

ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА КОНТУРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА НА ТОЧНОСТЬ ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЯ МАССИВА РОТОРА

Рассматривается вопрос об эквивалентировании массивного ротора турбогенератора при помощи нескольких параллельных контуров с постоянными параметрами. Выполнен анализ влияния их друг на друга и на входное сопротивление схемы замещения машины со стороны обмотки статора. Рис. 4, табл.2, ист. 8.

Введение. При моделировании переходных процессов в электрических системах, диагностировании машин переменного тока широко используются схемы замещения с несколькими постоянными контурами. Параметры контуров определяются на основе экспериментальных данных. В [1-6] и др. рассматриваются вопросы о минимальном количестве демпферных контуров схемы замещения, обеспечивающем необходимое качество переходного процесса. При этом без внимания остается вопрос о влиянии числа контуров на точность их получения при обработке экспериментальной информации. Общеизвестно, что при решении задач параметрической идентификации увеличение числа искомых параметров усложняет поверхность функции качества, что затрудняет поиск экстремума, а точность определения параметров при этом также зависит от характера их изменения в окрестностях экстремума. Точность определения параметров контуров влияет на качество решения задач диагностирования, распределения токов между контурами. Не является очевидной связь между точностью определения значений контуров и их числом в процессе параметрической идентификации при использовании метода наименьших квадратов для обработки избыточной информации. Возможно, что последующее эквивалентирование схемы замещения, параметры которой определены с большей точностью, с целью уменьшения количества контуров будет более эффективным, чем определение их меньшего числа в процессе непосредственной обработки экспериментальной информации.

Целью работы является анализ влияния демпферных контуров друг на друга и на совокупность входных сопротивлений схемы замещения машины переменного тока со стороны обмотки статора.

Основные положения. В данной работе рассматривается вопрос об эквивалентировании массивного ротора турбогенератора с помощью получившей распространение многоконтурной схемы с постоянными параметрами (рис. 1). При решении задачи в работе использовались следующие подходы:

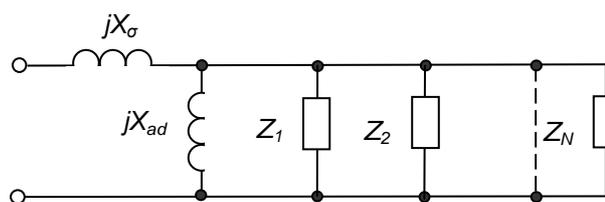


Рисунок 1 – Схема замещения генератора по оси d

параллельных контуров на входное сопротивление схемы замещения при постоянном числе контуров.

1. Получение коэффициентов чувствительности для входного сопротивления схемы замещения относительно последнего из параллельных контуров схемы при изменении их числа.

2. Определение чувствительности любого из

3. Учет полных сопротивлений параллельных участков при выводе коэффициентов чувствительности согласно пп.1 -2. Это дает возможность использовать полученные выражения при анализе чувствительности и в случаях, в которых необходимо учитывать потери в массиве ротора.

4. Исследования проводились на примере турбогенератора ТГВ-200 (параметры многоконтурной схемы замещения, полученные по экспериментальным частотным характеристикам: $x_\sigma=0,175$; $x_{ad}=1,724$; $x_{aq}=1,661$; $r_f=0,000844$; $x_{\sigma f}=0,189$; $x_{\sigma 1d}=0,0443$; $r_{1d}=0,084$; $x_{\sigma 2d}=1,21$; $r_{2d}=0,043$; $x_{\sigma 3d}=2,865$; $r_{3d}=0,00149$; $x_{\sigma 1q}=0,142$; $r_{1q}=0,0336$; $x_{\sigma 2q}=0,091$; $r_{2q}=0,134$; $x_{\sigma 3q}=9,41$; $r_{3q}=2,24$; $x_{\sigma 4q}=2,74$; $r_{4q}=0,0126$; $x_{\sigma 5q}=0,803$; $r_{5q}=0,113$; $x_{\sigma 6q}=0,498$; $r_{6q}=0,0526$; $x_{\sigma 7q}=0,686$; $r_{7q}=0,0187$).

