

УДК 621.313.32

А.М. Ларин /к.т.н./, И.И. Ларина /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

На основании исследования результатов многовариантного математического моделирования электромагнитных и электромеханических переходных процессов в турбогенераторе типа ТГВ-200М разработаны рекомендации по использованию эквивалентных схем замещения различных структур для уточненного расчета токораспределения в обмотках статора, возбуждения и массивных конструктивных элементах ротора генератора.

Ключевые слова: турбогенератор, схема замещения, моделирование, переходный процесс, токораспределение, обмотка возбуждения.

Постановка проблемы

Один из подходов исследования переходных процессов в синхронных машинах (СМ) основан на схемах замещения физически обоснованных структур, имеющих различную степень детализации и отражающих связь между токами и потокоцеплениями в магнитносвязанных контурах машины. В настоящее время известно большое число сложных эквивалентных схем замещения СМ с различными структурами, отражающими взаимные связи их отдельных конструктивных элементов [1...3]. Эти схемы разработаны в проектных организациях и используются для уточненного определения распределения токов в демпфирующих контурах, оценки влияния различных участков конструкции на результирующие параметры машины в установившихся аномальных режимах, вызванных несимметричной нагрузкой, несимметричными короткими замыканиями, неполнофазными и асинхронными режимами.

Исследование электромагнитных и электромеханических переходных процессов во времени на основе дифференциальных уравнений с помощью таких эквивалентных схем высокого порядка вызывает принципиальные сложности. При расчете неустановившихся режимов, например в операторной форме, это приводит к громоздким выкладкам, не всегда дающим возможность при практических расчетах выполнить переход во временную область.

Поэтому использование сложных детализированных схем к моделированию промышленных машин, особенно турбогенераторов, в условиях эксплуатации, когда имеет место влияние элементов питающей сети, неэффективно.

Вместе с тем имеется широкий круг задач, когда достаточно определить точно только рас-

пределение токов в контуре обмотки возбуждения генератора (ОВГ) и эквивалентно в массивных конструктивных элементах ротора (ДС).

Для анализа протекания электромеханических переходных процессов во времени, как правило, используются упрощенные схемы замещения, на основании которых составляются дифференциальные уравнения типа уравнений Парка-Горева. Такой подход при использовании схем замещения общепринятого вида, в которых обмотка возбуждения представлена одним контуром, позволяет с достаточной точностью отражать переходные процессы только в обмотке статора.

В последние годы разрабатываются методы, позволяющие синтезировать схемы замещения с учетом явления вытеснения тока в ОВГ, путем представления ее многоконтурной цепью [3]. Разрабатываются также способы преобразования точных детализированных схем замещения к более простому виду, удобному для математического моделирования по дифференциальным уравнениям [4].

В этой связи становится актуальной задача анализа эффективности применения упрощенных схем замещения различных структур к уточненному исследованию переходных процессов в турбогенераторах.

Анализ последних исследований и публикаций

Математические модели турбогенераторов в виде эквивалентных схем замещения основываются на различных подходах к описанию их физических свойств. Самая общая модель может быть основана на уравнениях электромагнитного поля конкретной электрической машины (ЭМ) [5]. Теоретически это позволяет доста-

точно полно отразить все происходящие в ней явления.

В литературе точные схемы замещения рассматриваются обычно для явнополюсных синхронных машин, имеющих специальную демпферную систему на роторе. Основная сложность при составлении точных схем замещения неявнополюсных СМ с гладким ротором, к которым относятся турбогенераторы (ТГ), заключается в особенностях конструкции их роторов.

Как известно, ротор турбогенератора обычно не имеет специальной демпферной обмотки. Однако его массивные конструктивные элементы представляют собой мощный демпфер, состоящий из бочки ротора со сложной картиной проникновения магнитного потока, пазовых клиньев, бандажей и торцевых участков, где иногда устанавливают специальные демпферные гребенки. Представить массивную бочку ротора в виде отдельных демпферных контуров можно только с определенной степенью точности, и, следовательно, эквивалентная схема ТГ по существу соответствует схеме с распределенными параметрами. Основными особенностями эквивалентных схем турбогенераторов являются замена обычной демпферной ветви ветвями, соответствующими контурам массива ротора и пазовых клиньев; включение некоторых дополнительных контуров, обусловленных влиянием бандажей и массива ротора на потоки рассеяния обмоток статора и возбуждения.

