

В.А. БАДОВСКИЙ, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков

ПРОГРАММА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА РЕЖИМА НАГРУЗКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧИСЛЕННО-ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ

Представлена програма, яка дозволяє задавати геометричні параметри турбогенератора і проводити автоматизований розрахунок режиму його навантаження. Ця програма написана на мовах програмування DELPHI і LUA, а для чисельно-польових розрахунків автоматично проводить виклик програми FEMM. Наведено результати розрахунків, проведених із застосуванням розробленої програми.

Представлена программа, которая позволяет задавать геометрические параметры турбогенератора и производить автоматизированный расчет режима его нагрузки. Данная программа написана на языках программирования Delphi и Lua, а для численно-полевых расчетов автоматически производит вызов программы FEMM. Приводятся результаты расчетов, проведенных с применением разработанной программы.

Введение. Представляемая программа является продолжением работ по внедрению численно-полевых методик в проектирование и расчет турбогенераторов (ТГ).

Цель работы – произвести автоматизированный расчет заданного режима нагрузки турбогенератора.

Сильной и в тоже время трудоемкой стороной нового продукта является совмещение двух программных сред DELPHI [1] и FEMM (LUA) [2-4]. Главным преимуществом указанного симбиоза стала возможность автоматизации огромного объема рутинных расчетов и операций. Кроме этого появилась возможность придать программному продукту достойный вид и удобный интерфейс.

Описываемая программа позволяет рассчитать ток возбуждения I_E и угол сдвига осей намагничивания обмотки ротора и обмотки статора β , которые необходимы для моделирования заданного режима нагрузки ТГ. В результате пользователь получает рассчитанную для заданного режима нагрузки численно-полевую модель-файл и ряд автоматически рассчитанных параметров ТГ.

Программа состоит из трех частей "1 Построение геометрии", "2 Расчет тока возбуждения и угла сдвига осей намагничивания обмоток ротора и статора (Beta)" и "3 Уточнение тока возбуждения и угла Beta". Остановимся немного подробнее на работе отдельных частей и всей программы в целом. Поле каждого расчета визуально выделено рамкой и содержит набор входных доступных для изменения данных, кнопку расчета и в некоторых случаях элементы, показывающие результаты текущего расчета. После первого нажатия на исполнительный файл программы возникнет окно, внешний вид которого представлен на рис. 1.

1 Построение геометрии		2 Расчёт тока возбуждения и угла сдвига осей намагнич. обмоток ротора и статора (Beta)		3 Уточнение тока возбуждения и угла Beta	
30	число пазов статора, шт	50	частота напряжения, Гц	11547	номинальное фазное напряжение, В
24	шаг обмотки статора по пазам, шт	11038	фазный ток статора, А	11038	номинальный фазный ток статора, А
280	высота паза статора, мм	0.85	косинус Фи, о.е.	21613	исходное значение тока возбуждения, А
40.4	ширина паза статора, мм	11547	требуемое номинальное фазное напряжение, В	159.85	исходное значение угла Beta, град.
1300	диаметр расточки статора, мм	0.2033	сопр. рассеяния о.е.	0.0001	точность пересчёта фазного напряжения и угла Beta
36	число пазов ротора, шт	7245	ток хх в пазу ротора, А=I о.е.	0.0013	угол сдвига оси намагничивания обмотки статора относительно оси ротора
52	число пазовых делений ротора, шт	14497	ток РЯ приведенный к пазу ротора, А	0.0613	инд. сопр. пов. рассеяния, о.е.
160	высота паза ротора, мм	0.0001	точность опр. тока ротора (соответно разнч. потоку)	0.001269	экт. сопр. обн. статора, Ом
33.9	ширина паза ротора, мм	0	ток возбуждения, А		
1120	диаметр ротора, мм	0	угол Beta, град.		
Качество прорисовки геометрии					
Точно					
1 Построить модель		2 Рассчитать Beta, IE		3 Уточнить Beta, IE	

Рис. 1. Внешний интерфейс программы расчета режима нагрузки.

Изначально в программу заданы геометрические параметры ТГ мощностью порядка 325 МВт. Введены кривые намагничивания ротора и статора (с учетом анизотропии). Расчетная модель ТГ в его поперечном сечении представленная на рис.2.

При желании в первой части программы пользователь может в небольших пределах изменять геометрические параметры поперечного сечения ТГ. Также добавлена возможность выбора качества детализации прорисовки геометрии сечения статора и ротора.

Во второй части программы происходит ряд расчетов, аналогичных построению диаграммы Потье. Пользователь вводит напряжение U_s , ток статора I_s и угла сдвига фаз напряжения и тока статора φ , обеспечивающие требуемую мощность ТГ [5]:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi.$$

Кроме того, чтобы начать расчет, надо иметь первое приближение тока возбуждения на холостом ходу в пазу, индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора, и ток реакции якоря, приведенного к пазу ротора. Эти значения могут быть взяты из классической методики или определены по предварительным численно-полевым расчетам.