На рис. 2 приведены основная и преобразованная относительно контура, обозначенного \underline{Z}_1 схемы замещения. В соответствии с [7, 8] для преобразованной схемы получены выражения для передаточных функций, коэффициента влияния и чувствительность относительно \underline{Z}_1 . Выражение для определения чувствительности имеет вид:

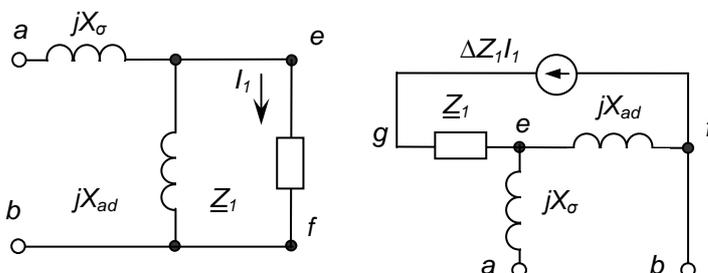


Рисунок 2 – Основная и преобразованная для определения чувствительности относительно \underline{Z}_1 схем замещения генератора по оси d

$$S_{Z_{ex}}^{Z_1} = \frac{(jx_{ad})^2 \cdot \underline{Z}_1}{\left(jx_\sigma + \frac{jx_{ad} \cdot \underline{Z}_1}{jx_{ad} + \underline{Z}_1} \right) \cdot (jx_{ad} + \underline{Z}_1)^2} \quad (1)$$

Ниже приведено общее выражение определения чувствительности схемы замещения с произвольным (K) числом контуров:

$$S_{Z_{ex}}^{Z_k} = \frac{\underline{Z}_k' \cdot \underline{Z}_{(k-1)}^2}{\left(jx_\sigma + \underline{Z}_{(k)}' \right) \cdot \left(\underline{Z}_{(k-1)} + \underline{Z}_k' \right)^2} \quad (2)$$

В (2) используются следующие обозначения:

- \underline{Z}_k' - полное сопротивление последнего контура схемы замещения;
- эквивалентные сопротивления $\underline{Z}_{(0)}$, $\underline{Z}_{(1)}$, $\underline{Z}_{(2)}$, ..., $\underline{Z}_{(K-1)}$:

$$jx_{ad} = \underline{Z}_{(0)}; \quad \frac{jx_{ad} \cdot \underline{Z}_1}{jx_{ad} + \underline{Z}_1} = \underline{Z}_{(1)}; \quad \frac{\underline{Z}_{(1)} \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_2} = \underline{Z}_{(2)}; \quad \frac{\underline{Z}_{(k-2)} \cdot \underline{Z}_{k-1}}{\underline{Z}_{(k-2)} + \underline{Z}_{k-1}} = \underline{Z}_{(k-1)} \quad (3)$$

Выражение (2) дает возможность исследовать изменение влияния последнего параллельного контура схемы замещения по мере роста числа участков. Для анализа влияния любой из параллельных ветвей схемы замещения при их постоянном составе на входную функцию использовалось следующее выражение:

$$S_{Z_{(p)}}^{Z_q} = \frac{(\underline{Z}_{(p-q)})^2 \cdot \underline{Z}_q}{\left(jx_\sigma + \underline{Z}_{(p)}' \right) \cdot \left(\underline{Z}_{(p-q)} + \underline{Z}_q \right)^2} \quad (4)$$

где p – число участков эквивалентирующих массив ротора; q – ветвь для которой проверяется чувствительность; $Z_{(p-q)}$ – эквивалентное сопротивление, получаемое при подключении к эквивалентному сопротивлению из p параллельных контуров нового контура q . Выражения, введенные для упрощения расчетов, представлены ниже:

$$\frac{jX_{ad} \cdot Z_2}{jX_{ad} + Z_2} = Z_{(2-1)}; \quad \frac{Z_{(2-1)} \cdot Z_3}{Z_{(2-1)} + Z_3} = Z_{(3-1)}; \quad \frac{Z_{(5-2)} \cdot Z_6}{Z_{(5-2)} + Z_6} = Z_{(6-2)}; \quad (5)$$

$$\frac{Z_{((p-1)-q)} \cdot Z_p}{Z_{((p-1)-q)} + Z_p} = Z_{(p-q)}.$$

Результаты моделирования. Результаты расчета влияния (чувствительности) последнего параллельного участка схемы замещения на входное сопротивление по мере роста числа участков приведены в табл. 1. В табл. 2 приведены значения расчета чувствительности каждого контура на входное сопротивление при $s=1$.

Здесь же приведен тот же расчет, но для случая, когда контура эквивалентирующие массив ротора расположены в порядке возрастания постоянной времени $T_k = X_k / r_k$. Для оси d порядок расположения контуров не изменился.

