

ООО «УГМК-Холдинг»

**Третья молодежная научно-практическая конференция
«Профессиональные знания и навыки молодежи – будущий
капитал Компании»**

Автоматизация производства, информационные технологии

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В
ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

ОАО «Уралмеханобр»

Авторы:

К.В. Макаричев

Е.А. Панкратов

Екатеринбург 2008

Аннотация

В настоящее время, электроснабжение является ключевым моментом в работе предприятия. Увеличение производительности промышленных предприятий напрямую связано с увеличением их электропотребления, что, в свою очередь, увеличивает капитальные затраты на объекты электроэнергетики.

Поэтому, на этапе проектирования очень важен точный расчет всех параметров энергосистемы, так как от их величины напрямую зависят капитальные затраты.

Создание математических моделей электропотребителей, а также математических моделей элементов системы электроснабжения в совокупности с анализом динамики системы, уже на стадии проекта позволит сделать точный расчет параметров оборудования (по сравнению с традиционными методами), следовательно оптимизировать капитальные затраты на энергосети.

На стадии эксплуатации энергосистем, математическая модель, выполненная в виде цифрового наблюдателя, позволит: снизить нагрузки на сеть, оценить перегрузочную способность сети, вносить рекомендации по подстройке параметров компенсационных устройств, а также осуществлять функции противоаварийной автоматики. Перечисленные функции цифрового наблюдателя позволят увеличить надежность работы энергосистемы. Следовательно, обеспечить бесперебойность работы технологического процесса.

Авторская справка

Макаричев Константин Владимирович
Главный специалист ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург
образование высшее, аспирант УГГУ
23 года.
тел. 8-912-68-048-48
(343)344-27-42*2071
e-mail: umoeta@umbr.ru

Панкратов Евгений Александрович
Инженер II категории ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург
образование высшее, аспирант УГГУ
24 года
тел. 8-950-2017494
(343)344-27-42*2028

В настоящее время, пожалуй, нет ни одного производства, в составе которого отсутствовала бы система электроснабжения. Зачастую, электрические сети современного промышленного предприятия представляют собой сложную систему с различными уровнями напряжения и различным диапазоном мощностей. Также, на сегодняшний момент сохраняется тенденция интеграции высокотехнологичных устройств в систему защиты и управления системой электроснабжения. Применение данных устройств позволяет повысить степень надежности оборудования. А следовательно, обеспечить бесперебойность электроснабжения промышленных установок – основной критерий качества электрической сети.

Безошибочное проектирование, включающее в себя, во-первых, точный расчет параметров энергосетей, а во-вторых, проработку всех возможных режимов работы энергосетей, является одной из основных составляющих, обеспечивающее безопасное и бесперебойное электроснабжение технологических установок.

Так каким же образом произвести оптимизацию параметров расчета по критерию минимизации погрешностей?

Существующие методы расчета систем электроснабжения основаны на статистических данных, эмпирических коэффициентах и т.д. Следовательно, обладают достаточно высокой погрешностью (>5%). В частности, большую долю составляет погрешность при определении электрических нагрузок. Сравнение расчетных и эксплуатационных параметров говорит о том, что её величина в ряде случаев достигает довольно большой величины (до 25-30%). И, как правило, в сторону увеличения. С точки зрения эксплуатации, это, безусловно, положительный момент, так как подразумевает наличие резерва мощности. Однако с другой стороны, завышение параметров (за исключением резерва мощности, предписанного нормативными документами) ведет к необоснованному увеличению капитальных затрат на строительство сетей.

Основным расчетом, влияющим на выбор оборудования, является расчет электрических нагрузок. Существующие методы расчета электрических нагрузок основаны на статистических коэффициентах, эмпирических коэффициентах, и в

любом случае, являются приближенными. Второй момент, благодаря которому не совсем верно мы можем определить величину электрической нагрузки – это то, что цифра получающаяся в результате расчета является статической. А реальная электрическая нагрузка предприятия – величина динамическая.

Одним из методов, позволяющих определить величину электрической нагрузки на различных элементах электрической сети, на мой взгляд, является метод математического моделирования.

Математической моделью называют математическое описание какого-либо процесса. Составить математическую модель - означает найти такое математическое описание какого-либо процесса, которое позволяет вычислить точное численное значение любой физической величины, участвующей в данном процессе.

В данном случае, для составления математической модели комплекса электрических нагрузок, достаточно для каждого электроприемника найти зависимость потребляемой мощности от времени. Далее, просуммировав данные зависимости, можно получить график нагрузки электрооборудования, как для различных участков электрической сети (трансформаторные подстанции, Распределительные устройства) так и для всей электрической сети в целом (шины главных понизительных подстанций).