Одна из возможных структур схем замещения турбогенератора разработана в [5] для расчета характеристик установившегося асинхронного режима. В них массив представлен в виде эквивалентных сопротивлений (по одному в активной и торцевой зонах ротора), а клинья – одним активным сопротивлением. В указанных схемах не рассматриваются токи в каждом клине и в отдельных элементах массива активной и торцевой зон ротора ТГ.

В [6] предложены сложные схемы замещения турбогенераторов применительно к расчету аномальных режимов, связанных с большими скольжениями, которые учитывают наличие на роторе реальных физических контуров, состоящих, с одной стороны, из элементов массивной бочки – головок больших и малых зубцов, периметров пазов, с другой – из клиньев ротора.

Для определения значений вихревых токов двойной частоты, наведенных в роторе турбогенератора электромагнитным полем статора при несимметричном режиме, в [7] разработана многоконтурная электрическая схема замещения, параметры которой рассчитываются по соотношениям, полученным из уравнений электромаг-

нитного поля на основе теории поверхностного импеданса. В схеме отражено влияние обмотки статора, воздушного зазора; учтены сопротивление зоны бочки ротора на активной длине, сопротивление клиньев ротора, контактные сопротивления между клиньями и зубцами, сопротивление торцевой зоны бочки ротора, сопротивление торцевых клиньев и коронок зубцов, а также сопротивление бандажных колец.

Для исследования установившихся асинхронных режимов в [8] предлагается осуществлять моделирование СМ с массивным ротором многозвенными электрическими схемами замещения по продольной и поперечной осям ротора. Ее параметры получены из уравнений электромагнитного поля. Генератор представляется в поперечном сечении активной зоны совокупностью слоев, соответствующих конструктивным зонам магнитопровода с обмотками. Ротор ТГ на схеме замещения моделируется контурами коронок зубцов, клиньев, зубцов с обмоткой возбуждения, ярма, торцевых зон с кольцевыми точками и бандажными кольцами.

Анализ структур и параметров упомянутых схем замещения показал, что непосредственно их невозможно использовать для расчета мгновенных значений параметров динамических режимов по дифференциальным уравнениям.

Наиболее перспективной с точки зрения использования для моделирования переходных процессов в динамических режимах являются схемы замещения, предложенные и полученные сотрудниками Сибирского НИИ энергетики (Россия), которые учитывают сложную взаимную индуктивную связь между контурами, расположенными на роторе. Отличительной особенностью этих схем замещения является то, что демпферные системы машины по продольной и поперечной осям ротора представляются в виде основного демпферного контура, охватывающего магнитный поток взаимной индукции между статором и ротором, и ряда локальных контуров, охватывающих магнитные потоки рассеяния демпферных цепей и обмотки возбуждения. В этом случае обмотка возбуждения генератора, его демпферная система и взаимная индуктивность между ними характеризуются сложными зависимостями от скольжения высокого порядка.

В [4] разработаны подходы к преобразованию схем замещения к более простому виду, удобному для моделирования на основе адекватности частотных характеристик входных сопротивлений или проводимостей исходных и преобразованных схем замещения. Вместе с тем появляются в литературе работы, направленные на создание методов определения параметров схем

замещения турбогенераторов, в которых ОВГ учитывается самостоятельной многоконтурной цепью [3]. Такие же схемы можно получить путем преобразования сложных детализированных схем, предложенного в [4].

Цель (задачи) исследования

Целью работы является разработка рекомендаций по использованию при математическом моделировании турбогенераторов упрощенных эквивалентных схем замещения различных структур, синтезированных на основе сложных детализированных схем, для уточненного определения токораспределения в обмотках статора, возбуждения и массивных конструктивных элементах ротора турбогенератора.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить синтез упрощенных схем замещения различных структур, удобных для моделирования переходных процессов. На основании многовариантных исследований электромеханических переходных процессов оценить точность токораспределения в контурах статора и ротора СМ при различных возмущающих воздействиях и сформулировать рекомендации по использованию схем замещения различных структур для решения конкретных задач.

