

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ РАСЧЕТОВ НА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Сивокобыленко В.Ф., Меженкова М.А.

Донецкий государственный технический университет

svf@elf.dgtu.donetsk.ua

*The methods of receiving the equivalent schemes parameters of modern turbogenerators having limited number (2-3) of equivalent rotor circuits according to initial frequency response is expounded. The equivalent schemes parameters of turbogenerators 100-800 megawatt used at present time in power systems are shown. This parameters may be used for mathematical modelling of stationary and transitional operations.*

Одной из важных задач, возникающих при моделировании режимов работы синхронных и асинхронных машин, является определение активных и индуктивных сопротивлений обмоток статора и эквивалентных контуров ротора. Параметры должны отражать явления вытеснения тока в активных материалах машины и влияние насыщения ее магнитных цепей. В качестве исходных данных для определения указанных параметров можно использовать кривые затухания постоянного тока в обмотке статора или частотные характеристики входных проводимостей [1]. Для турбогенераторов мощностью 100-800 МВт, применяемых в электрических системах, сведения об их параметрах в виде сопротивлений множества контуров ротора приведены в работах [1-3]. Однако, использование при моделировании сведений о параметрах в указанном виде затруднительно, что связано со следующим.

В результате обработки экспериментальных кривых затухания постоянного тока в обмотке статора получают параметры многоконтурных схем замещения ротора в осях  $d$  и  $q$  [4]. Использование большого количества контуров при моделировании ведет к усложнению и увеличению времени расчетов. С другой стороны, в работе [5] показано, что двухконтурная схема замещения ротора вполне обоснованно может приниматься в расчетах устойчивости, асинхронных режимов, коротких замыканий и других переходных режимов, поскольку частотная характеристика, соответствующая двум контурам незначительно отличается от экспериментальной в большом диапазоне скольжений.

В настоящей работе ставилась задача получить параметры, удобные для использования при математическом моделировании, для наиболее широко применяемых в настоящее время на электростанциях турбогенераторов.

Для решения этой задачи применен основанный на [5] способ определения параметров схем замещения турбогенераторов электрических станций (ЭС) из частотных характеристик или многоконтурных схем замещения, отличающийся тем, что заданная информация методом минимизации ошибок отклонения преобразуется в наиболее простую схему замещения, содержащую, кроме обмотки возбуждения по оси  $d$ , только две (три) короткозамкнутые демпферные обмотки по каждой из осей  $d$  и  $q$ .

Для оценки правильности полученных данных проводилось сравнение частотных характеристик, построенных по исходным и рассчитанным параметрам.

Ниже приведена методика расчета параметров схем замещения турбогенераторов с двумя эквивалентными контурами ротора по каждой из осей  $d$  и  $q$  без учета обмотки возбуждения. Исходной информацией послужили параметры многоконтурных (количество контуров  $k=2\div 8$ ) схем замещения генераторов, приведенные в следующих литературных источниках: ТВ2-100, ТВВ-320, ТВВ-500 - [1], ТГВ-200 - [2], ТГВ-300 - [1], ТВВ-800 - [3].

Роторную цепь машины по одной из осей  $d$  или  $q$  представим схемой замещения, состоящей из двух параллельных цепей. Тогда дискретные значения роторных проводимостей для диапазона скольжений  $S$  от 0 до 100 можно представить найдем как:

$$G(s) = \sum_{i=1}^2 \frac{Rr(i)/s}{\left(Rr(i)/s\right)^2 + X(i)^2}, \quad B(s) = \sum_{i=1}^2 \frac{X(i)}{\left(Rr(i)/s\right)^2 + X(i)^2}, \quad (1)$$

где  $Rr(i)$ ,  $X(i)$  - активное и индуктивное сопротивления  $i$ -го роторного контура двухконтурной схемы замещения.

Проводимости, определяемые по заданным значениям параметров многоконтурных схем замещения найдем как:

$$g(s) = \sum_{i=1}^k \frac{r(i)/s}{\left(r(i)/s\right)^2 + x(i)^2}, \quad b(s) = \sum_{i=1}^k \frac{x(i)}{\left(r(i)/s\right)^2 + x(i)^2}, \quad (2)$$

где  $r(i)$ ,  $x(i)$  - активное и индуктивное сопротивления  $i$ -го роторного контура многоконтурной схемы замещения;  $k$  - количество заданных контуров ротора.