Проанализировав полученный график нагрузок, имеется возможность наглядно определить величину пиковой нагрузки, получасовой максимум нагрузки, а также внести рекомендации по режиму включения электрооборудования, позволяющие либо линейризовать график нагрузки, либо сформировать форму графика исходя из минимизации затрат на электроэнергию.

Особенно такой способ определения электрических нагрузок будет актуальным при определении потребляемой мощности мощных электроприемников (подъемные машины, компрессоры, насосы, вентиляторы и пр), которые определяют до 60% всей электрической нагрузки предприятия.

В свою очередь, снижение величины пиковой нагрузки а также получасового максимума нагрузки позволит применить оборудование с меньшими эксплуатационными параметрами (мощности сетевых

трансформаторов, сечения кабелей и т.д.), следовательно, снизить капитальные затраты на объекты электроэнергетики.

Вторым важным моментом в проектировании является создание общей модели системы электроснабжения. В состав данной модели должны входить модули, с достаточной точностью описывающие элементы, входящие в состав системы. Таким образом, имея общую модель, имеется возможность проработать номинальные и аварийные режимы электрических сетей. в ряде случаев, определить максимальные эксплуатационные параметры оборудования, найти «узкие места», а также установить резерв мощности сети либо отдельных её ветвей. В частности, особенно актуальным является возможность проработки аварийных режимов сети: режима перегрузки, одно, двух и трехфазных коротких замыканий. В существующих методах расчета токов короткого замыкания имеется ряд допущений, которые снижают точность расчетов. На основании анализа математической модели электроснабжения в аварийных режимах имеется возможность для более точного расчета токов короткого замыкания, а следовательно и параметров релейной защиты.

Традиционные методы расчета релейной защиты основаны на эмпирических коэффициентах, которые зачастую задаются диапазоном значений. Погрешность определения уставок токовых защит в совокупности с погрешностью расчета токов короткого замыкания, а также разбросом параметров токовых реле ставит под вопрос надежность срабатывания защиты при аварийных режимах. Проработка действия релейной защиты на математической модели в совокупности с корректировкой значений уставок релейной защиты позволит повысить надежность отключения аварийных режимов, а также обеспечить надежную селективность действия защит. Что в свою очередь, также позволит сделать систему электроснабжения более надежной и безопасной.

Анализ математической модели системы электроснабжения позволит решить еще одну важную проблему, которая возникла в то время, когда на производстве в достаточно большом количестве появились регулируемые электроприводы. Это наличие гармонических составляющих тока и напряжения. Не секрет, что наличие гармонических составляющих в сети имеет ряд

негативных последствий, влияющих на работу электрооборудования. Применяв математический аппарат, довольно просто разложить функцию тока или напряжения в ряд Фурье и увидеть наличие гармонических составляющих в сети, оценить их порядок и амплитуду. Эти данные позволят вынести решение о необходимости компенсации высших гармоник, а также рассчитать параметры фильтров высших гармоник.

При определенном стечении обстоятельств, таких как наличие гармонических составляющих в сети, а также определенных параметрах сети (величины индуктивности и емкости), может возникнуть резонанс высших гармоник, что может привести к плачевным последствиям. Анализ математической модели на стадии проектирования позволит оценить вероятность возникновения резонансов токов и напряжений в сети, а следовательно, обеспечить проработку мер по снижению вероятности возникновения резонансных явлений.

Следующим важным этапом применения математической модели системы электроснабжения является её интеграция с действующей системой электроснабжения.

На данном этапе математическая модель превращается в иной блок, называемый «Цифровым наблюдателем». Цифровой наблюдатель представляет собой математическую модель элемента системы, для работы которой в качестве входных параметров используются не математические константы, а реальные значения электрических параметров снятых с датчиков токов и напряжений. Цифровой наблюдатель, в отличие от математической модели работает в режиме реального времени.

Цифровой наблюдатель, в общем случае, можно выразить в виде блока с передаточной функцией $W(p_1, p_2, \dots, p_n)$. Блок в режиме реального времени отсчитывает выходные параметры на основе входных величин..

Ключевой составляющей цифрового наблюдателя является блок сравнения. Здесь осуществляется сравнение параметров вычисленных и реальных значений. Большие расхождения вычисленных значений и измеренных означает, что передаточная функция цифрового наблюдателя не соответствует передаточной

функции реального элемента. Что в свою очередь говорит о том, что реальный элемент работает в несвойственном ему режиме. Зачастую такой режим является аварийным. Такой подход дает возможность не только определить наличие аварийного режима, но и при определенном анализе математической модели, отследить, что же является причиной этих отклонений.

