

Планирование режима работы Токтогульского водохранилища осуществляется на несколько лет вперед и корректируется после сбора данных по снегонакоплению и ожидаемому притоку воды. Работа каскада Нарынских ГЭС ведется круглосуточно в режиме реального времени с необходимостью корректировки при малейших изменениях. Промежуточный контроль режима работы каскада осуществляется каждый нечетный час. При этом с каждой станции передается следующая информация:

- отметка верхнего бьефа ГЭС (м) снимается с прибора или мерной планки установленной на плотине ГЭС со стороны водохранилища.

- мощность (МВт) снимается с мегаваттметров на главном щите ГЭС

- расход воды (м³/сек), из-за отсутствия гидротехнических приборов на станциях, рассчитывается вручную, исходя из удельного коэффициента, действующего в текущих условиях.

Таким же образом формируются основные параметры энергосистемы - суммарная генерация вручную собирается и вносится в программу дежурным обслуживающим ОИК с дискретностью в 2 часа. Ситуация плачевная, ни о какой оперативности и достоверности не может быть и речи. В условиях повсеместной автоматизации и совершенствования систем управления технологическими процессами энергосистема Кыргызстана движется в обратном направлении.

В составе комплекса АСДУ энергосистемы Кыргызстана необходимы разработка и внедрение подсистемы, осуществляющей управление режимом каскада Нарынских ГЭС. На каждой ГЭС нужно установить систему непрерывного сбора информации основных параметров:

- состояние каждого генератора (работа, резерв, ремонт),

- нагрузка каждого генератора (активная, реактивная мощность, ток),

- состояние и нагрузка ЛЭП-500-110 кВ, через которые осуществляется выдача мощности станции,

- уровень воды верхнего и нижнего бьефов,

- приток и расход воды на станции,

- а также другие параметры в зависимости от сложности комплекса. Возможна передача этих данных через систему ОИК или SCADA.

На каждой станции также необходимо установить исполнительные органы, воздействующие на загрузку (а возможно, и включение и отключение) каждого генератора в отдельности.

Основной центральный орган подсистемы с программным обеспечением, исходя из балансовой принадлежности, должен быть установлен на ТГЭС, и, возможно, резервный центральный орган «расположить» на ПС Датка имеющей оптико-волоконные каналы связи с ПС Кристалл и с северной частью энергосистемы Кыргызстана. При этом должны быть обеспечены надежные каналы связи с комплексом АСДУ энергосистемы Кыргызстана, расположенном на Центральном диспетчерском пункте энергосистемы для передачи на него исходных параметров и обратной передачи задания на изменение нагрузки станций каскада. Формирование задания на изменение нагрузки станций каскада должно происходить исходя из суммарной генерации энергосистемы, изменения потребления, планового графика сальдо-переток, режима работы сетей и требований системной и противоаварийной автоматики. Кроме того, Центральный орган управления режимом работы каскада должен быть обязательно связан с системой АРЧМ.

Список литературы

1. Тулебердиев Ж.Т., Рахимов К.Р., Беляков Ю.П. Развитие энергетики Кыргызстана. Бишкек, 1997.
2. Совалов С.А. Автоматизация управления энергообъединениями. М., «Энергия», 1979.

References

1. Tuleberdiyev Zh.T., Rakhimov K.R., Belyakov Y.P. Development of power industry of Kyrgyzstan. Bishkek, 1997.
2. Sovalov S. A. Automation of management of power associations. M, "Energy", 1979.

УДК 621.311

РАСЧЕТЫ АСИНХРОННЫХ РЕЖИМОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ПОТЕРЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Джунуев Тилеген Абдымомунович, профессор, Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66

Абдылдаева Мэрим Таалайбековна, преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66.

Джунуев Тимур Тилегенович, старший преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66.

Цель работы – расчеты асинхронных режимов при потере возбуждения и сравнение результатов с опытными данными применительно к турбогенератору мощностью 25 мвт. Возможность работы генераторов без возбуждения повышает надежность снабжения энергией потребителей и снижает аварийность, так как при

потере возбуждения не вызванной причинами, угрожающими сохранности генераторов, они могут быть оставлены в работе в асинхронном режиме.

За время работы в асинхронном режиме можно выяснить причину потери возбуждения и принять меры к его восстановлению от своего или резервного возбудителя. Здесь существенным является то, что возможность кратковременной работы в асинхронном режиме позволяет значительно упростить переход на резервное возбуждение.

Ключевые слова: асинхронный режим, система возбуждения, скольжение, активная мощность, электрическая система, напряжение, ток статора, ток ротора, реактивное сопротивление, активное сопротивление.

