

СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО АГРЕГАТА

А.Н. Андреев

г. Челябинск, ЮУрГУ

Рассмотрены методы моделирования объектов управления при изучении, отладке и настройке устройств релейной защиты и автоматики. Показаны преимущества статических моделей управляемых объектов, представлен вариант реализации модели электромашинного агрегата с использованием статических характеристик реальных объектов и их математических моделей.

В процессе изучения работы устройств релейной защиты и автоматики часто необходимо моделировать поведение электроэнергетических объектов в условиях протекания переходных электро-механических процессов. Это позволяет оценить степень быстродействия и уровень селективности применяемых алгоритмов защиты. Исследовать влияние интенсивности и длительности протекания переходных процессов на устойчивость работы автоматических регуляторов режимных параметров. Изучить особенности взаимодействия устройств релейной защиты, противоаварийной и технологической автоматики.

Одним из возможных решений задачи моделирования электроэнергетического комплекса является применение физических моделей электро-энергетических объектов, имеющих между собой непосредственную электрическую и/или механическую связь. Известные недостатки такого подхода, а именно, громоздкость испытательного оборудования, несоответствие параметров реальных объектов и их физических моделей, сложность получения реальных постоянных времени на моделях с малой мощностью и пониженным напряжением и др., привели к широкому применению методов математического моделирования электро-энергетических объектов различного уровня сложности. А для обеспечения взаимодействия математической модели и реального устройства автоматического управления (защиты) применяются платы ввода-вывода с выходными сигналами, пропорциональными режимным параметрам исследуемого электроэнергетического объекта.

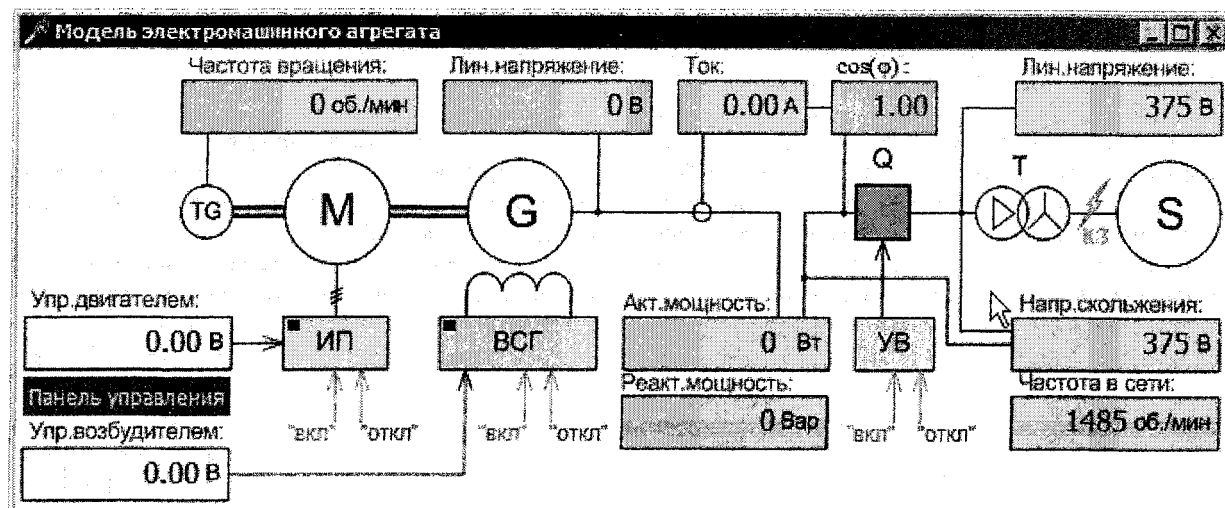
Недостатком подобных систем является или необходимость ограничения моделированием только одного объекта, например, генератора, без учета влияния на него реальной электроэнергетической системы, в составе которой он работает, или невозможность одновременного моделирования нескольких связанных между собой объектов в режиме реального времени. В первом случае взаимодействие устройства автоматического управления и математической модели объекта управления оказывается далеким от реального. Например, рассмотрим случай исследования работы автоматического регулятора возбуждения (АРВ) синхронного

генератора. Для этого необходима математическая модель связки турбина-генератор. Если эта модель не будет учитывать наличие и особенности работы автоматического регулятора частоты вращения (АРЧВ), то становится невозможным оценить, скажем, влияние быстродействия АРЧВ на работу АРВ. То есть, рассматриваемый АРВ будет находиться в искусственных условиях, не позволяющих исследовать его работу во всех возможных режимах. Во втором случае, неравномерность временных параметров (динамическое изменение масштаба по времени) вообще не позволяет исследовать эффективность реализованных алгоритмов автоматического управления в режиме реального времени.

