

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В СРЕДЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Гармаш В.С.

Донецкий государственный технический университет

Gws@elf.dgtu.donetsk.ua

Предлагается разработка математической модели синхронного генератора по полным дифференциальным уравнениям для исследования переходных и стационарных режимов работы. Разработка выполнена в среде LabVIEW и имеет графический интерфейс для управления различными режимами работы генератора. Выполнен анализ возможностей LabVIEW, предложен оригинальный алгоритм.

Среда графического программирования LabVIEW широко используется в промышленности, образовании и научно-исследовательских лабораториях в качестве стандартного инструмента для сбора данных и управления приборами в различных технологических схемах. Концепция LabVIEW сильно отличается от последовательной природы традиционных языков программирования, предоставляя легкую в использовании графическую оболочку, которая включает в себя весь набор инструментов, необходимых для сбора данных, их анализа и представления полученных результатов.

Применение указанной среды для создания математических моделей различных элементов энергосистемы (парогенераторов, турбин, синхронных генераторов, трансформаторов, линий электропередачи, элементов нагрузки) с целью их использования в качестве задающих элементов в единой энергосистеме для изучения средств сбора данных, исследования режимов работы, законов построения автоматизированных систем управления и подготовки оперативного персонала является актуальной.

Целью настоящей работы является создание математической модели синхронного генератора, работающего через трансформатор на шины бесконечной мощности с учетом переходных процессов в системе возбуждения и разработка графической оболочки для оперативного управления его режимами работы.

При разработке математической модели синхронного генератора примем схему замещения с одним демпферным контуром по оси d рис. 1:

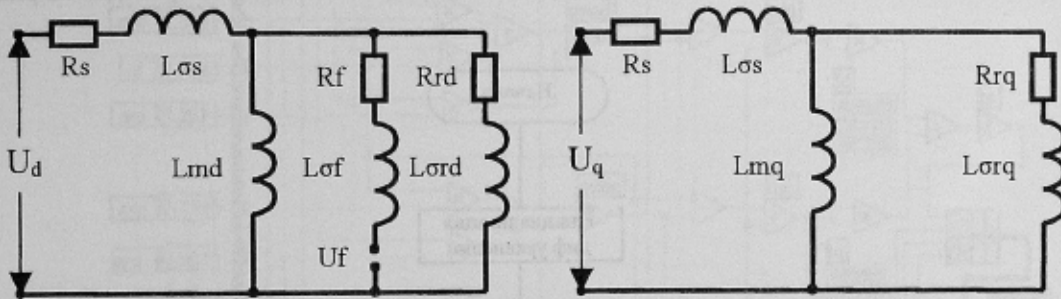


Рисунок 1-Схема замещения синхронного генератора по осям d,q

где R_s, R_f, R_{rd}, R_{rq} - активные сопротивления генератора обмоток статора, возбуждения, демферных контуров;
 $L_{\sigma s}, L_{\sigma f}, L_{\sigma rd}, L_{\sigma rq}$ - индуктивности рассеяния обмоток статора, возбуждения, демферных контуров;
 L_m - индуктивность ветви намагничивания;
 U_d, U_q, U_f - напряжения обмоток статора и возбуждения.

Классические уравнения Парка-Горевы синхронного генератора [1] для схемы замещения рис. 1 имеют вид:

$$\begin{cases} U_d = -i_d \cdot R_s - d\Psi_d / dt + \omega \cdot \Psi_q; \\ U_q = -i_q \cdot R_s - d\Psi_q / dt - \omega \cdot \Psi_d; \\ U_f = i_f \cdot R_f + d\Psi_f / dt; \\ 0 = i_{rd} \cdot R_{rd} + d\Psi_{rd} / dt; \\ 0 = i_{rq} \cdot R_{rq} + d\Psi_{rq} / dt; \end{cases} \quad (1)$$