SETTLEMENTS IN ASYNCHRONOUSLY FIELD LOSS

Dzhunuyev Tilegen Abdymomunovich, professor, KGTU of I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira Ave., 66.

Abdyldaeva Meerim Taalaybekovna, teacher, KSTU. I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira ave., 66.

Dzhunuyev Timur Tilegenovich, the senior teacher, KGTU of I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira Ave., 66.

The work purpose – calculations of the asynchronous modes at loss of excitement and comparison of results with skilled data in relation to a turbogenerator, 25 MW. Possibility of operation of generators without excitement increases reliability of supply with energy of consumers and reduces accident rate as at loss of excitement by not caused reasons menacing to safety of generators they can be left in work in the asynchronous mode.

For operating time in the asynchronous mode it is possible to find out the reason of loss of excitement and to take measures to its restoration from the or reserve activator. Here that possibility of short-term work in the asynchronous mode allows to simplify transition to reserve excitement considerably is essential.

Keywords: asynchronous mode, system of excitement, sliding, active power, electric system, tension, stator current, rotor current, jet resistance, active resistance.

В настоящее время существует много работ посвященных асинхронным режимам. Многое в этом вопросе оставалось не выясненным, в частности, касающихся турбогенераторов, о поведении которых при асинхронных режимах до последнего времени существовало неправильное представление [1].

Так, из работ, посвященных этому вопросу, опубликованных преимущественно за границей, вытекало, что момент, развиваемый синхронным генератором, при асинхронном режиме невелик.

Этот вывод распространялся как на явнополюсные, так и неявнополюсные генераторы, и было широко распространено мнение, что асинхронный режим для всех генераторов недопустим. Считалось, что турбогенераторы, потерявшие возбуждение, перейдут в асинхронный режим и смогут отдавать номинальную активную мощность только при скольжениях $2 \div 5\%$. При таких скольжениях в роторе будут иметь место потери, в несколько раз превышающие нормальные потери, поэтому такой режим считался опасным для машины. Практически это выражалось в том, что при потере возбуждения требовалось немедленное отключение от сети синхронных генераторов, включая и турбогенераторы.

При потере возбуждения магнитный поток, создаваемый током ротора, будет уменьшаться до нуля по экспоненциальному закону, в результате чего генератор начнет потреблять из сети реактивную мощность и электромагнитный момент генератора будет уменьшаться. При некотором значении тока возбуждения синхронный электромагнитный момент генератора станет меньше вращающего момента турбины, и генератор выпадет из синхронизма. Под действием вращающего момента турбины скорость вращения ротора будет увеличиваться сверхсинхронной, в результате чего под воздействием вращающегося потока, создаваемого намагничивающим током статора, в роторных контурах будут наводиться токи, имеющие частоту скольжения. Эти токи создадут тормозящий асинхронный момент и генератор начнет отдавать активную мощность в сеть при работе в асинхронном режиме. Скорость будет увеличиваться до тех пор, пока не наступит равенство между моментом, развиваемый турбиной, и асинхронным тормозящим моментом на валу генератора. При увеличении скорости регулирования турбина будет действовать в направлении закрытия выпуска пара в турбину, т.е. на снижение мощности. Поэтому при потере возбуждения мощность, отдаваемая в сеть, будет, как правило, несколько меньше мощности, которая была бы до потери возбуждения.

Величина нагрузки, при которой наступит новый установившийся режим, будет зависеть от характеристики регулирования турбины, с одной стороны, и характеристики асинхронного момента генератора, - с другой. Если кривая асинхронного момента, развиваемого генератором, "жесткая", т.е. при значительном увеличении момента скольжение изменяется незначительно, и максимальный момент, который может развить машина, велик, то равновесие наступит при небольшом скольжении, и генератор или сохранит нагрузку полностью, или уменьшит ее незначительно. Если же кривая асинхронного момента генератора такова, что при сравнительно небольших изменениях момента скольжение изменится значительно, то равновесие может

наступить только при большом скольжении. И, наконец, при малом значении максимального момента, который может развить генератор при асинхронном режиме, равновесие может не наступить вовсе.

Как во втором, так и в третьем случае, вследствие значительного увеличения скорости регулирования турбина или значительно уменьшит нагрузку, или уменьшит ее до нуля.

Явнополюсные машины и, в частности, гидрогенераторы, не имеющие демпферных обмоток, не могут развить большого асинхронного момента (не превышает 0,5÷0,6 от номинального), поэтому при потере возбуждения они значительно увеличивают скорость и уменьшают нагрузку почти до нуля. Естественно, что такие машины в случае потери возбуждения необходимо быстро отключать от сети.