Воспользовавшись известными значениями проводимостей  $g(s)$  и  $b(s)$  для скольжений  $s_j$ ,  $j=1,2,\dots,n$ , и, используя (1), составляем переопределенную систему нелинейных алгебраических уравнений, порядок которой равен  $2n$ , а число неизвестных - 4:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^2 \frac{Rr(i)/s_1}{\left(Rr(i)/s_1\right)^2 + X(i)^2} - g(s_1) &= 0; \\ \dots \\ \sum_{i=1}^2 \frac{Rr(i)/s_n}{\left(Rr(i)/s_n\right)^2 + X(i)^2} - g(s_n) &= 0; \\ \dots \\ \sum_{i=1}^2 \frac{X(i)}{\left(Rr(i)/s_1\right)^2 + X(i)^2} - b(s_1) &= 0; \\ \dots \\ \sum_{i=1}^2 \frac{X(i)}{\left(Rr(i)/s_n\right)^2 + X(i)^2} - b(s_n) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Система (3) решается одним из методов минимизации, например, методом Левенберга-Маркардта, имеющимся в пакете Mathcad; из нее определяются искомые активные и индуктивные сопротивления двухконтурной схемы замещения ротора.

Ниже в табл. 1 приведены параметры, полученные для турбогенераторов мощностью 100, 200, 300, 320, 500, 800 МВт: активные сопротивления и индуктивности рассеяния обмотки статора -  $R_s$ ,  $X_{\sigma s}$ ; демпферных контуров ротора -  $R_{rd}(1)$ ,  $R_{rd}(2)$ ,  $R_{rq}(1)$ ,  $R_{rq}(2)$ ,  $X_{rd}(1)$ ,  $X_{rd}(2)$ ,  $X_{rq}(1)$ ,  $X_{rq}(2)$ ; обмотки возбуждения -  $R_f$ ,  $X_{\sigma f}$ .

Таблица 1 - Параметры турбогенераторов (о.е.)

Тип	$S_n$ , МВА	$U_n$ , кВ	$\cos \varphi_n$	$I_n$ , кА	$R_s$	$X_{\sigma s}$	$X_{ad}$	$X_{aq}$
ТВ 2-100	117.5	13.8	0.85	4.955	.000902	.113	1.687	1.607
ТГВ-200	235.3	15.75	0.85	8.625	.0011	.124	1.716	1.661
ТГВ-300	353	20	0.85	10.2	.002	.17	2.02	1.955
ТВВ-320	375	20	0.85	10.9	.00126	.148	1.691	1.546
ТВВ-500	588	20	0.85	17	.001797	.242	2.318	2.207
ТВВ-800	888.9	24	0.9	21.4	.00165	.224	2.309	2.283

Тип	$R_{rd}(1)$	$R_{rd}(2)$	$X_{rd}(1)$	$X_{rd}(2)$	$R_{rq}(1)$	$R_{rq}(2)$	$X_{rq}(1)$	$X_{rq}(2)$	$R_f$	$X_{\sigma f}$
ТВ2-100	.007361	.057	.184	.091	.038	.154	.13	.042	.000582	.14
ТГВ-200	.031	.079	.445	.036	.01202	.0917	.2035	.05483	.000845	.19
ТГВ-300	0.013	.205	.146	.207	.012	.095	.208	.05	.00145	.326
ТВВ-320	.00786	.031	.5	.089	.012	.086	.413	.203	.001167	.174
ТВВ-500	.014	.195	.202	.182	.02	.16	.402	.187	.00107	.773
ТВВ-800	.00241	.081	.122	.05	.033	.18	.266	.064	.000972	1.172

Ниже, в качестве примера, на рис.1 приводятся частотные характеристики  $b(s)$ ,  $g(s)$  ротора генератора ТВВ-800 по осям  $d$  и  $q$ , построенные по исходным параметрам (заданным в [4] значениям сопротивлений четырех контуров по оси  $d$  и шести контуров по оси  $q$ ) и характеристики  $B(s)$ ,  $G(s)$ , построенные по полученным из решения системы уравнений (3) параметрам двух эквивалентных контуров. На рис.2 приводятся соответствующие входные частотные характеристики генератора ТВВ-800.