Опуская ряд преобразований, которые следуют из схемы замещения и которые можно найти в [2], окончательно запишем систему дифференциальных уравнений синхронного генератора в осях d,q:

$$\begin{cases}
 \frac{d\psi_d}{dt} = -U_d - \frac{R_s}{L_{\sigma s}}\psi_d + \frac{R_s}{L_{\sigma s}}\psi_{md} + \omega \cdot \psi_q; \\
 \frac{d\psi_q}{dt} = -U_q - \frac{R_s}{L_{\sigma s}}\psi_q + \frac{R_s}{L_{\sigma s}}\psi_{mq} - \omega \cdot \psi_d; \\
 \frac{d\psi_f}{dt} = U_f - \frac{R_f}{L_{\sigma f}}\psi_f + \frac{R_f}{L_{\sigma f}}\psi_{md}; \\
 \frac{d\psi_{rd}}{dt} = -\frac{R_{rd}}{L_{\sigma rd}}\psi_{rd} + \frac{R_{rd}}{L_{\sigma rd}}\psi_{md}; \\
 \frac{d\psi_{rq}}{dt} = -\frac{R_{rq}}{L_{\sigma rq}}\psi_{rq} + \frac{R_{rq}}{L_{\sigma rq}}\psi_{mq}; \\
 \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J}(m_m - m_e); \\
 \frac{dy}{dt} = \omega.
 \end{cases} \quad (2)$$

Значение электромагнитного момента генератора выражается формулой:

$$m_e = \frac{1}{L_{\sigma s}} \cdot (\Psi_q \cdot \Psi_{md} - \Psi_d \cdot \Psi_{mq}) \quad (3)$$

Значение момента турбины m_m принимается постоянным, не зависящим от режимов работы генератора.

Моделирование регуляторов системы возбуждения выполняется по упрощенным зависимостям:

нормальный режим $U_f = U_{fxx} + K_u \cdot U_s + K_i \cdot I_s$;

форсировка $U_f = U_{fpr}$,

где K_u, K_i – коэффициенты регулирования по напряжению и току статора.

Приведенные уравнения являются исходными при разработке программы расчета переходных и установившихся режимов работы синхронного генератора. Алгоритм решения задачи приведен на рис. 2.

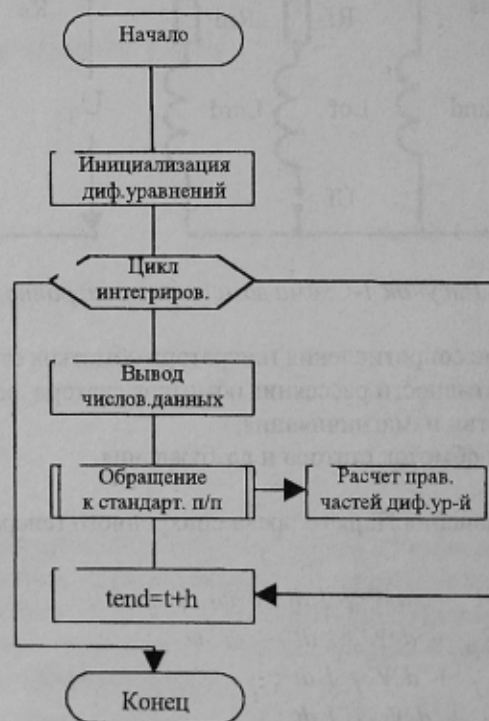


Рисунок 2-Алгоритм решения задачи

Основополагающий для LabVIEW принцип *потока данных* (dataflow), согласно которому функции выполняются лишь тогда, когда они получают на вход необходимые данные, однозначно определяет поряд-

док исполнения алгоритма. Программа, написанная в среде LabVIEW, называется виртуальным прибором (VI-virtual instrument). Программная реализация виртуальных приборов использует в своей работе принципы иерархичности и модульности [3].