Немаловажной функцией цифрового наблюдателя является отслеживание параметров настройки фильтров высших гармоник. Фильтры высших гармоник имеют определенную настройку на параметры сети. Проблема в том, что с течением времени параметры сети меняются, а параметры настройки фильтров нет. В результате чего компенсационная способность фильтров сходит на нет. Разложение функций токов и напряжений в ряд Фурье, в режиме реального времени позволит отследить амплитуду высших гармоник. Более детальный анализ позволит внести рекомендации по настройке фильтров.

Анализ амплитуд и частот высших гармоник, в совокупности с вычисленными значениями индуктивности и емкости сети при помощи математического аппарата позволит предупредить резонансные явления в сети.

Другой важной функцией цифрового наблюдателя может быть отслеживание скорости изменения тока в сети. Резкое увеличение скорости нарастания тока является «тревожным сигналом». Если скорость увеличилась в разы – налицо режим короткого замыкания. В данном случае, имеется возможность отключить поврежденную ветку прежде чем ток короткого замыкания «в очередной раз испытает систему на прочность».

Уменьшение времени действия токовых защит в ряде случаев может повлиять на технические параметры применяемого оборудования, а также снизить динамические нагрузки на оборудование в режиме короткого замыкания путем снижения времени действия тока короткого замыкания.

В настоящее время, математическая модель системы электроснабжения в полной мере не применяется ни на одном объекте энергетики в России. К электрооборудованию, в котором в основе лежит принцип цифрового наблюдателя на настоящий момент можно отнести лишь частотные

преобразователи с векторной системой управления. На объектах электроснабжения такой принцип не применяется.

В заключении стоит отметить то, что идея использования цифрового наблюдателя в системах электроснабжения имеет смысл, когда сеть спроектирована с применением математической модели. В данном случае достаточно заменить константы математической модели сигналами с датчиков и запустить модель в режиме реального времени, и она примет на себя функцию цифрового наблюдателя.

С практической точки зрения, цифровой наблюдатель должен быть выполнен на основе двух модулей. Первый модуль представляет собой процессор обладающий высоким быстродействием, и вычисляющий необходимые значения «на лету». Далее, эти данные передаются в другой модуль, где совершается дальнейшая обработка данных, а также их аккумулярование и передача на более высокий уровень автоматизации.

На систему с высокой скоростью обработки данных имеет смысл возложить функции противоаварийной автоматики. На более «медленные» модули необходимо возложить функции анализа гармонических составляющих, а также контроль над невостребованными ресурсами сети. Т.е. те задачи, для которых время выполнения не критично.

Следует также отметить, что избыточная информационность системы цифрового наблюдателя предоставляет возможность без применения каких-либо дополнительных технических средств обеспечить считывание любого параметра системы, а также реализовать систему автоматического контроля и учета электроэнергии, поскольку датчики тока и напряжения, применяемые в системе цифрового наблюдателя должны обладать минимально возможной погрешностью измерения.

Отзыв

Варианты решения технических вопросов, направленных на оптимизацию параметров электрических сетей предприятия, которые представленных в данном докладе, в целом, являются новыми. На текущий момент, подобного рода подход к решению технических задач применяется в небольшой степени только в системах управляемого электропривода. Однако, сегодня сохраняется тенденция расширения спектра задач, как в проектирования так и в эксплуатации электрооборудования, где математическая модель может сыграть немаловажную роль.

Особенно интересным сейчас является предложенный метод отслеживания уровней высших гармоник в электрических сетях. В частности, на текущий момент необходимость установки такой отслеживающей системы присутствует на ОАО «Гайский ГОК», где в связи с увеличением производительности рудника устанавливается большое количество мощных управляемых приводов.

Предложенный подход к решению технических задач электроснабжения может быть использован практически в любых электрических сетях. В частности, имеет определенный смысл применять систему цифровых наблюдателей на основных узлах системы электроснабжения от которых зависит непрерывность технологического процесса, а также безопасность людей. Таких как ГПП, РУ-6/10кВ при ГПП, основные распределительные устройства.

Работа была выполнена авторами самостоятельно в полном объеме.

Начальник электротехнического
сектора Горного отдела

О.В. Субботина

Зам. Генерального директора
по персоналу

П.Ю. Егоров