

УДК 621.316.925

А.Н.Кудряшов (6 курс, каф. ЭСиАЭС), А.К.Черновец, д.т.н., проф.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ СЕРИИ ТВМ И ИХ РОЛЬ В УЛУЧШЕНИИ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ

В настоящее время большинство турбогенераторов средней мощности имеют систему охлаждения, в которой используется водород. Водород представляет собой потенциально пожаро-взрывоопасную среду, кроме того водородное хозяйство имеет сложную структуру и его эксплуатация связана с определенными трудностями. Поэтому мировая тенденция в турбогенераторостроении – это переход на безводородные турбогенераторы.

Поэтому целесообразным представляется развитие турбогенераторов серии ТВМ - турбогенератор с водяным охлаждением ротора и масляным охлаждением статора. Наиболее полное выражение и наилучшие характеристики система ТВМ нашла в турбогенераторе ТВМ-500, находящемся в эксплуатации.

Основное достижение ТВМ – конструкция статора. Использование изоляционной жидкости позволило отказаться от герметизации охлаждающих каналов и перейти к герметизации самого статора. Сердечник с обмоткой полностью погрузили в изоляционную жидкость, герметизировали и отделили от ротора специальным цилиндром из изоляционного материала. Жидкость подается на одну сторону статора и сливается с другой. Стержни обмотки статора в ТВМ-500 состоят только из сплошных проводников, между рядами которых проходит охлаждающая жидкость - отказ от применения полых проводников значительно снизил добавочные потери от полей рассеивания. При этом бумажно-масляная изоляция выполнена и испытана на 36,75 кВ - напряжение практически недостижимое для обычно применяемой в турбогенераторах стеклослюденитовой изоляции. На основании проведенных работ была принята односторонняя толщина корпусной изоляции 7 мм. Для этой толщины изоляции среднее значение напряжения появления частичных разрядов равно 8,1 кВ/мм, что более чем в 2,5 раза превышает рабочий градиент напряжения. Каждая фаза обмотки статора выдержала испытания повышенным напряжением переменного тока $2U_n + 1$ кВ=74,5 кВ.

В турбогенераторе ТВМ-500 применено водяное охлаждение обмотки ротора, для сведения к минимуму уноса меди из-за коррозии, эрозии и возможных кавитационных явлений скорость дистиллята в каналах обмотки ротора уменьшена до 3,5 м/с.

Все это позволило создать турбогенератор мощностью 500 МВт в габаритах турбогенератора 300 МВт.

Высокая эффективность жидкостного охлаждения на порядок снизила уровень нагрева активных и конструктивных материалов и увеличила тепловой запас, который расширяет возможности работы в перегрузочных и аномальных режимах, а бумажно-масляная изоляция обмотки статора обладает для этого солидным запасом электрической прочности.

Вибрационные характеристики ротора определялись как расчетом, так и на стенде. По данным измерений уровень вибраций на опорах не превысил 14 мкм (двойная амплитуда). Вибрация сердечника и корпуса статора в режиме х.х. при номинальном напряжении составила 54 и 24 мкм соответственно. Максимальная вибрация лобовых частей обмотки статора в режиме установившегося к.з. при номинальном токе 60...70 мкм. Опытный к.п.д. составил 98,92 %. Статор турбогенератора выдержал испытания на маслоплотность давлением $5 \cdot 10^5$ Па в течении 24 ч, ротор – давлением $75 \cdot 10^5$ Па в течение 4 ч.

Тепловые испытания и исследования были проведены в различных установившихся режимах, в том числе в режиме х.х. при напряжении, равном 1,167 номинального, двухфазного к.з. при токе, равном 1,1 номинального, двухфазного к.з. при токе обратной

последовательности, равном 0,08 номинального. Наибольшее превышение температуры обмотки статора по заложенным термометрам при номинальном токе составило 29,8°C, конструктивных элементов статора (деталь корпуса) 45,6°C, поверхности крайнего пакета 35,2°C, сердечника статора в режиме х.х. при напряжении 1,167 номинального 26,1 °С. Из режима установившегося двухфазного к.з. при токе обратной последовательности, равном 0,08 номинального превышение температуры бочки ротора составило 48,9°C, демпферной гребенки 49,6°C и бандажа обмотки ротора 34,8 °С. По результатам испытаний в косвенных режимах выявлено, что ТГ ТВМ-500 имеет большие запасы по нагреву активных и конструктивных элементов.

В настоящее время построено и находится в эксплуатации на Рефтинской ГРЭС три турбогенератора ТВМ-500. Используя достижения ТВМ-500, в 1995-96 годах изготовлено шесть турбогенераторов ТВМ-160 (160 МВт, 18 кВ) для трех станций в Китае. Четыре турбогенератора ТВМ-300 (300 МВт, 20 кВ) эксплуатируются на Каширской ГРЭС с 1968 года.

Выводы. Повышенная надежность турбогенератора ТВМ-500 обуславливается: низким уровнем температур активных и конструктивных частей генератора; наличием тепловых запасов, обеспечивающих возможность повышенных нагрузок и аномальных режимов; повышенным запасом электрической прочности изоляции обмотки статора; простотой системы подвода охлаждающего агента в обмотку статора, осуществляемого в маслозаполненных полостях лобовых частей; простотой и надежностью водоподводов к обмотке ротора.

В турбогенераторе ТВМ-500 достигнуто повышение к.п.д. на 0,1...0,2% за счет снижения потерь: на вентиляцию; в обмотке статора благодаря применению сплошных проводников уменьшенной высоты; в скошенных крайних пакетах сердечника статора.

Турбогенератор ТВМ-500 имеет уменьшенные габариты и массу за счет отсутствия водяных охладителей, радиальных охлаждающих каналов в сердечнике, каналов в корпусе, уменьшения расстояния от токоведущих частей до корпуса.

По данным испытаний турбогенератор ТВМ-500 может длительно работать при активной нагрузке, равной 1,1 номинальной, и коэффициенте мощности 0,9 (опережающем). Турбогенераторы серии ТВМ обладают высокой перегрузочной способностью, а также расширенными возможностями работы в режиме потребления реактивной мощности и при асинхронном ходе.

Применение в турбогенераторе ТВМ-500 таких конструктивных решений, как шихтованный клееный концевой скошенный пакет, стержень с щелевым каналом, изоляция обмотки статора на напряжение класса 35 кВ, водяное охлаждение поверхности бочки ротора, обеспечивает практическую базу для создания турбогенераторов с водомасляной системой охлаждения единичной мощностью 800...1200 МВт, которые будут отличаться более высоким к.п.д., меньшей удельной массой и возможностью работы в аномальных и перегрузочных режимах.