В качестве решения поставленной задачи предлагается для исследования работы устройств автоматического управления и релейной защиты использовать статическую модель электроэнергетического комплекса, включающую минимальный набор объектов, связанных между собой и допускающих внешнее управление. Примером такой системы, является модель электромашинного агрегата, показанная на рисунке.

Модель представляет собой программную реализацию работы синхронного генератора в составе объединенной электроэнергетической системы. Основными элементами модели являются: приводной двигатель М, имитирующий паровую или гидравлическую турбину, трехфазный синхронный генератор G, связанный с приводным двигателем механически (на одном валу), выключатель Q, трансформатор Т и энергосистему бесконечной мощности S.

Модель обеспечивает управление приводным двигателем посредством управления источником питания ИП приводного двигателя, управление возбуждением синхронного генератора посредством управления возбудителем синхронного генератора ВСГ, а также управление состоянием («включено» / «выключено») выключателя Q, измеряемых сигналов выступают: частота вращения электромашинного агрегата n , линейное напряжение на выводах статорной обмотки генератора U_G , его активная P_G , реактивная Q_G мощность, ток I_G и $\cos \phi$, линейное напряжение со стороны



Модель электромашиного агрегата (главное окно программы)

системы U_S , напряжение скольжения U_{SS} и частота вращения синхронных машин в сети p_S .

Программа поддерживает возможность управления по двум аналоговым и шести дискретным сигналам от внешних (физических) устройств автоматического управления, а также вывод режимных параметров электромашиного агрегата по восьми аналоговым каналам платы ввода-вывода сигналов. Это означает, что модель может использоваться при разработке, наладке и настройке параметров реальных устройств автоматического управления энергоблоком, выполненных на полупроводниковой или микропроцессорной элементной базе.

Рассмотрим основные принципы, которые были использованы при реализации программной модели. За основной параметр была принята частота вращения электромашиного агрегата n . В режиме холостого хода, уравнение, описывающее зависимость частоты вращения агрегата от величин моментов, действующих на его вал и выраженных в относительных единицах, описывается известным уравнением [1]:

$$M_{BP}^* - M_C^* = T_a \cdot \frac{d\omega^*}{dt}, \quad (1)$$

где M_{BP}^* – вращающий момент, создаваемый приводным двигателем и пропорциональный напряжению управления источником питания приводного двигателя;

M_C^* – момент сопротивления агрегата, определяемый трением и нагрузкой синхронного генератора;

T_a – механическая постоянная времени электромашиного агрегата, фактически равная времени полной остановки агрегата при его отключении от сети и действии неизменного момента сопротивления равного 1.

Любое изменение режимных параметров, та-

кое как изменение вращающего момента приводного двигателя, или изменение тока возбуждения синхронного генератора, приводит к протеканию электрохимического переходного процесса, при котором происходит изменение частоты от некоторого текущего значения ω до нового установившегося значения ω_H в соответствии с уравнением (1). Для решения дифференциального уравнения, описывающего данный переходный процесс необходимо знать величину ω_H , которая определяется напряжением управления приводного двигателя U_C и напряжением управления источником возбуждения U_F синхронного генератора:

$$\omega_H = f_1(U_C, U_F) \quad (2)$$

и задается в виде статической характеристики, рассчитанной в среде математического моделирования, например, VisSim или MathLab [2], или снятой с реального электромашиного агрегата. А зависимость напряжения на выводах статорной обмотки синхронного генератора определяется текущей частотой вращения и напряжением возбуждения по другой статической характеристике:

$$U_G = f_2(n, U_F). \quad (3)$$

В синхронном режиме, частота вращения электромашиного агрегата определяется частотой вращения синхронных агрегатов в системе, а режимные параметры U_G , P_G , Q_G , I_G и $\cos \phi$ являются функциями напряжения управления приводным двигателем и напряжения управления током возбуждения синхронного генератора, которые также задаются в виде статических характеристик.

Моделирование электромагнитных переходных процессов при таком подходе невозможно, и это основной его недостаток. Поэтому область применения статических моделей и рассматриваемой программы в частности, ограничена. Однако, большинство устройств релейной защиты и автоматики по принципу действия реагируют только

на действующие значения токов, напряжений, мощности и др. В этих условиях применение статических моделей позволяет выполнять отладку устройств автоматического управления в полном объеме. При этом если статические характеристики модели сняты с реального агрегата, а коэффициенты трансформации измерительных цепей и цепей управления модели соответствуют коэффициентам реальных сигнальных цепей, то работа устройства автоматического управления или устройства защиты на рассматриваемой модели будет

практически полностью соответствовать его работе с реальным объектом.

Литература

1. Курбангалиев У.К. Самозапуск двигателей собственных нужд электростанций. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 64 с.
2. Дьяконов В. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование М.: СОЛОН-Пресс, 2004.

Андреев Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические станции сети и системы» ЮУрГУ, окончил ЮУрГУ в 2000 г. по специальности «Автоматическое управление электроэнергетическими системами».