

$$f_3 = 3 \frac{pn}{60} = \frac{3n}{20}$$

При $n = 250$ об/мин. частота $f_3 = 37,5$ Гц.

И наконец, эта ЭДС создает в обмотке ротора агрегата 4 - w_{p4} трехфазный ток, который, будучи все также соединен со встречным чередованием фаз по отношению к w_{p3} , создает магнитное поле, вращающееся в ту же сторону, что и ротор. Скорость вращения этого магнитного поля равна:

$$n_3 = \frac{60f_3}{p} = 3n$$

Следовательно, в обмотке статора агрегата 4 наводится ЭДС с частотой $f = f_4 = 4f_1$. При $n = 250$ об/мин. частота $f_4 = 50$ Гц.

Вместе с ростом частоты от ступени к ступени возрастает выходная мощность каждого агрегата в соответствии с известной формулой асинхронной машины.

$$P_p = P_{эм} s,$$

где $P_{эм}$ – электромагнитная мощность, передаваемая от статора к ротору; P_p – мощность, теряемая в цепи ротора; s – скольжение ротора (отношение его скорости вращения к скорости вращения магнитного поля, создаваемого током статора), получаем следующую формулу:

$$P_p \cong P_c \frac{f_p}{f_c},$$

где $P_c = P_{эм} + \Delta P_c$ – мощность, подводимая к статорной обмотке; ΔP_c – потери в статорной обмотке и в стали сердечника статора.

Если пренебречь в первом приближении потерями ΔP_c , мы и получим формулу (5), так как $s = f_p/f_c$. В нашем каскаде ротор и статор каждого агрегата поочередно меняются местами, поэтому более правильно говорить о первичной и вторичной обмотках, но суть от этого не меняется – выходная мощность каждой ступени возрастает пропорционально частоте.

Каскадный синхронно-асинхронный бесконтактный генератор может быть использован в качестве тихоходного источника электроэнергии взамен многополюсных синхронных машин. При проектировании каскада следует его первую ступень – синхронный генератор – выполнить явнополюсным для уменьшения индуктивного сопротивления реакции якоря. Обмотку возбуждения синхронного генератора следует спроектировать с учетом размагничивающего действия продольной реакции якоря примерно в 2–3 раза больше, чем у стандартных машин соответствующей мощности.

Список литературы:

1. Шапиро С.В. Каскадный синхронно-асинхронный генератор [Текст] / С.В. Шапиро, В.А. Кулинич // Электротехника. – № 1. – 2002 г. – С. 25–28.
2. Патент № 17363 Российская Федерация, МПК7 G01B13/00 Синхронный тихоходный генератор [Текст] / С.В. Шапиро, В.А. Кулинич.; заявитель и патентообладатель Уфимский технологический институт сервиса (RU). – № 2000118870/20; заявл. 17.07.2000; опубл. 27.03.01.
3. <http://cyberleninka.ru/article/n/kaskadnyy-beskontaktnyy-chetyrehstupenchatyy-generator>

О необходимости разработки стандарта, регламентирующего общие требования к проектированию схем выдачи мощности электростанций малой мощности

Абеуов Р.Б.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

E-mail: Abeuov_rb@list.ru

Электростанции малой мощности (ЭСММ), к которым в основном относятся газотурбинные (ГТЭС) и газопоршневые (ГПЭС) электростанции, в последние два десятилетия получили широкое распространение в электроэнергетике Российской Федерации.

Основная доля уже эксплуатируемых и вновь вводимых электростанций малой мощности приходится на нефтегазодобывающие районы страны. Такая тенденция является оправданной, поскольку потребители электрической энергии нефтегазовых месторождений, как правило, распределены по значительной территории, единичные мощности нагрузок таких потребителей

являются относительно небольшими, при этом в непосредственной близости от потребителей электрической энергии имеются значительные запасы попутного газа, извлекаемого при добыче нефти. Кроме того, значительная загруженность и изношенность электрических сетей системы централизованного электроснабжения, а также нецелесообразность и высокая стоимость строительства крупных тепловых электростанций, являются факторами, сдерживающими рост электрических нагрузок в указанных районах и обосновывающими необходимость ввода ЭСММ.