Применение стандартных процедур LabVIEW для интегрирования системы уравнений требует представления правой части дифференциального уравнения (2) в виде массива текстовых констант, что затрудняет внесение изменений в численные значения отдельных параметров, которые необходимо выполнять на каждом шаге интегрирования, например, изменение напряжения возбуждения U_f при форсировке. Поэтому в данной работе разработана программа интегрирования системы дифференциальных уравнений на одном шаге методом Рунге_Кутты 4-го порядка и представлена в виде модуля RKSTP1, лишенная указанных недостатков.

Исходя из выше изложенного можно предложить алгоритм решения системы дифференциальных уравнений синхронного генератора в среде LabVIEW, приведенный на рис. 3.

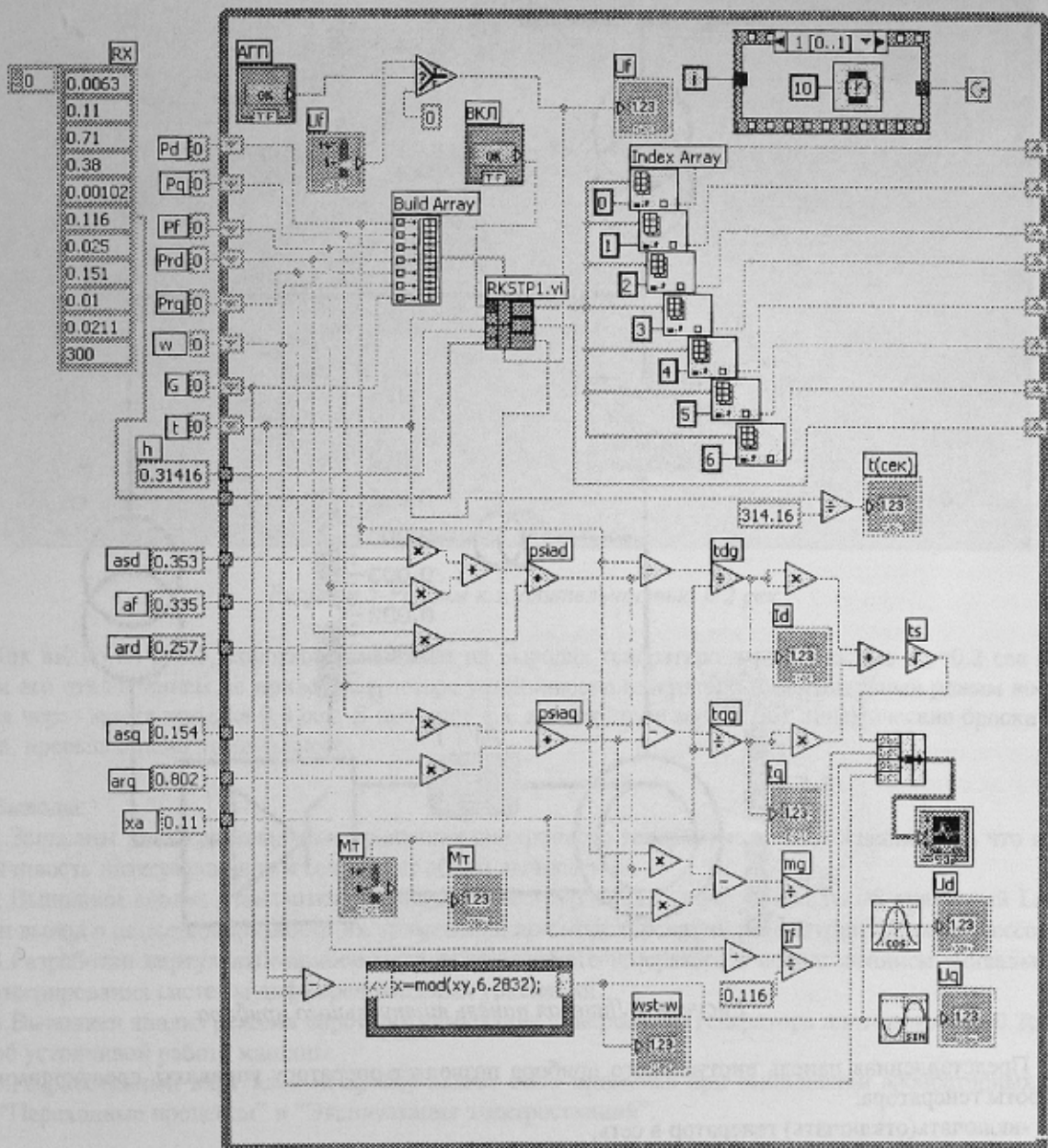


Рисунок 3-Блок-диаграмма модели синхронного генератора

Дадим краткую характеристику алгоритма рис.2 и рис.3.

Блок 1. Представляет собой набор констант, которые определяют значения параметров схемы замещения рис. 1, коэффициентов и начальные значения интегрируемых переменных.

Блок 2. Является оператором цикла по условию (**While Loop**). Этот цикл определяет количество точек интегрирования с заданным шагом. Внутри цикла предполагается наличие процедуры интегрирования системы дифференциальных уравнений на одном шаге.

Блок 3. Реализует зависимости вычисления покосцеплений ветви намагничивания, результирующего вектора тока, электромагнитного момента генератора с помощью средств LabVIEW.

Блок 4. Является модулем RKSTP1, выполняющим интегрирование системы дифференциальных уравнений на одном шаге методом Рунге-Кутты 4-го порядка.

Блок 5. Выполняет выход из цикла путем изменения пользователем логической константы.

Блок 6. Блок расчета правых частей дифференциальных уравнений синхронного генератора (2). Он представляет из себя структуру формульный узел (Formula Node) и находится внутри модуля RKSTP1.

Кроме описанных элементов в блок-диаграмму входят логические элементы, регуляторы значений напряжения возбуждения и момента турбины, осциллограф и блок задержки решения.

Лицевая панель (Front Panel) виртуального прибора (VI), реализующего алгоритм работы синхронного генератора по его полным дифференциальным уравнениям и соответствующего блок-диаграмме рис.3 представлена на рис.4.