Основной материал исследования

В работе исследовались детализированные схемы замещения турбогенератора типа ТГВ-200М ($S_{ном}=235$ МВА, $P_{ном}=200$ МВт, $U_{ном}=15,75$ кВ, $x_{\sigma}=0,213$, $x''_d=0,213$, $x_q=1,754$, $x_d=1,916$). На рис. 1 показана схема замещения по продольной оси ротора турбогенератора типа ТГВ-200М. Схема замещения по поперечной оси отличается отсутствием цепей, отражающих обмотку возбуждения и взаимную индуктивную связь демпферной системы с ОВГ.

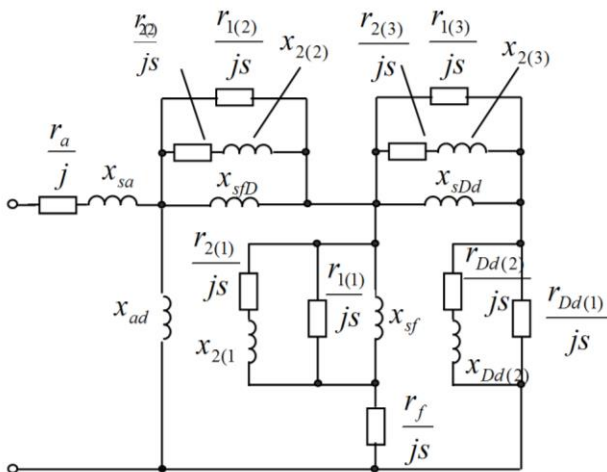


Рис. 1. Схема замещения турбогенератора ТГВ-200М высокого порядка

Методика проведения исследований заключалась в следующем.

На основании исходных сложных схем замещения по продольной и поперечной осям магнитной симметрии ротора для различных значений сопротивления рассеяние обмотки статора x_{σ} были синтезированы упрощенные схемы замещения, удобные для моделирования по уравнениям Парка-Горева.

По полученным схемам замещения были выполнены расчеты переходных процессов, происходящих при различных изменениях скорости вращения ротора:

- 1) без изменения скорости вращения ротора при внезапных трехфазных коротких замыканиях на выводах турбогенератора;
- 2) при малых изменениях скорости при выпадении из синхронизма и переходе к установившемуся асинхронному режиму в результате потери возбуждения;
- 3) при значительных изменениях скорости при включении невозбужденного генератора в сеть, вращающегося со скольжением, равным 3 %.

Оценивалось влияние внешнего сопротивления в цепи обмотки статора (сопротивление блочного трансформатора и индуктивное сопротивление системы) на электромеханические переходные процессы в асинхронных режимах генератора и включении его в сеть методом самосинхронизации.

Точность определения параметров, отражающих влияние обмотки возбуждения, оценивалась путем включения в цепь ОВГ дополнительного активного сопротивления в опытах, связанных со значительными изменениями скорости при включении невозбужденного генератора в сеть.

Исходные частотные характеристики проводимости со стороны обмотки статора $y_d(j\omega)$ и $y_q(j\omega)$ рассчитывались по параметрам детализированных схем замещения.

Выражение для определения частотной характеристики $y_d(j\omega)$ имеет следующий вид:

$$y_d(j\omega) = \frac{1}{x_d(j\omega)}. \tag{1}$$

В (1) частотная характеристика входного продольного сопротивления со стороны обмотки статора $x_d(j\omega)$ рассчитывается по соотношению:

$$x_d(j\omega) = \frac{x'_D x_{ad}}{x'_D + x_{ad}} + x_{\sigma}, \tag{2}$$

где $x'_D = \frac{x_D(j\omega)x_f(j\omega)}{x_D(j\omega) + x_f(j\omega)} + x_{Dd}(j\omega)$.

Выражения для определения частотных характеристик сопротивлений, соответствующих определенным цепям ротора, имеют следующий вид.