Во многом катализатором бурного роста генерирующих мощностей в нефтегазодобывающих районах страны, основу которых составляют газотурбинные и газопоршневые электростанции стало появление Постановления Правительства РФ №7 от 8 января 2009 г. «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках».

Установленная мощность таких электростанций, как правило, соизмерима с мощностью электрических нагрузок месторождений, в которых они вводятся. Однако во многом установленная мощность электростанций малой мощности зависит от запасов попутного газа на месторождениях. В энергосистемах Российской Федерации наибольшее распространение получили электростанции малой мощности с силовыми установками до 12 МВт, созданные на базе авиационных и судовых силовых двигателей [1].

Основными конструктивными особенностями таких силовых установок, влияющими на режимы их работы в составе энергосистем, являются:

Небольшие значения постоянных инерций вращающихся частей, определяющие маневренность агрегатов ЭСММ и достаточно высокую скорость протекания электромеханических переходных процессов при внешних возмущениях в ЭЭС.

Газовые турбины (ГТ) обладают худшей управляемостью по сравнению с паровыми турбинами (ПТ). Если у ПТ система управления воздействует непосредственно на подачу рабочего тела в турбину, то у ГТ регулирование осуществляется изменением подачи топлива или воздуха в камеру сгорания при неизменной производительности компрессора. В результате, регулирование скорости вращения турбоагрегата осуществляется медленнее, чем у паровой турбины, отсутствует и возможность импульсной разгрузки газовой турбины при аварийных сбросах электрической нагрузки. Несовершенная система регулирования ГТ не обеспечивает сохранения агрегатов в работе при полных сбросах мощности [2].

В настоящее время генераторы большинства электростанций малой мощности снабжены автоматическими регуляторами возбуждения (АРВ) пропорционального типа, которые, как известно, не позволяют обеспечить высоких пределов статической устойчивости ЭЭС. При этом многие генераторы ЭСММ оснащены упрощёнными статическими тиристорными системами возбуждения. Недостатком таких систем возбуждения является отсутствие у них последовательных силовых трансформаторов, используемых в схемах их питания от шин электростанции. При отсутствии таких трансформаторов близкие короткие замыкания вызывают не форсировку, а расфорсировку возбуждения [3].

Влияние конструктивных особенностей силовых агрегатов ЭСММ и их систем управления на режимы работы электростанций в составе энергосистем необходимо оценивать ещё на ранних этапах проектирования.

Помимо конструктивных особенностей электростанций малой мощности на режимы их работы в составе ЭЭС значительное влияние оказывает способ эксплуатации. Электростанции малой мощности работают, либо в составе автономных энергосистем, там они составляют основу генерации, либо по линиям электропередачи параллельно с энергосистемами, входящими в ЕЭС России.

При автономном режиме работы на электростанцию малой мощности ложатся все задачи регулирования напряжения и частоты.

Характер работы электростанции малой мощности в составе автономных энергосистем во многом зависит от величины мощности нагрузки, частоты и глубины её колебаний, а также наличия в её составе мощных синхронных и асинхронных двигателей. Электростанция малой мощности, работая в регулировочном режиме, должна обеспечивать надёжное электроснабжение потребителей при сбросах и набросах нагрузок, а также пусках синхронных и асинхронных двигателей. При этом в случае останова электростанции произойдёт полная потеря электроснабжения потребителей, так как в отличие от ЭСММ, работающих в составе централизованных энергосистем, при автономной работе практически отсутствует возможность резервирования электроснабжения потребителей. В автономном режиме работы электростанции малой мощности эксплуатируются в основном в удалённых районах страны, в которых

невозможна, либо очень затратна организация электроснабжения потребителей от системы централизованного электроснабжения.