Таблица 1 – Результаты расчета чувствительности

Контур	ОВГ	1	2	3	4	5	6	7
Чувствит. по оси d	0,0017 +j0,85	0,025 +j0,045	0,019+ j0,0072	0,018+ j0,0073	-	-	-	-
Чувствит. по оси q	-	0,088 +j0,72	0,024 +j0,036	0,02 +j0,015	0,02 +j0,014	0,018 +j0,014	0,014 +j0,013	0,011 +j0,011
Контура экв. массив ротора расположены в порядке возрастания постоянной времени T_k								
Контур	-	2	3	1	5	6	7	4
Чувствит. по оси q	-	0,398 +j0,762	0,077 +j0,015	0,046 +j0,014	0,019 +j0,014	0,015 +j0,013	0,012 +j0,011	0,01 +j0,011

Таблица 2 – Результаты расчета чувствительности

Контур	ОВГ	1	2	3	4	5	6	7
Чувствит. по оси d	0,041 -j0,091	0,198 -j0,013	0,0068 -j0,014	0,0027 -j0,0057	-	-	-	-
Чувствит. по оси q	-	0,086 -j0,048	0,087 +j0,021	0,0013 -j0,0007	0,0039 -j0,0035	0,015 -j0,01	0,023 -j0,017	0,014 -j0,011
Контура экв. массив ротора расположены в порядке возрастания постоянной времени T_k								
Контур	-	2	3	1	5	6	7	4
Чувствит. по оси q	-	0,093 -j0,031	0,0028 +j0,00003	0,048 -j0,02	0,014 -j0,0089	0,022 -j0,02	0,017 -j0,015	0,0038 -j0,0033

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

1. Влияние последнего контура на входное сопротивление уменьшается с увеличением числа контуров эквивалентитующих массив ротора. По оси d наибольшее влияние оказывает ОВГ (85 %) и 1 контур (4,5%), а по оси q первые три параллельных контура.

2. Влияние контуров на вещественную и мнимую составляющие несколько отличается. Так, для поперечной оси ротора, для мнимой части коэффициента чувствительности, начиная с третьего контура, влияние каждого последующего менее 1.4 % и постепенно снижается до 1 %. Для вещественной составляющей

щей влияние менее 1.5 % характерно начиная с пятого демпферного контура.

3. Имеет место отличие для вещественной и мнимой составляющих коэффициента чувствительности влияние контура на входное сопротивление схемы замещения и при учете всех контуров схемы замещения.

Была получена зависимость изменения влияния (чувствительности) каждого контура на входное сопротивление от скольжения. Графическая зависимость изменения в диапазоне скольжений от 0 до 0,02 о.е. приведена на рис.3.

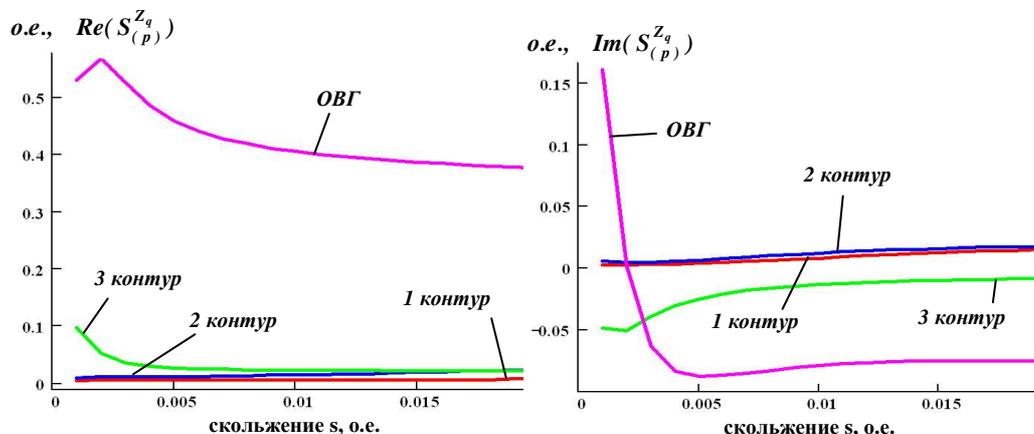


Рисунок 3 - Зависимость изменения влияния (чувствительности) каждого контура на входное сопротивление по оси d от скольжения

Из рис.3 видно, что:

- наибольшее влияние на входное сопротивление по оси d оказывает ОВГ и третий контур в массиве ротора при изменении скольжений от 0 до 0,02 о.е. ;

- степень влияния контуров для мнимой и вещественной составляющих коэффициента различна;

- демпферные контура в большей степени влияют на вещественную составляющую коэффициента.