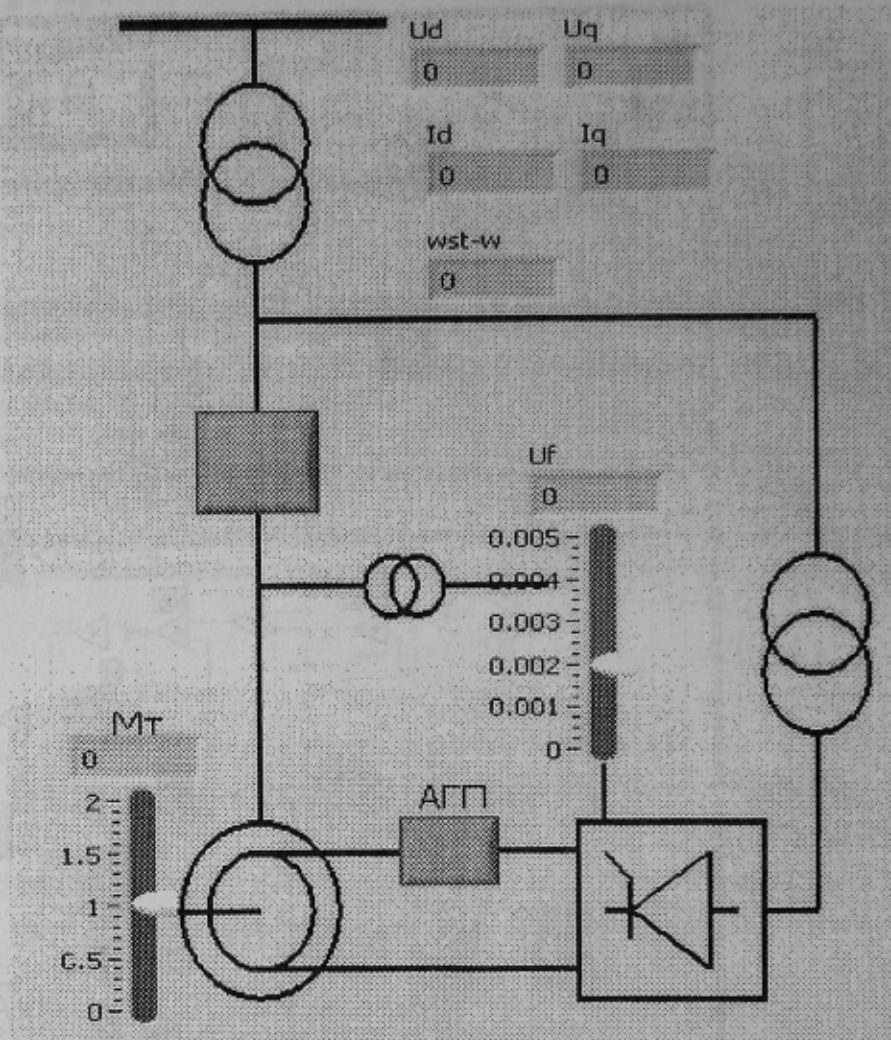


Рисунок 4-Лицевая панель виртуального прибора

Представленная панель виртуального прибора позволяет оператору управлять следующими режимами работы генератора:

- включать(отключать) генератор в сеть;
- включать(отключать) возбуждение;
- изменять вручную режимы возбуждения ;
- изменять вручную режимы работы турбины.

Результаты работы модели можно наблюдать на цифровых индикаторах (показаны на виртуальном приборе) и на виртуальном осциллографе.

В качестве примера приведем режим короткого замыкания на выводах недовозбужденной электрической машины длительностью $t_{кз}=0.2$ сек, представленный на рис.5.

В качестве исследуемого принят генератор СГД-16-69-6 мощностью $P_n=3500$ кВт, напряжением $U_n=6.3$ кВ и частотой вращения $n_n=1000$ об/мин. Расчет параметров схемы замещения и относительных еди-

ниц выполнены по методике [4]. Значения этих параметров приведены на блок-диаграмме рис.3. Шаг интегрирования принимался равным $h=0.001$ с.