Включение автономно работающих и подключение новых электростанций малой мощности к централизованной энергосистеме осуществляется в следующих случаях:

Возникает необходимость и появляется техническая возможность подключения автономно работающего энергорайона с ЭСММ к централизованной энергосистеме для повышения надёжности электроснабжения потребителей.

Появляется возможность полного или частичного перевода электроснабжения потребителей энергорайона от централизованной ЭЭС к источнику с более низкой стоимостью электрической энергии, при этом для обеспечения надёжности электроснабжения связь с централизованной энергосистемой сохраняется. Высокая загрузка существующих электрических сетей централизованной энергосистемы сдерживает рост электрических нагрузок в энергорайоне.

Проведенные исследования, а также анализ опыта эксплуатации электростанций малой мощности показал, что их подключение к электрическим сетям энергосистемы сопряжено с появлением целого ряда эксплуатационных задач, требующих решения [4], основными из которых являются:

Обеспечение нормируемого значения частоты в энергорайоне с электростанцией малой мощности при системных авариях в энергосистеме.

При возникновении системной аварии, повлекшей за собой недопустимое снижение частоты в ЭЭС, генераторы ЭСММ, работающие параллельно с энергосистемой, будут отключены технологическими защитами, что в свою очередь приведет к еще большему снижению частоты и массовому нарушению электроснабжения потребителей энергорайона, в котором эксплуатируется ЭСММ. Обеспечение нормируемых значений напряжений на подстанциях энергорайона с электростанцией малой мощности при системных авариях в энергосистеме.

Недопустимое снижение напряжения в результате системной аварии в ЭЭС может повлечь за собой возникновение лавины напряжения, которая приведёт к массовому нарушению электроснабжения потребителей и останову агрегатов ЭСММ.

Обеспечение статической устойчивости энергосистем с электростанциями малой мощности.

Нарушение статической устойчивости может произойти в результате возникновения аварийных возмущений на слабых связях энергосистемы, обладающих низкими пределами передаваемой мощности по условию обеспечения статической устойчивости.

Обеспечение динамической устойчивости генераторов электростанций малой мощности при параллельной работе с энергосистемой.

Нарушение динамической устойчивости генераторов ЭСММ может произойти при авариях, вызванных значительными возмущениями в энергосистеме, такими как короткие замыкания, отключения крупных блоков электростанций и т.д.

Наиболее частыми причинами нарушения динамической устойчивости являются затяжные короткие замыкания. Их возникновение в электрической сети ЭЭС может привести к выпадению из синхронизма генераторов электростанций малой мощности, что еще более усугубляется малыми значениями постоянных инерций таких агрегатов.

Обеспечение уменьшения подпитки места короткого замыкания (КЗ) от электростанций малой мощности при параллельной работе с энергосистемой.

Появление генераторов на среднем или низком напряжении подстанции распределительной сети приводит к утяжелению режима короткого замыкания в ЭЭС, поскольку генераторы ЭСММ выступают в качестве источников подпитки места короткого замыкания, тем самым увеличивая значение тока КЗ.

Наличие подпитки места короткого замыкания от электростанции малой мощности во многом зависит от режима заземления нейтрали трансформаторов подстанции, через которую осуществляется подключение энергорайона с ЭСММ к электрической сети энергосистемы.

У многих подстанций распределительной сети нейтрали трансформаторов не заземлены, что может повлечь за собой угрозу перенапряжения в них. Это обстоятельство делает необходимым заземление нейтралей хотя бы части трансформаторов, что в свою очередь потребует пересчёта уставок устройств релейной защиты и их перенастройки, на что сетевые компании идут крайне неохотно.

Обеспечение необходимости замены устройств автоматики и перенастройки устройств релейной защиты на существующих электросетевых объектах.