Для эквивалентного массива ротора:

$$x_D(j\omega) = \frac{x'_{2(3)}x_{\sigma Dd}}{x'_{2(3)} + x_{\sigma Dd}} + \frac{x'_{Dd(2)} \frac{r_{Dd(1)}}{j\omega}}{x'_{Dd(2)} + \frac{r_{Dd(1)}}{j\omega}}, \quad (3)$$

где $x'_{2(3)} = \left(x_{2(3)} + \frac{r_{2(3)}}{j\omega} \right) \frac{r_{1(3)}}{j\omega} \left(x_{2(3)} + \frac{r_{2(3)}}{j\omega} + \frac{r_{1(3)}}{j\omega} \right)^{-1}$,

$$x'_{Dd(2)} = x_{Dd(2)} + \frac{r_{Dd(2)}}{j\omega}.$$

Для ветви ОВГ:

$$x_f(j\omega) = \frac{x'_{2(1)}x_{\sigma f}}{x'_{2(1)} + \frac{r_f}{j\omega}}, \quad (4)$$

где $x'_{2(1)} = \left(x_{2(1)} + \frac{r_{2(1)}}{j\omega} \right) \frac{r_{1(1)}}{j\omega} \left(x_{2(1)} + \frac{r_{2(1)}}{j\omega} + \frac{r_{1(1)}}{j\omega} \right)^{-1}$.

Для цепи, отражающей взаимную индуктивную связь между роторными контурами:

$$x_{fD}(j\omega) = \frac{x'_{fD}x_{\sigma fD}}{x'_{fD} + x_{\sigma fD}}. \quad (5)$$

где $x'_{fD} = \left(x_{2(2)} + \frac{r_{2(2)}}{j\omega} \right) \frac{r_{1(2)}}{j\omega} \left(x_{2(2)} + \frac{r_{2(2)}}{j\omega} + \frac{r_{1(2)}}{j\omega} \right)^{-1}$.

Синтез схемы замещения общепринятого типа (Т-образного вида) при представлении ОВГ одним контуром (рис. 2) осуществлялся по методике [4] на основании адекватности характеристики, рассчитываемой по выражению:

$$y_d(j\omega) = \left(x_{\sigma} + \left(\frac{1}{x_{ad}} + \frac{j\omega}{r_f + j\omega x_{\sigma f}} + \sum_{k=1}^n \frac{j\omega}{r_{dk} + j\omega x_{\sigma dk}} \right)^{-1} \right)^{-1}. \quad (6)$$

Для схемы с вынесенной на зажимы источника ветвью намагничивания (Г-образного типа) (рис. 3) параметры определялись из условия совпадения характеристики, которая рассчитывалась следующим образом:

$$y_d(j\omega) = \frac{1}{x_d} + \sum_{k=1}^n \frac{j\omega}{r_{dk} + j\omega x_{\sigma dk}}. \quad (7)$$

Для схем замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью учитывался комплексный коэффициент распределения тока обмотки статора в ветви обмотки возбуждения [4]. Схема замещения Т-образного вида по продольной оси симметрии ротора имеет вид, представленный на рис. 4.

В результате преобразований были получены параметры схем замещения различных структур, приведенные в табл. 1.

Отличие исходных частотных характеристик $y_d(j\omega)$ и $y_q(j\omega)$, рассчитываемых по (1) и соответствующих упрощенным схемам, во всех случаях практически совпали между собой. Отличие по действительной и мнимой составляющим не превысило 1,2 %.

Моделирование осуществлялось на ПЭВМ по программе, реализующей алгоритм интегрирования дифференциальных уравнений Парка-Горева методом Рунге-Кутты четвертого порядка.

