, в ходе которой большинство синхронных двигателей были демонтированы и заменены на асинхронные. Развитие технологии, увеличение количества частотно-регулируемых приводов с асинхронными двигателями влечет за собой неизбежную модернизацию предприятия в части системы электроснабжения в связи с необходимостью решения актуальных вопросов качества электроэнергии и компенсации реактивной мощности.

Моделирование выполнялось инженерами ООО «МЭК» с использованием программного обеспечения DigSILENT. В связи с тем, что стратегическим партнером Группы «Илим» и владельцем 50% ее акций является крупнейшая в мире целлюлозно-бумажная компания International Paper, американскими коллегами в качестве независимого технического эксперта был приглашен профессор Chris Duffey (разработчик ПО «Easy Power» (США)).

Была проведена верификация двух моделей, в ходе которой рассматривались режимы:

- нормальный;

- нормальный с подключением дополнительной нагрузки;

- аварийный (с отключением одного шинопровода).

А также был проведен анализ:

- потерь электроэнергии;

- высших гармонических составляющих;

- напряжений в узлах;

- надежности системы.

С целью оценки надежности функционирования проектируемой системы в специализированных ПО были рассмотрены:

- возможность возникновения резонансных явлений;

- коммутационные перенапряжения;

- гармонические искажения.

В ходе моделирования был определен тип FACTS-устройств, необходимых для устранения проблем на предприятии, его основные характеристики, а также места подключения в существующей системе электроснабжения.

Для установленных на предприятии фильтро-компенсирующих устройств (ФКУ) были разработаны мероприятия по их модернизации и внедрению во вновь создаваемую систему компенсации реактивной мощности (СКРМ) – изготовление и подключение шкафов управления.

В связи с тем, что и существующие ФКУ, и проектируемые ФКУ выполнены ступенчатыми, в программном комплексе были рассмотрены в динамике режимы переключения ступеней ФКУ.

Важной задачей было определить частоту настройки вновь устанавливаемых ФКУ для возможности совместной работы с существующими ФКУ, выполнения целей проекта и сокращения расходов Заказчика.

Таким образом, в ходе моделирования было установлено, что для достижения целей проекта необходимо:

1. Дополнительная установка FACTS-устройств, мощностью 29 МВАр, с объединением существующих и вновь устанавливаемых FACTS устройств в общую систему компенсации реактивной мощности;
2. Модернизация ТЭС-2 (для подключения дополнительной нагрузки).

Основной концепцией являлось выполнение минимальных переделок сети для достижения целей проекта.

Так как расчеты всех программных комплексов строятся на базе электротехнических уравнений, основным отличием рассматриваемых программных комплексов являлось удобство ввода информации, скорость проводимых расчетов и возможности расчета гармонического анализа и динамической нагрузки. Оба рассматриваемых программных комплекса функциями указанных расчетов обладают, но ввод исходных данных в DigSILENT оказался доступнее и удобнее для оператора. В EasyPower имеется большее влияние «человеческого фактора» - вероятность ошибки из-за большего перечня расчетов, проводимых самим инженером.

Моделируемая схема предприятия представляет собой ряд подстанций, связанных с системой по магистральной схеме шинопроводами через сдвоенные реакторы. Готовых элементов в виде сдвоенного реактора ни один из рассматриваемых программных комплексов не содержит, поэтому на первом этапе за основу составления схемы был принят РД 153-34.0-20.527-98 [5]. Согласно табл.4.1 [5] схема замещения сдвоенного реактора представляется емкостью и двумя индуктивностями (рис. 1, [5]), которые рассчитываются по следующим формулам:

$X\_{C}=-K\_{св}∙X\_{р}$ (3)

$X\_{1}=X\_{2}=\left(1+K\_{св}\right)∙X\_{р}$ (4)

Но схему сдвоенного реактора также можно представить и в виде трехобмоточного трансформатора, где вводимые параметры рассчитываются по нижеследующим формулам.

Активное сопротивление реактора согласно ГОСТ 28249-93 [6]:

$R=∆P∙10^{3}/(2∙I\_{н}^{2})$; (5)

Базисное сопротивление:

$Z=U^{2}∙10^{-3}/S$; (6)

Приведенное сопротивление:

$X\_{B-C}=\left(X\_{C}+X\_{1}\right)/Z$; (7)

$X\_{Н-B}=\left(X\_{C}+X\_{2}\right)/Z$; (8)

$X\_{C-Н}=\left(X\_{1}+X\_{2}\right)/Z$; (9)

$R\_{B-C}=R\_{Н-B}=R/Z$; (10)

$R\_{C-Н}=2∙R/Z$. (11)

Проведение расчетов потокораспределения и гармонического анализа показало, что два варианта представления сдвоенного реактора дают отличные друг от друга результаты. Так, при расчетах потокораспределения и использовании отличных схем сдвоенного реактора результаты моделирования будут расходиться (табл.1).

Таблица 1.Результаты расчета потокораспределения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | ТЭЦ-6, СШ-4 | Разница значений |
| Easy Power | DigSILENT | численное | процент, % |
| Напряжение, кВ | 6,200 | 6,200 | 0 | 0 |
| Активная мощность, МВт | 36,775 | 36,800 | 0,025 | 0,07 |
| Реактивная мощность, МВАр | 26,646 | 27,180 | 0,534 | 2,00 |

Как видно из таблицы 1, в зависимости от выбора способа представления сдвоенного реактора, отклонения данных, полученных при моделировании могут достигать 2%. В свою очередь данное отклонение будет влиять на принятие решения о величине мощности FACTS-устройств, необходимой для компенсации и повышения напряжения на шинах подстанций. Следует отметить что в настоящее время, особенно при реализации интернациональных проектов, по условиям Договора на выполнение работ Исполнитель несет «абсолютную ответственность» (юридический термин, означающий полное возмещение материального ущерба вне зависимости от вины причинителя). Качество составления схемы моделирования – важный этап работ, от которого будут зависеть все решения, принимаемые в дальнейшем, но не стоит забывать, что на результаты моделирования также оказывают влияние и другие факторы, такие как погрешность приборов измерения и погрешность самих программных комплексов, в которых происходит моделирование. Согласно статье [7]величина данных отклонений может достигать 19%, что не допустимо.

Литература:

1. ДПр-03/14.РР Отчет «Математическое моделирование схемы питания нагрузки ОАО «Братский целлюлозно-картонный комбинат» по шинопроводам ШП-3 и ШП-4». Расчеты. ООО «Международная Энергосберегающая Корпорация», г.Санкт-Петербург. 2014г.

2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

3. Брускин Д.Э, Зорохович А.Е, Хвостов В.С. Электрические машины. Учеб. для электротехн. спец. вузов. В 2-х ч. Ч. 2: — 2-е изд. М.: Высш. шк., 1987. - 335 с.

4. Копылов И.П. Электрические машины. Учеб. для электротехн. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1987. - 426 с.

5. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.

6. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

7. Балабанов М.С. Погрешности моделирования FACTS устройств / Балабанов М.С., Баранова Е.М. // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2015. – Вып.1. – С. 28-33.