В связи с подключением к энергосистеме энергорайона с ЭСММ или отдельной электростанции к существующей подстанции распределительной сети возникает необходимость в

замене устройств сетевой автоматики и перенастройке устройств релейной защиты на уже эксплуатируемых электросетевых объектах. Это обусловлено тем, что распределительная сеть с односторонним питанием с появлением в её составе ЭСММ преобразуется в электрическую сеть с двухсторонним питанием. Потребуется замена автоматики повторного включения (АПВ) на всех воздушных линиях электропередачи, входящих в схему выдачи мощности ЭСММ, на АПВ с контролем синхронизма. Кроме того, на подстанциях распределительной сети необходимо выполнить замену автоматики включения резерва (АВР) на АВР с контролем синхронизма. Перечисленные мероприятия, также требуют от сетевых компаний дополнительных финансовых затрат.

Оценка возможности возникновения каких-либо из перечисленных проблем в процессе эксплуатации ЭСММ при параллельной работе с концентрированной энергосистемой должна осуществляться на первых этапах проектирования при разработке схемы выдачи мощности электростанции.

В настоящее время для разработки схем выдачи мощности электростанций, как крупных – тепловых и гидравлических, так и малой мощности – газотурбинных и газопоршневых, проектными организациями используется стандарт РАО «ЕЭС России» «Определение предварительных технических решений по выдаче мощности электростанций». Однако этот стандарт, в большей степени, ориентирован на разработку схем выдачи мощности крупных электростанций, осуществляющих выдачу значительной части вырабатываемой электрической энергии в сеть энергосистемы, и не учитывает особенности эксплуатации электростанций малой мощности, к которым можно отнести следующие:

Электростанции малой мощности подключаются, в основном, к шинам низкого напряжения подстанций распределительной электрической сети. В схему выдачи мощности электростанций малой мощности входят существующие линии электропередач распределительной электрической сети. Большая часть вырабатываемой электростанциями малой мощности электрической энергии потребляется по месту её выработки.

Эксплуатация электростанций малой мощности осуществляется в распределительных электрических сетях с изолированной нейтралью.

Для учёта особенностей эксплуатации ЭСММ, при проектировании схем выдачи мощности требуется доработка существующего или разработка нового стандарта, регламентирующего требования к разработке схем выдачи мощности ЭСММ.

Разработка подобного документа, регламентирующего чёткие требования к проектированию схем выдачи мощности ЭСММ, позволило бы подвести единую нормативную базу по данному вопросу и в будущем значительно упростить процедуру проектирования и согласования проектной документации.

Список литературы:

1. Борисов Ю.В., Гуревич Ю.Е., Пойдо А.И., Хвоцинская З.Г. О применении газотурбинных генераторов в энергосистемах России // *Электричество*. – 1995. – № 11. – С. 2–7.
2. Гуревич Ю.Е., Каспаров Э.А., Лабунец И.А., Хвоцинская З.Г., Шакарян Ю.Г. О применении турбогенераторов различных типов на парогазовых и газотурбинных станциях // *Электричество*. – 1996. – № 4. – С. 2–7.
3. Гуревич Ю.Е., Мамиконянц Л.Г., Шакарян Ю.Г. Проблемы обеспечения надёжного электроснабжения потребителей от газотурбинных электростанций небольшой мощности // *Электричество*. – 2002. – № 2. – С. 2–9.
4. Шабалина Ю.В., Абеуов Р.Б. О проблемах подключения энергорайонов с электростанциями малой мощности к электрическим сетям энергосистем // *Интеллектуальные энергосистемы: сб. трудов II междунар. молодёжного форума, Томск, 6-10 октября 2014 г. / ТПУ*. – Томск, 2014. – Т. 2. – С. 179-183.

Расчет солнечной электроустановки

Ахмадуллин Р.З., Афлятонов Р.Ф., Вавилов В.Я.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия, г. Уфа

E-mail: Rushan4ek@mail.ru

Для эффективного применения солнечных электроустановок (СЭС) необходимо автоматизировать процесс технических расчётов.