Анализ результатов моделирования переходных процессов при внезапном трехфазном

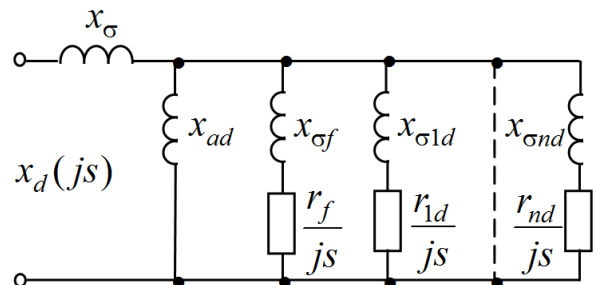


Рис. 2. Т-образная схема замещения по продольной оси

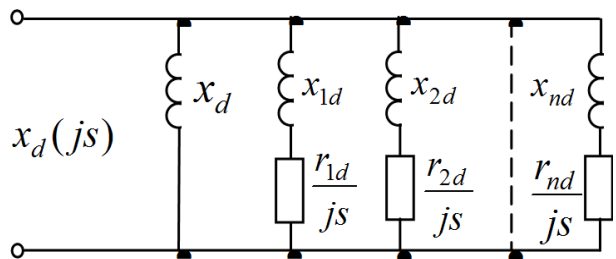


Рис. 3. Г-образная схема замещения по продольной оси

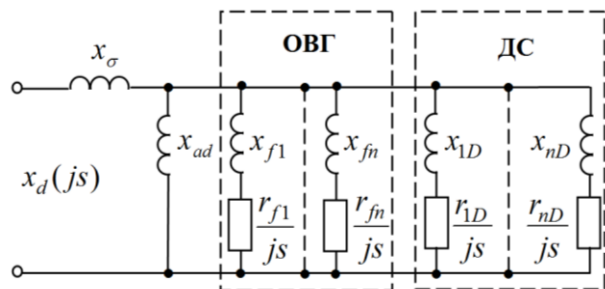


Рис. 4. Т-образная схема замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью

коротком замыкании, включении невозбужденного генератора в сеть при скольжении 3 % и при выпадении из синхронизма ТГ, потерявшего возбуждения, соответствующие значению индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора $x_{\sigma}=0,175$ о.е. и короткозамкнутому состоянию ОВГ, показал, что изменение параметров режима в обмотке статора при использовании схем замещения различных структур совпали между собой. Несовпадение находится в пределах отличия частотных характеристик $y_d(js)$ и $y_q(js)$.

Отличия наблюдаются в токах в цепи обмотки возбуждения.

На рис. 5 приведены результаты расчета изменения тока в ОВГ при внезапном трехфазном коротком замыкании на выводах генератора из режима холостого хода.

Из анализа рис. 5 следует, что изменение тока в роторе, рассчитываемое для схем замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью, не превышают 1,3 %. Погрешность расчета при использовании Т-образной схемы, в которой ОВГ представлена одним контуром, составляет 4,9 %.

Использование Г-образной схемы замещения (кривая 4) дает неверные результаты как в качественном, так и в количественном отношении. Это связано с тем, что в такой схеме нет ветви, которая физически соответствует ОВГ. В каче-

стве такой была принята цепочка с активным сопротивлением, близким к сопротивлению обмотки возбуждения.

Изменения тока в обмотке возбуждения, рассчитанные для асинхронного режима, протекающего при малых изменениях скольжения ротора относительно магнитного поля статора, отличаются в пределах 5 % для схем различных структур, включая и Г-образную без выделения ОВГ. Это может быть объяснено тем, что при малых частотах тока в роторе основное влияние оказывает в основном активное сопротивление контура. Период проворота ротора относительно поля статора при короткозамкнутой обмотке возбуждения составил 26,2 с.

Соотношения токов при включении невозбужденного генератора в сеть методом самосинхронизации аналогичны соотношениям, полученным при моделировании короткого замыкания. Это связано с тем, что физические процессы при внезапном коротком замыкании и включении невозбужденного генератора в сеть имеют одну и ту же природу. Изменение скольжения при этом имеет идентичный характер для всех используемых схем замещения.