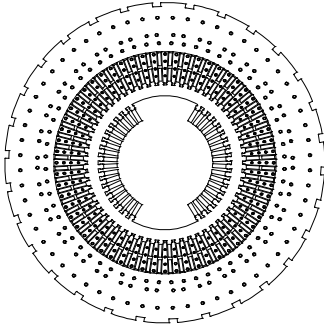


Рис. 2. Расчетная модель ТГ с точным представлением элементов.

Необходимая характеристика холостого хода заменяется численно-полевыми расчетами. В результате определяют I_E и β . Расчет β проводится для обеспечения адекватных мгновенных значений фазных токов обмотки статора i_A, i_B, i_C при моделировании режима нагрузки [6]:

$$i_A = I_m \cos(\omega t - \beta);$$

$$i_B = I_m \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \beta);$$

$$i_C = I_m \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi - \beta);$$

где I_m – амплитудное значение тока статора; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота;

f – частота напряжения; t – момент времени. Поскольку найденные значения I_E и β зачастую не позволяют обеспечить требуемую мощность ТГ, предусмотрена третья часть программы.

В третьей части программы производится уточнение I_E и β , обеспечивающих достижение требуемой мощности ТГ. Пользователю потребуется ввести активное сопротивление обмотки статора R_s (при температуре 75°C), индуктивное сопротивление лобового рассеяния X_v . После окончания расчета в последней строке окна результатов будут последовательно выведены финальные значения I_E и β , а также обеспечиваемые ими U_s и ϕ . Помимо этого, в каталоге с исполнительным файлом будет создан подкаталог, в который будут помещены текстовый файл с гармоническим анализом ЭДС обмотки статора [7] и рассчитанная для данного режима нагрузки численно-полевая модель-файл. Эти файлы можно использовать для дальнейших расчетов и извлечения массы электромагнитных параметров и характеристик [8].

Ключевым преимуществом данной части программы является примененный алгоритм автоматической корректировки направления расчетов. Для достижения большой точности результатов, программа проводит ряд однотипных длительных расчетов. При отсутствии указанного алгоритма требовалось большое количество расчетов и ручная корректировка направления последующих расчетов. А после введения алгоритма высокая точность результатов достигается в пределах десяти численно-полевых расчетов без какой-либо корректировки промежуточных данных пользователем.

Для проверки адекватности получаемых по этой программе результатов был проведен ряд тестовых расчетов. Полученные значения сравнивались с аналогами, рассчитанными по классическим методикам. По программе был рассчитан режим номинальной нагрузки. Ток возбужде-

ния требуемый для обеспечения номинальной мощности отличается от своего классического аналога менее чем на 0,5%.

Вывод. Представленная программа позволяет отобразить форму и размеры электромагнитной системы, учитывает заполнение статорной сердечника статора, его магнитные свойства (кривые намагничивания) по двум осям анизотропии. По результатам расчетов магнитного поля могут быть определены практически любые его электромагнитные параметры и характеристики. Разработанные расчетные подходы и программное обеспечение позволяют обеспечивать необходимые данные и условия для выполнения дальнейших этапов воплощения и совершенствования концепции численно-полевого программного комплекса проектирования ТГ.

Список литературы: 1. <http://www.borland.com>. 2. *Meeker D.* Finite Element Method Magnetics. Version 4.2. User's Manual, February 5, 2009 // <http://femm.foster-miller.net>, 2007. 3. *Мильх В.И., Поляков И.В., Полякова Н.В., Штангеев Е.И.* Расчетно-экспериментальное тестирование программы FEMM и преодоление проблем ее использования для расчета магнитного поля электрических машин // Электротехника і електромеханіка. – 2004. – №3. – С. 38-43. 4. *Мильх В.И., Бадовский В.А.* Сравнительный анализ магнитного поля в турбогенераторе мощностью 320 МВт // Вестник НТУ "ХПИ". Сборник научных трудов. Тематический выпуск. Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2006. – №35. – С.74-78. 5. *Вольдек А.И.* Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. – 832 с. 6. *Мильх В.И., Полякова Н.В.* Анализ фазовых соотношений электромагнитных величин в турбогенераторе на основе численных расчетов магнитных полей // Электротехніка і електромеханіка. – 2003. – №4. – С. 59-64. 7. *Мильх В.И., Полякова Н.В.* Гармонический анализ ЭДС в турбогенераторе на основе численных расчетов вращающихся магнитных полей в различных режимах. // Электротехніка і електромеханіка. – 2004. – №4. – С. 46-51. 8. *Мильх В.И., Полякова Н.В.* Определение электромагнитных параметров электрических машин на основе численных расчетов магнитных полей // Электротехніка і електромеханіка. – 2006. – №2. – С.40-46.



Бадовский Владимир Александрович. Аспирант, защитил диплом магистра в Харьковском политехническом институте по специальности "Электрические машины и аппараты" в 2006 г. Работает над завершением диссертации кандидата технических наук по специальности "Электрические машины и аппараты".

Научные интересы связаны с численно-полевыми расчетами параметров турбогенераторов.

Поступила в редколлегию 16.06.2009