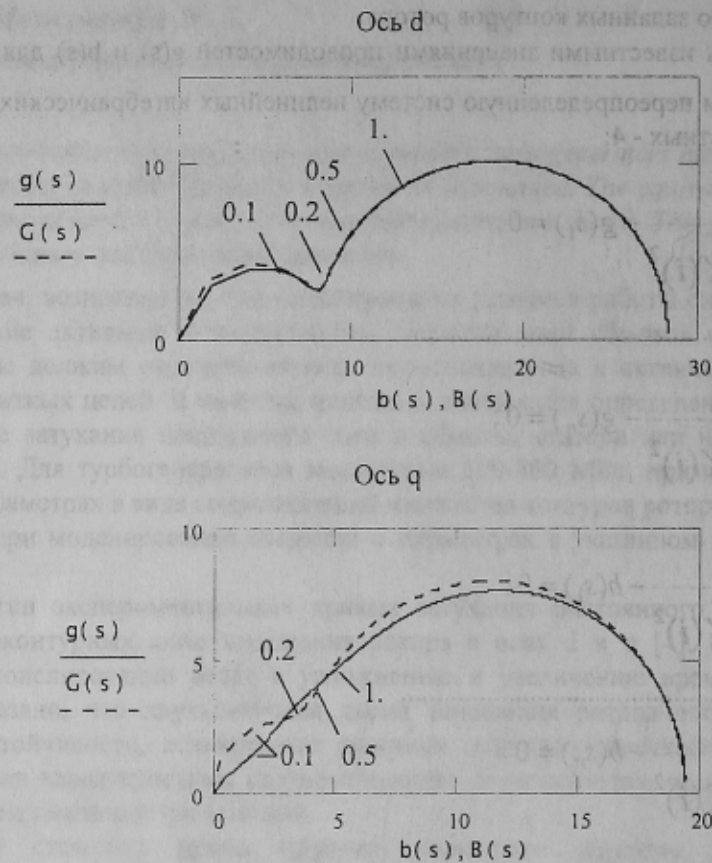


Рисунок 1 - Частотные характеристики ротора турбогенератора ТВВ-800

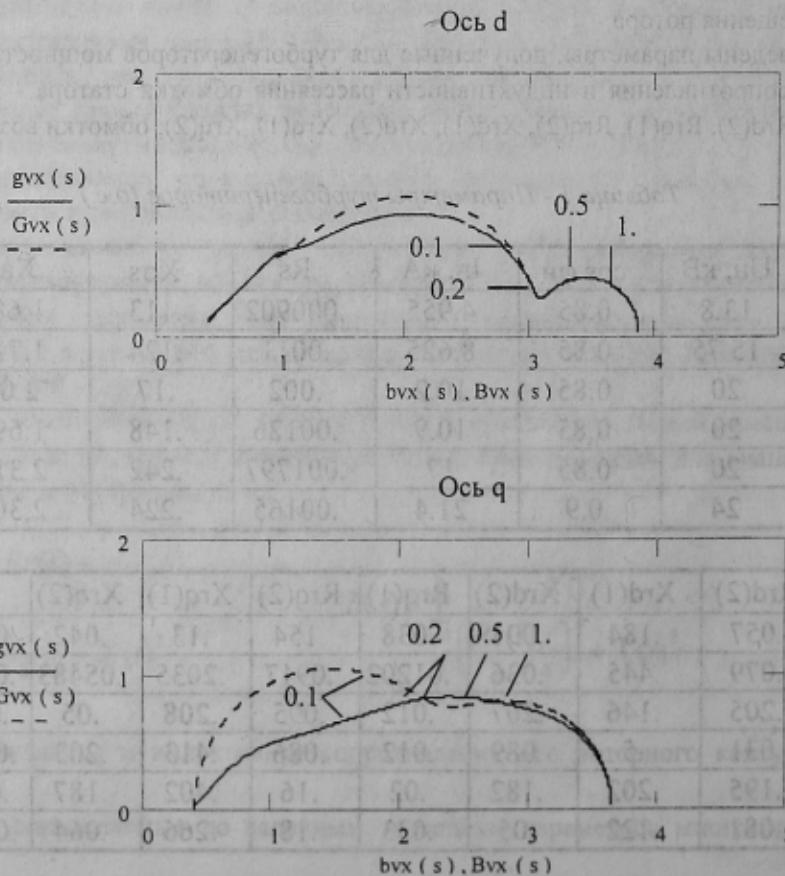


Рисунок 2 - Входные частотные характеристики турбогенератора ТВВ-800



В табл.2 приведены величины среднеквадратических отклонений активной и реактивной проводимостей роторов турбогенераторов по осям d и q, рассчитанных по двухконтурным схемам замещения, от рассчитанных по многоконтурным (исходным) схемам замещения в диапазоне скольжений от 0 до 100.

Таблица 2 - Отклонения расчетных проводимостей роторов турбогенераторов от исходных

Генератор	ТВ2-100				ТГВ-200				ТГВ-300			
	d		q		d		q		d		q	
Проводимость	B	G	B	G	B	G	B	G	B	G	B	G
Среднеквадратическое отклонение, %	3.8	1.3	18.3	17.8	17.3	8.1	7.5	7.5	11	8.5	4.6	4.6
	3.8		17.5		17.1		7.2		10.9		4.4	

ТВВ-320				ТВВ-500				ТВВ-800			
d		q		d		q		d		q	
B	G	B	G	B	G	B	G	B	G	B	G
1.2	0.355	4	1.1	3.7	2.4	2.7	1.3	0.812	0.603	11.8	12.5
1.2		4		3.7		2.7		0.788		11.4	

Следует отметить, что для некоторых турбогенераторов при скольжениях от 0 до 0.1 отклонения характеристик роторов могут существенно превышать среднеквадратические. Отклонения же входных проводимостей, несмотря на это, гораздо меньше, чем роторных, и увеличение числа контуров на роторе не оказывает сильного влияния на входную частотную характеристику. Например, среднеквадратическое отклонение во всем диапазоне скольжений от 0 до 100 полных входных проводимостей при учете ротора турбогенератора ТВВ-800 двумя контурами по оси d составило 0.25%, а по оси q - 1.2%, в то время, как отклонение полных роторных проводимостей по оси d составило 0.788%, а по оси q - 11.4%.