Моделирование по Т-образным схемам замещения, полученным при сопротивлении рассеяния $x_{\sigma}=0,213$ о.е., не привело к изменению погрешностей расчета параметров режима в обмотке статора. Не изменились также результаты

Табл. 1. Значения параметров схем замещения ТГ типа ТГВ-200М (синтез без учета активного сопротивления ОВГ)

Тип схемы	Элемент ротора	Параметр	Значение параметра, о.е.				
			x	r	x	r	x
Г-образная, рис. 4, $x_d=1,916$; $x_q=1,747$	ОВГ	x	0,50600	2,87200	-1,5700	-0,7540	2,09800
		r	0,00139	0,02050	-0,1220	-0,5768	2,33600
	Демпферная система (d)	x	3,01500	-4,4310	0,76100	0,77200	1,62000
		r	0,00831	-0,0298	0,07780	0,38700	3,25300
	Демпферная система (q)	x	0,96000	0,835	1,307	0,895	
		r	2,31100	0,1956	0,0513	0,00632	
Г-образная, рис. 3	ОВГ	x	Не имеет физического смысла				
		r	Не имеет физического смысла				
	Демпферная система (d)	x	0,43100	9,75300	1,01200	1,67500	
		r	0,00119	0,09110	0,16000	2,02200	
Т-образная, рис. 4, $x_{\sigma}=0,213$	ОВГ	x	0,17000	-0,5160	0,14400	-0,2190	0,00013
		r	0,00120	-0,0722	0,04830	-0,1650	0,38470
	Демпферная система	x	-0,9230	0,50800	0,52200	0,08200	0,00000
		r	-0,0031	0,00196	0,05310	0,05360	0,08350
Т-образная, рис. 4, $x_{\sigma}=0,175$	ОВГ	x	0,22100	-0,1100	0,09200	-0,3080	
		r	0,00122	-0,0202	0,11940	-0,2090	
	Демпферная система (d)	x	0,61000	1,42700	0,38200	0,16000	0,0880
		r	2,04600	0,00560	0,05410	0,08790	0,3030
Т-образная, рис. 4, $x_{\sigma}=0,175$	ОВГ	x	0,22100				
		r	0,00108				
	Демпферная система (d)	x	1,19000	0,17700	0,09700		
		r	0,01157	0,04240	0,18160		

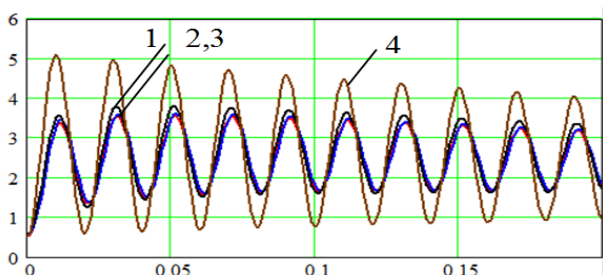


Рис. 5. Изменение тока в ОВГ при внезапном трехфазном коротком замыкании на выводах: 1 – расчет по Г-образной схеме замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью; 2 – расчет по Т-образной схеме замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью; 3 – расчет по Т-образной схеме замещения при представлении ОВГ одним контуром; 4 – расчет по Г-образной схеме замещения без выделения ОВГ

расчета тока в ОВГ при использовании схем замещения, в которых обмотка возбуждения учитывалась многоконтурной цепью. Использование схемы замещения Т-образного типа при представлении ОВГ одним контуром привело к увеличению погрешности в токе возбуждения до 12,8 %.

При оценке влияния на характер переходных процессов внешних сопротивлений моделирование осуществлялось путем увеличения индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора x_σ на величину индуктивных сопротивлений блочного трансформатора и системы ($x_{вт} = 0,103$ о.е.) и активного сопротивления трансформатора ($r_{вт} = 0,00364$ о.е.).

Анализ результатов показал, что несовпадение в результатах расчета для схем замещения различных структур находится в тех же пределах, что и без учета внешних сопротивлений. Это связано с тем, что частотные характеристики входных проводимостей и комплексных коэффициентов распределения тока статора в ветви обмотки возбуждения не изменились. При этом значения токов в обмотках статора и ротора уменьшились во всех исследуемых режимах.

Влияние дополнительного активного сопротивления в цепи обмотки возбуждения в опытах самосинхронизации и асинхронном режиме ана-

лизировалось путем увеличения активного сопротивления ОВГ в шесть раз в схеме, в которой обмотка представлялась одним контуром. Это соответствует замыканию ОВГ на пятикратное дополнительное сопротивление. Для схем замещения при представлении ОВГ многоконтурной цепью был предварительно выполнен ряд процедур.