Несколько лучше ведут себя гидрогенераторы с демпферными обмотками. Длительная работа гидрогенераторов в асинхронном режиме не может быть также допущена потому, что они имеют малое синхронное реактивное сопротивление и при потере возбуждения, даже не неся активной нагрузки, потребляют из сети ток порядка номинального, а часто и значительно больший. Поэтому длительная работа гидрогенераторов в асинхронном режиме не может быть допущена. Речь может идти лишь о кратковременной работе в течение нескольких секунд, достаточных для попытки быстрого восстановления возбуждения (путем обратного включения АГП при его случайных отключениях).

Турбогенераторы при малых скольжениях имеют очень жесткую характеристику асинхронного момента и могут работать со значительной активной нагрузкой. При таких скольжениях асинхронный режим не представляет опасности для генератора и вполне может быть допущен. После восстановления возбуждения генератор, работающий с таким малым скольжением, спокойно втягивается в синхронизм [2].

Приведем пример расчета асинхронного режима турбогенератора при потере возбуждения.

Выражение для асинхронного момента при изменении скольжения от $S=0$ до $S=S_l$ [3]:

$$m = \frac{3U_1^2}{2P_H x'_d} \frac{2}{\frac{(r'_{e.k} - r'_{e.o})\sqrt{S} + r'_{e.o}}{x'_d S} + \frac{x'_d S}{(r'_{e.k} - r'_{e.o})\sqrt{S} + r'_{e.o}}} \quad (1)$$

Для скольжения от $S=S_l$ до $S=1$:

$$m = \frac{3U_1^2}{2P_H \left(x_\sigma + \frac{K_K x'_{e.o}}{\sqrt{S}} \right)} \frac{2}{A_1 + A_2}, \quad (2)$$

где $A_1 = \frac{(r'_{e.k} - r'_{e.o})\sqrt{S} + r'_{e.o}}{\left(x_\sigma + \frac{K_K x'_{e.o}}{\sqrt{S}} \right) S}$, $A_2 = \frac{\left(x_\sigma + \frac{K_K x'_{e.o}}{\sqrt{S}} \right) S}{(r'_{e.k} - r'_{e.o})\sqrt{S} + r'_{e.o}}$.

Значение максимального критического скольжения:

$$S_{k.m} = \frac{A_3^2 + A_4 + \frac{2r'_{e.o}}{x'_d}}{2}, \quad (3)$$

где $A_3 = \frac{r'_{e.k} - r'_{e.o}}{x'_d}$, $A_4 = A_3 \sqrt{(A_3)^2 - \frac{4r'_{e.o}}{x'_d}}$.

Скольжение, при котором момент равен номинальному:

$$S_H = \frac{4b \frac{r'_{e.o}}{x'_d} + A_3^2 + A_3 \sqrt{(A_3)^2 + 8b \frac{r'_{e.o}}{x'_d}}}{8b^2}. \quad (4)$$

Намагничивающий ток статора:

$$I_\mu = OK3 \cdot I_{1n} \frac{U_1}{U_{1n}}. \quad (5)$$

Величина приведенного тока ротора определится:

$$I'_e = \frac{U_1}{\sqrt{x_{\kappa s}^2 + \left(\frac{r'_{e.s}}{S}\right)^2}}. \quad (6)$$

Полный ток статора

$$I_1 = \sqrt{(I'_e \cos \varphi'_1)^2 + (I_\mu + I'_e \sin \varphi'_1)^2}. \quad (7)$$

При малых скольжениях приведенный ток ротора

$$I'_e \approx \frac{U_{1s}}{r'_{e.s}}. \quad (8)$$

Ниже приводится расчет с использованием вышеприведенных формул для разомкнутой обмотки возбуждения. Полученные результаты сравниваются с опытными данными. Расчет проведен для одного из турбогенераторов ТЭЦ Бишкек: $T-25-2$, $S_H=31$ МВА, $P_H=25$ МВт, $U_H=10,5$ кВ, $I_H=1,72$ кА, $n=3000$ об/мин, $x_d=1,44$ или $x'_d=5,1$ Ом, $x'_d=0,18$ или $0,63$ Ом, $z_\sigma=0,1$ или $0,35$ Ом, $r_{\sigma o}=0,416$ Ом, $r_{10}=0,00467$ Ом, число витков статора $\omega_1=16$, число витков обмотки возбуждения $\omega_e=352$.