Для повышения точности совпадения частотных характеристик, построенных по параметрам исходных многоконтурных и рассчитанных двухконтурных схем замещения роторов, можно использовать изложенную методику, приняв число контуров на роторе равным 3. Например, для турбогенератора ТВ2-100 среднеквадратическое отклонение полной роторной проводимости по оси q при этом составило 6.1%.

#### Выводы:

1. Изложена методика получения параметров схем замещения современных турбогенераторов с ограниченным числом (2-3) эквивалентных контуров на роторе по исходным частотным характеристикам.
2. Для применяемых в настоящее время в электрических системах турбогенераторов мощностью 100-800 МВт приведены параметры эквивалентных схем замещения, что позволяет использовать их при математическом моделировании стационарных и переходных режимов работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казовский Е.Я., Рогозин Г.Г., Горин В.Я. Исследование частотных характеристик турбогенераторов. - Электротехника, 1975, № 1.
2. В.Я.Горин, Г.Г.Рогозин. Применение экспериментальных частотных характеристик к расчету параметров эквивалентных схем замещения крупных турбогенераторов. В сб. "Автоматизация и оптимизация режимов электрических систем и приводов". Донецк, 1971.
3. Лернер Л.Г., Сидельников А.В. Построение схем замещения электрических машин по заданным частотным характеристикам. - Электротехника, 1974, №11.
4. А.В.Сидельников О синтезе схем замещения электрических машин переменного тока по заданным частотным характеристикам. В сб. "Теория, расчет и исследование высокоиспользованных электрических машин", Наука, 1965.
5. Сивокобыленко В.Ф., Совпель В.Б., Павлюков В.А. Метод определения эквивалентных параметров машин переменного тока.- Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1975, № 2.