Рассчитывалась частотная характеристика результирующей проводимости ветви ОВГ после включения дополнительного активного сопротивления $y_{fR_{доп}}(js)$ в соответствии с соотношением (4):

$$y_{fR_{доп}}(js) = \left(\frac{1}{y_f(js)} + \frac{R_{доп}}{js} \right)^{-1} \quad (8)$$

По найденной частотной характеристике $y_{fR_{доп}}(js)$ выполнялся синтез параметров многоконтурной обмотки возбуждения новых схем замещения. Параметры, отражающие влияние демпферной системы, остаются прежними.

Очевидно, что такой подход является неэффективным. Поэтому целесообразно синтезировать схемы замещения различных структур, в которых в последовательной цепи было бы выделено известное активное сопротивление обмотки возбуждения (рис. 6).

Параметры ветви, отображающей обмотку возбуждения в синтезированных схемах Г- и Т-образного вида ТГ типа ТГВ-200М, приведены в табл. 2.

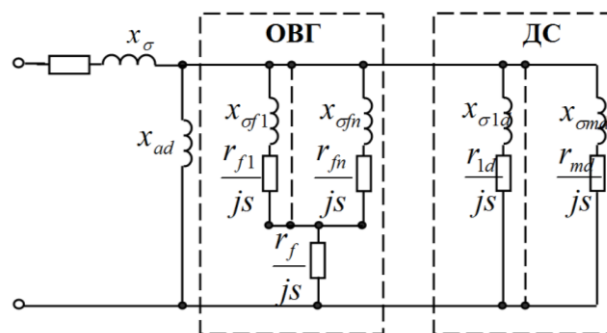


Рис. 6. Схема ТГ при представлении ОВГ многоконтурной цепью с выделенным активным сопротивлением ОВГ

Табл. 2. Значения параметров схем замещения ТГ типа ТГВ-200М, (синтез с учетом активного сопротивления ОВГ, $r_f = 0,00107$)

Тип схемы		Параметр	Значение параметра, о.е.				
Г-образная, $x_{ad} = 1,916$	ОВГ	x	0,469000	7,25900	-1,6910	-0,7610	2,1300
		r	0,000147	0,04994	-0,1327	-0,5824	2,3788
Т-образная, $x_\sigma = 0,213$; $x_{ad} = 1,703$	ОВГ	x	0,17300	-0,0074	0,00720	-0,2160	0,00008
		r	0,00000	-0,0020	0,00199	-0,1600	0,38400

Параметры демпферной системы остались без изменения (см. табл. 1).

Результаты моделирования асинхронного режима и включения генератора в сеть методом самосинхронизации при замыкании ОБГ на пятикратное активное сопротивление показали, что использование многоконтурных схем обмотки возбуждения практически совпали как по току статора, так и по току в ОБГ. Использование Т-образной схемы замещения, в которой обмотка ротора представлена одним контуром, привело к увеличению погрешности до 11,3 % при расчете тока статора и до 18,7 % – тока возбуждения.

Выводы

Для задач, связанных с определением токов в обмотке статора, например, для выбора и проверки оборудования или для настройки устройств релейной защиты и автоматики ЭЭС модели необходимо строить таким образом, чтобы они соответствовали действительным частотным характеристикам проводимостей или сопротивлений со стороны обмотки статора.

Для уточненного расчета тока в обмотке возбуждения необходимо использовать эквивалентные схемы замещения, синтезированные на основе адекватности как частотных характеристик со стороны обмотки статора, так и комплексных коэффициентов распределения тока статора в ветви обмотки возбуждения.

Для повышения эффективности математической модели, учитывающей дополнительные активные сопротивления в цепи обмотки возбуждения, необходимо использовать эквивалентные схемы замещения при представлении ОБГ многоконтурной цепью с выделенным активным сопротивлением.