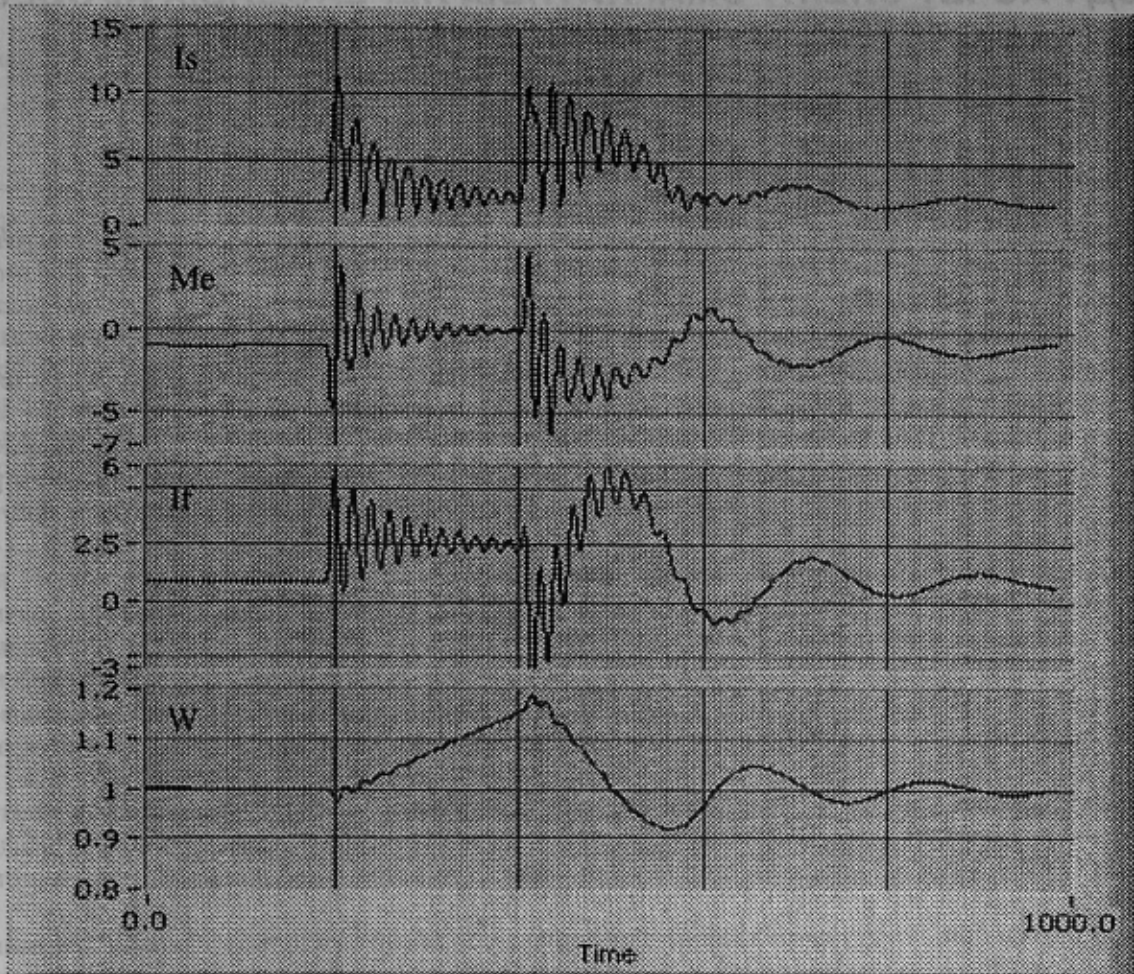


Рисунок 5-Режим к.з. длительностью 0.2 сек

Как видно из рис.5, короткое замыкание на выводах генератора длительностью $t_{к.з.}=0.2$ сек с последующим его отключением не приводит к потере устойчивости генератора и номинальный режим восстанавливается через время порядка 0.6 сек. В процессе к.з. в генераторе возникают динамические броски токов и момента, превышающие номинальные.

Выводы:

1. Записаны дифференциальные уравнения синхронного генератора в потокосцеплениях, что повышает устойчивость интегрирования и сокращает объем вычислений.
2. Выполнен анализ стандартных процедур интегрирования дифференциальных уравнений LabVIEW и сделан вывод о нецелесообразности их применения при моделировании рассматриваемых процессов.
3. Разработан виртуальный прибор модели синхронного генератора с использованием уникального модуля интегрирования системы дифференциальных уравнений.
4. Выполнен анализ режима короткого замыкания синхронного генератора длительностью 0.2с, сделан вывод об устойчивой работе машины.
5. Разработанный виртуальный прибор может быть применен при выполнении лабораторных работ в курсах "Переходные процессы" и "Эксплуатация электростанций".

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. -М.-Л.:Госэнергоиздат,1963
2. Гармаш В.С. Моделирование переходных режимов работы электростанций с асинхронными генераторами. -Сб. науч. тр. ДонГТУ. Серия: Электротехника и энергетика, выпуск 4: Донецк: ДонГТУ,1999. -262с.
3. LabVIEW для всех / Джеффри Тревис: Пер. с англ.-М.: ДМК Пресс; Прибор Комплект,2004. -544 с.
4. Применение аналоговых вычислительных машин в энергетических системах (методы исследования переходных процессов) / Под ред. Н.И.Соколова - 2-е изд., перераб и доп.-М.: Энергия,1970.- 396с.