На рис. 4 приведены совокупности проводимостей (частотная характеристика – ЧХ) со стороны обмотки статора синхронного генератора для различного количества контуров в схеме замещения:

- ЧХ по оси d при учете всех контуров схемы замещения (зависимость 1);

- ЧХ по оси q при учете всех контуров схемы замещения (зависимость 2);

- ЧХ по оси q при учете всех, кроме 3 контура, влияние которого по результатам расчета наименьшее и составляет 0,28% для активного и 0,003% для реактивного сопротивления (зависимость 3);

- ЧХ по оси q при учете всех, кроме 3 и 4 контура (зависимость 4).

Из анализа рис.4 видно, что исключение контура 3 практически не сказывается на ЧХ, исключение контура 4 существенно изменяет ЧХ генератора. На основании этого делаем заключение, что контура, влияние которых менее 0,1% вызывают не значительные изменения во входной проводимости генератора.

Выводы. 1. При числе демпферных контуров не более трех неточности в определении параметров последней ветви порядка 10 % приводят к изменению входного сопротивления при неподвижном роторе порядка 5 %. При большем числе демпферных контуров неточность определения значения последнего контура сказывается менее ощутимо на входном сопротивлении генератора.

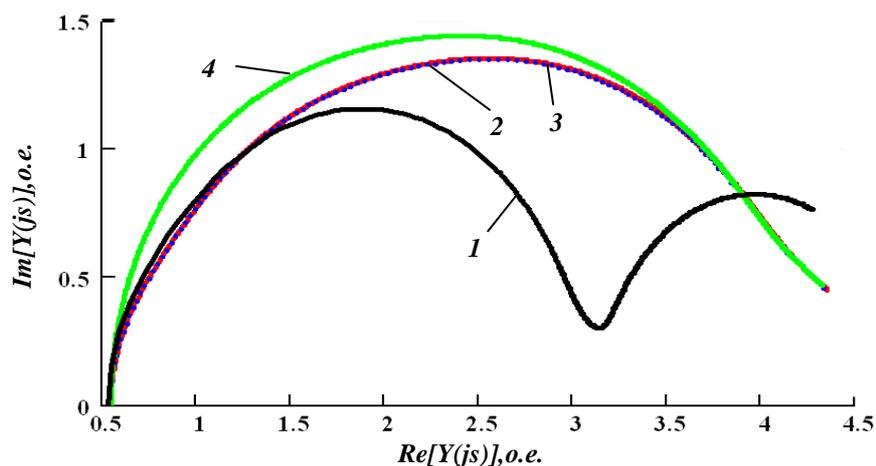


Рисунок 4 - Частотные характеристики турбогенератора ТГВ-200

Таким образом, требование к точности определения параметров возрастает при уменьшении числа параллельных контуров схемы замещения.

2 Для повышения адекватности отражения потерь мощности в массиве ротора, характера движения ротора при нарушениях режима необходимо учитывать большее число контуров в многоконтурной схеме замещения с постоянными параметрами, чем для определения экстремальных параметров режима. Этот вывод подтверждается сопоставительным анализом моделирования аномальных режимов генератора с данными натурных испытаний.

Список литературы

1. Dandeno P.L., Hauth R.L., Schulz R. Effects Synchronous machine modeling in large scale system stability // Trans. IEEE. – 1973. - pas 92. – 2. – P. 574-582.
2. Дандено Р.Л., Кундур Р., Шульц Р.П. Современные тенденции и достижения в области моделирования синхронных машин в электроэнергетике / Перевод с англ. Proc. IEE. – 1974. – 62. –7. – С. 95-106.
3. Coles H.E. Dynamic performance of a turbogenerator utilising 3-term governor control and voltage regulator // Proc. IEE. – 1968. - 115, March. – P. 266-279.
4. Казовский Е.Я., Лернер Л.Г., Сидельников А.В. Синтез схем замещения электрических машин переменного тока по переходным процессам и частотным характеристикам // Электротехника. – 1979. - N5. - С. 6-13.
5. Рогозин Г.Г., Заболотный И.П. Расчет асинхронного режима генератора ТГВ-200 с использованием экспериментальной частотной информации // Изв. Вузов. Энергетика. – 1976. - N8. - С. 3-8.
6. Баракин К.А., Гамм Б.З., Коган Ф.Л. Математическая модель турбогенератора для исследования асинхронного режима его работы на АВМ и ЦВМ. - М.: Энергия. - 1976. - С. 75-84
7. Демирчан К.С. Применение принципа взаимности для расчета электрических цепей с зависимыми источниками // Изв. АН СССР «Энергетика и транспорт». – 1974. -№ 5.
8. Веников В.А., Головицын Б.М., Лисеев М.С. Вопросы применения теории чувствительности к анализу режимов работы электрических систем // Изв. АН СССР «Энергетика и транспорт». – 1969. -№ 5.