A.M. Larin /Cand. Sci. (Eng.)/, I.I. Larina /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TURBOGENERATOR EQUIVALENT CIRCUIT STRUCTURE ON THE ACCURACY OF TRANSIENT PROCESSES SIMULATION

Background. Currently, for refined modeling of steady-state modes with asymmetry in the stator winding circuit and asynchronous course of turbogenerators complex and detailed equivalent circuits widely used. They are not suitable for the study of instantaneous changes of parameters in time by differential equations. There are methods that allow for the conversion of high-order circuits to simpler, more convenient for the simulation of transient processes. To assess the accuracy of the calculations when using the simplified equivalent circuits of various structures is the relevant problem.

Materials and/or methods. To assess the impact of the structure of the equivalent circuit on the accuracy of mathematical modeling and development of recommendations on their application for solution of specific tasks performed a multivariate study of electro-magnetic and electromechanical transient processes under excitation influences leading to a different variation of the rotation speed of the

Список литературы

1. Казовский, Е.Я. Переходные процессы в синхронных машинах при аномальных режимах в энергосистеме / Е.Я. Казовский, Г.В. Рубисов. – СПб.: Наука, 1994. – 172 с.
2. Rogozin, G.G. Determining the electromagnetic parameters of AC machines // *Revue general de l'electricite*. – 1993. – No.9. – P. 8-16.
3. Larin, A. Experimental determination of turbo-generator electromagnetic parameters totality taking into account saturation by presenting the exciting winding by multilooped circuit / A. Larin, I. Larina // *The advanced science journal*. – Iss.3. – Vol.2010. – P. 143-148.
4. Ларин, А.М. Преобразование сложных эквивалентных схем замещения турбогенераторов к виду, удобному для моделирования переходных процессов / А.М. Ларин, Гуедида Фаузи Бен Килани // *Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту*. – 2007. – №11(117). – Ч.1. – С. 108-115.
5. Лютер, Р.А. Расчет синхронных машин. – Л.: Энергия, 1979. – 272 с.
6. Шапиро, А.С. Схема замещения турбогенератора при больших скольжениях с учетом клиньев и торцевого эффекта // *Турбо- и гидрогенераторы большой мощности и перспективы их развития*. – Л.: Наука, 1969. – С. 153-167.
7. Саратов, В.А. Схема замещения, параметры и потери в роторе турбогенератора при несимметричной нагрузке // *Техническая электродинамика*. – 2004. – №2. – С.35-39.
8. Саратов, В.А. Схема замещения и потери в массивном роторе турбогенератора от зубчатости статора при холостом ходе // *Техническая электродинамика*. – 2002. – №3. – С. 34-36.

generator rotor. The study analyzed the effect of additional resistance included in the circuit of the stator windings and excitation.

Results. The performed research allowed establishing that in the synthesis of circuits convenient for modeling in order to improve the accuracy it is necessary to represent the excitation winding by a multicircuit taking into account its active resistance. Formulated the recommendations on the use of equivalent circuits of various structures for solution of the problems associated with the need to accurately determine the parameters of the dynamic regime in the stator winding and in the excitation winding.

Conclusion. For tasks related to the determination of the currents in the stator winding only, it is necessary to build models in such a way that they correspond to the actual frequency characteristics of the conductivities or resistances of the stator winding. For a refined calculation of the current in the excitation winding, it is necessary to use equivalent circuits synthesized on the basis of adequate frequency characteristics of the stator winding and complex coefficients of the stator current distribution in the excitation winding branches.

Keywords: turbogenerator, equivalent circuit, simulation, transient process, current distribution, excitation winding.

Сведения об авторах

А.М. Ларин

SPIN-код: 2232-6194
 Author ID: 856532
 ORCID iD: 0000-0003-0832-0749
 Телефон: +380 (71) 320-15-24
 Эл. почта: lam@elf.donntu.org

И.И. Ларина

SPIN-код: 9924-8519
 Author ID: 856531
 ORCID iD: 0000-0003-4675-6690
 Телефон: +380 (71) 320-15-23
 Эл. почта: innacompany@yandex.ru

Статья поступила 31.05.2018 г.
 © А.М. Ларин, И.И. Ларина, 2018
 Рецензент д.т.н., проф. А.П. Ковалев