Изменение асинхронного момента для скольжения от $S=0$ до $S=S_1=0,046$ определяется по формуле (1):

$$m = \frac{10,5^2}{2 \cdot 25 \cdot 0,63} \frac{2}{\frac{0,0563\sqrt{S} + 0,0067}{0,63S} + \frac{0,63S}{0,0563\sqrt{S} + 0,0067}} =$$

$$= \frac{7}{\frac{0,0895\sqrt{S} + 0,0106}{S} + \frac{S}{0,0895\sqrt{S} + 0,0106}}.$$

Изменение момента для скольжения от $S=0,046$ до $S=1$ определяется по формуле (2)

$$m = \frac{10,5^2}{2 \cdot 25 \left(0,35 + \frac{0,215 \cdot 0,28}{\sqrt{3}}\right)} \frac{2}{\frac{0,0563\sqrt{S} + 0,0067}{\left(0,35 + \frac{0,215 \cdot 0,28}{\sqrt{3}}\right)S} + \frac{\left(0,35 + \frac{0,215 \cdot 0,28}{\sqrt{3}}\right)S}{0,0563\sqrt{S} + 0,0067}}.$$

Номинальное скольжение определяется по формуле (4)

$$S_H = \frac{4 \cdot 3,5 \cdot 0,0106 + 0,0895^2 + 0,0895\sqrt{0,0895^2 + 8 \cdot 3,5 \cdot 0,0106}}{8 \cdot 3,5^2} =$$

$$= 0,00205, \text{ или } 0,205\%$$

Скольжение, при котором момент будет иметь максимальное значение, определим из формулы (3)

$$S_{\kappa.m.} = \frac{0,0895^2 + 2 \cdot 0,0106 + 0,0895\sqrt{0,0895^2 + 4 \cdot 0,0106}}{2} =$$

$$= 0,0245, \text{ или } 2,45\%$$

На рис. 1 приведены кривые моментов при разомкнутой обмотке возбуждения для разных напряжений в зависимости от скольжения и кривая изменения активного сопротивления ротора.

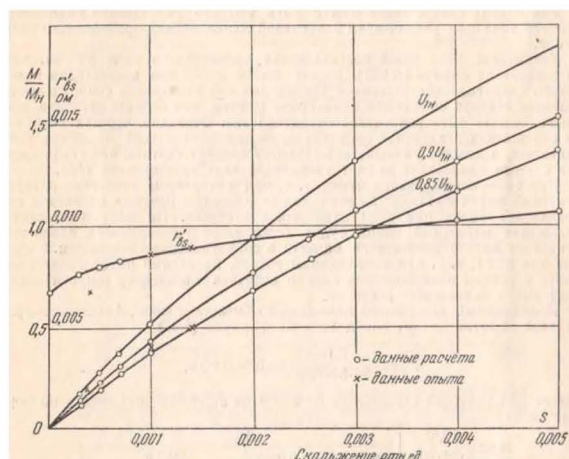


Рис. 1. Изменение момента и активного сопротивления ротора в зависимости от скольжения для генератора 25 000 кВт при разомкнутой обмотке возбуждения

Произведем расчет для нагрузки 10 000 кВт при разомкнутой обмотке возбуждения. Для $m = \frac{10000}{25000} = 0,4$ и $U = 0,9U_n$ по рис. 1 определяем скольжение $s=0,1\%$ и активное сопротивление ротора $r'_{es} = .0085\Omega_m$. Приведенный ток ротора по формуле (8)

$$I'_e = \frac{9200 \cdot 0,001}{\sqrt{3} \cdot 0,0085} = 625a,$$

Намагничивающий ток по формуле (5)

$$I_\mu = 0,746 \cdot 1720 \frac{9,2}{10,5} = 1120a.$$

Ток статора по формуле (7)

$$I_1 = \sqrt{625^2 + (1120 + 625 \cdot 0,074)^2} = 1320a.$$

В табл. 1 приведены расчетные и опытные данные для трех нагрузок при разомкнутой обмотке возбуждения.

Таблица 1

Нагрузка, кВт	Скольжение, %		Активное сопротивление ротора r'_{es} , Ом		Ток статора, А	
	Расчет	Опыт	Расчет	Опыт	Расчет	Опыт
5 000	0,05	0,04	0,0079	0,0068	1 170	1 200
10 000	0,1	0,1	0,0085	0,0084	1 320	1400-1500
13 000	0,14	0,14	0,0088	0,0089	1 380	1600-1700

Из таблицы следует, что скольжение и активное сопротивление ротора, определенные расчетом, практически совпадают с опытными данными. Что же касается тока статора, то здесь имеет место значительное расхождение, причем это расхождение увеличивается с возрастанием активной нагрузки.

Увеличение тока статора может быть вызвано увеличением намагничивающего тока или увеличением реактивной составляющей приведенного тока ротора.

Увеличение реактивной составляющей приведенного тока ротора может иметь место при возрастании реактивного сопротивления рассеяния ротора, так как оно не должно изменяться, причем, чем больше нагрузка, тем больше должно быть реактивное сопротивление. Очевидно, что при увеличении скольжения реактивное сопротивление рассеяния ротора не может увеличиваться, а должно уменьшаться. Поэтому следует считать, что увеличение тока статора происходит за счет увеличения намагничивающего тока.

При скольжении, равном нулю, т.е. при синхронном вращении ротора, магнитный поток проходит по всей толще ротора и поэтому магнитное сопротивление имеет при этом наибольшее значение. По мере увеличения скольжения магнитный поток будет отжиматься к поверхности, плотность магнитного потока возрастает, а магнитное сопротивление уменьшится. В пределе при $s=1$, т.е. при неподвижном роторе, магнитный поток будет проходить в тонком поверхностном слое, и величина магнитного сопротивления будет иметь наименьшее значение.

Список литературы

1. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. Л.Г.Мамяконианца. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с. ил.

2. Веников В.А. Переходные процессы в электрических системах. Учебник для электроэнергетич. специальностей вузов. Изд.3-е, переработ. и доп. М., «Высшая школа», 1978.
3. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под ред. Л.А. Жукова. – М., Энергия, 1979. – 456 с., ил.

References

1. Syromyatnikov I.A. Operating modes of asynchronous and synchronous motors / Under the editorship of L. G. Mamikonyants. – 4 prod., reslave. and additional – М.: Energoatomizdat, 1984. – 240 pages silt.
2. Venikov V.A. Transition processes in electric systems. The textbook for электроэнергетич. specialties of higher education institutions. Izd.3-e, reworks. and additional М., "Higher school", 1978.
3. Zhdanov P. S. Questions of stability of electric systems / Under the editorship of L.A. Zhukov. – М, Energy, 1979. – 456 pages, silt.

УДК 621.311

РЕЗИСТИВНАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Таабалдиева Нурзат Дуйшоновна, доцент, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail:nurzat0227@gmail.com

Джунуев Тимур Тилегенович, старший преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66.

Цель работы - анализ применения резистивной модели синхронной машины для дальнейшего использования в исследовании переходных процессов при коротких замыканиях. Математическая модель ЭЭС формируется на основе математических моделей отдельных элементов системы, эти модели отдельных элементов в дальнейшем объединяются в полную математическую модель электроэнергетической системы Кыргызской Республики, а исследование базируется на решении систем дифференциальных уравнений, которые записываются для всех элементов системы, а затем объединяются в общую систему уравнений относительно тому, как соединены между собой соответствующие элементы ЭЭС.

Ключевые слова: резистивная модель, синхронная машина, модель, энергосистема, обмотка статора, обмотка ротора, обмотка возбуждения, дискретная форма, макромодель.

RESISTIVE MODEL OF THE SYNCHRONOUS MACHINE

Taabaldiyeva Nurzat Duyshonovna, the associate professor, KGTU of I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira Ave., 66, e-mail: nurzat0227@gmail.com

Dzhunuyev Timur Tilegenovich, the senior teacher, KGTU of I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira Ave., 66.

The work purpose - the analysis of application of resistive model of the synchronous car for further use in researches of transition processes at short circuits. The mathematical model of electrical power system is formed on the basis of mathematical models of separate elements of system, and these models of separate elements unite further in full mathematical model of electrical power system of the Kyrgyz Republic, and research is based on the decision to system of the differential equations which register for all elements of system, and then unite in the general system of the equations relatively to how the corresponding elements of elektroenereticheskyy system are connected among themselves.

Keywords: resistive model, synchronous car, model, power supply system, stator winding, rotor winding, excitement winding, discrete form, macromodel.

Учёными разработано большое количество математических моделей энергосистем, которые отличаются друг от друга формальным учётом тех или иных факторов. Многообразие математических моделей системы связано с возможностью их использования для различных её элементов в разнообразных сочетаниях, учитывая особенности исследуемой энергосистемы (ЭС). Поэтому математическая модель энергосистемы Кыргызской Республики тоже описывается, учитывая особенности и отражая все основные свойства энергосистемы.

Синхронные машины (СМ) являются важнейшими элементами электроэнергетической системы, поведение которых самым существенным образом определяет характер переходных процессов в энергосистеме. При этом в основу математической модели СМ были положены полные уравнения Горева-Парка [1,2]: