

УДК 621.311

В.М. Рябенский, А.О. Ушкаренко,
Махмуд Аль-Суод Мохаммад, Халед Омар Ганнам

МУЛЬТИКОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Представлено модель автономної електростанції з дизель-генераторним агрегатом, модель мікропроцесорної системи керування дизель-генератором та напівпровідниковим перетворювачем електроенергії. Розглянуто особливості створення мультикомп'ютерних моделей для моделювання процесів в електроенергетиці.

Введение. Моделирование как инструмент научных исследований в области силовой электроники и электроэнергетики применяется в последнее время все более широко. В литературных источниках [1-3] описываются различные инструменты моделирования и объекты моделирования. Наиболее популярной программой для моделирования процессов в электроэнергетических системах является Matlab Simulink. В этой программе содержится большое количество моделей устройств электроэнергетики, которые легко адаптируются под конкретные параметры и позволяют решать самые разнообразные задачи. Возможность подключения дополнительных модулей существенно расширяет ее возможности для исследования как традиционных, так и достаточно сложных процессов. Так, например, имеется возможность исследования случайных явлений и процессов, имеющих место в устройствах электроэнергетики. Но все же возможности его не безграничны, и для многих практических задач его использование сопровождается значительными трудностями. Одной из проблем моделирования процессов в электроэнергетике состоит в отсутствии возможности использования микропроцессорных систем со своими алгоритмами управления, что ограничивает круг решаемых задач. Многие программы позволяют выполнить моделирование аналоговых, цифровых и микропроцессорных систем, а результаты моделирования отображаются с помощью многочисленных виртуальных приборов, которые имеются в этих программах. Однако в них отсутствует возможность передачи результатов моделирования во внешнюю среду для дальнейшего использования. В программе для моделирования электронных систем Proteus эти недостатки устранены. С использованием специальных коммуникационных модулей имеется возможность выполнить моделирование микропроцессорных систем управления и проверить их работу на модели, созданной в другой программе, например MatLab. Использование коммуникационных возможностей этих программ позволяет создавать мультикомпьютерные модели с микропроцессорными системами управления объектами автономной электроэнергетики, в частности дизель-генераторными агрегатами. Подобный подход позволяет разработчикам перенести программное обеспечение микропроцессорных систем управления в реальные устройства без необходимости его изменения, что уменьшает время разработки и позволяет заранее выявить все ошибки программного обеспечения, основываясь на результатах моделирования. Связь между компьютерами организуется по одному из стандартных интерфейсов (RS232, Ethernet), что также позволяет провести исследование информационных потоков, оценить влияние задержек передачи информационно-управляющих пакетов на качество управления. Многочисленные эксперименты по моделированию микропроцессорных систем управления, проведенные авторским коллективом, подтвердили полное соответствие результатов моделирования результатам, которые получены на реальных объектах.

Постановка проблемы. При моделировании устройств автономной электроэнергетики возникают проблемы, связанные с точностью математических расчетов, согласованием физического и модельного времени, организацией обмена данными между различными программами, в которых моделируются объекты управления (дизель-генератор, полупроводниковый выпрямитель) и их системы управления (микропроцессорная система управления возбуждением генератора и оборотами дизеля, система импульсно-фазового управления выпрямителем). В статье выполняется разработка и исследование работы микропроцессорных систем управления дизель-генератором и полупроводниковым выпрямителем в условиях колебаний частоты напряжения.

Актуальность проблемы обусловлена необходимостью повышения качества выходного напряжения полупроводниковых выпрямителей, что может быть достигнуто путем использования новых алгоритмов управления. Исследование качества работы таких систем выполняется путем моделирования. Поэтому актуальна задача разработки модели автономной электроэнергетической системы с полупроводниковым выпрямителем в Matlab и моделей микропроцессорных систем управления в программе Proteus, а также их совместное моделирование с целью исследования качества управления и эффективности разработанных алгоритмов. Сопряжение между компьютерами, на которых моделируются дизель-генератор с выпрямителем и их системы управления, выполняется по интерфейсу RS232. Для исследования процессов, которые происходят в энергосистеме при изменении частоты приводных двигателей, необходимо моделировать процесс низкочастотных колебаний, который будет адекватен реальному. Поэтому актуальной также является задача имитации низкочастотных помех непрерывного характера [4, 5], которая сводится к формированию случайного процесса, соответствующего реальному.

Решение задачи. Задача имитации низкочастотных помех непрерывного характера сводится к формированию случайного процесса, соответствующего реальному. Эта задача решается с помощью генератора белого шума и формирующего фильтра, и описывается выражением:

$$G_{\text{вых}}(\omega) = B_{\text{ш}}^2 |W_{\text{фф}}(j\omega)|^2,$$

где $G_{\text{вых}}(\omega)$ – спектральная плотность искомого случайного процесса; $B_{\text{ш}}^2$ – дисперсия белого шума; $W_{\text{фф}}(j\omega)$ – комплексный коэффициент передачи формирующего фильтра. Таким образом, вид и числовые характеристики спектра имитируемой помехи определяются видом и числовыми характеристиками передаточной функции формирующего фильтра. Для имитации случайных помех используется источник белого шума. В качестве фильтра используется апериодическое звено первого порядка, передаточная характеристика которого имеет вид:

$$W(s) = \frac{k_0}{T_0s + 1},$$

где T_0 – постоянная времени интегрирования апериодического звена; k_0 – коэффициент пропорциональности (блок «Gain»).

Для реализации цифрового фильтра необходимо определить его дискретную передаточную функцию:

$$D(z) = \frac{x(z)}{\Theta(z)} = Z \left\{ \frac{1 - e^{-sT}}{s} \frac{k_0}{1 + T_0s} \right\} = \frac{bz^{-1}}{1 - az^{-1}},$$

где $a = e^{-\frac{T}{T_0}}$, $b = k_0(1 - a)$; $x(z)$ – выходной сигнал фильтра; $\Theta(z)$ – входной сигнал фильтра; T – период дискретизации.

Исходными данными при практическом решении задачи являются среднее значение выбросов частоты f_b в течении определенного интервала времени за уровень f_n , среднее количество выбросов N_b за время T_b , длительность периода τ_b отклонения частоты от номинальной, вероятность отклонения частоты в интервале времени Δt . Среднюю частоту отклонений можно определить из выражения:

$$\bar{f}_B = \frac{a_x}{\sqrt{2\pi}} \varphi\left(\frac{f_0}{B_{\text{ш}}}\right).$$

Увеличение значения средней частоты выбросов может быть достигнуто за счет формирования быстро осциллирующих процессов, что достигается благодаря уменьшению постоянной времени формирующего фильтра. Аддитивная случайная помеха формируется с помощью генератора белого шума пропусканием полученного значения через формирующий фильтр и добавления возмущающего воздействия в сигнал управления. Проверка соответствия полученного случайного процесса реальному выполнена путем сравнения автокорреляционных функций этих процессов [6].

На рис. 1. представлена модель электроэнергетической системы (ЭЭС) с одним дизель-генератором, работающим на силовой управляемый выпрямитель. В такой системе используется по крайней мере два автономно работающих микроконтроллера, каждый из которых решает свои задачи – сбатилизации оборотов дизеля и напряжения генератора, формирование управляющих импульсов на тиристоры выпрямителя.

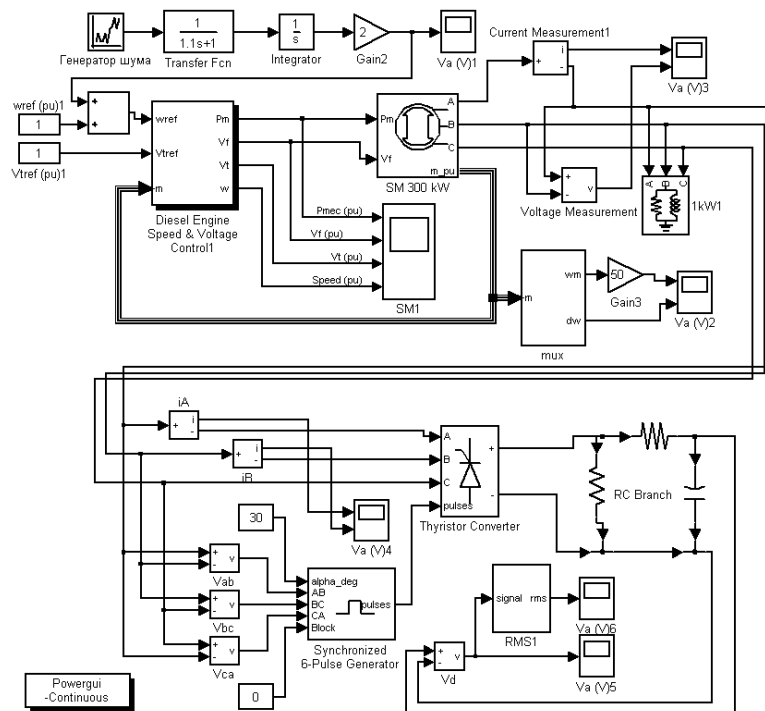


Рис. 1. Matlab-модель электроэнергетической системы

Входными сигналами в блок «Газодизель-возбуждение» являются требуемая частота оборотов ($wref$) (в относительных единицах) и фактическое значение частоты оборотов (wm). На выходе формируется сигнал, соответствующий отдаваемой Газодизелем мощности (Pm). На систему возбуждения подаются опорное значение напряжения ($Vtref$) и фактическое значение напряжения на статоре (vs_dq). На выходе формируется сигнал, который управляет возбуждением синхронного генератора (Vf). Генератор представлен моделью синхронной машины с демпферной обмоткой. Параметры машины задаются в системе относительных единиц. Мощность генератора 300 кВт, линейное напряжение на статоре 380 В. На рис. 2 представлены результаты моделирования работы трехфазного выпрямителя на активную нагрузку в условиях нестабильности частоты питающего напряжения. На верхнем графике показана осциллограмма изменения частоты напряжения, а на нижнем – значение выпрямленного напряжения. Моделирование проводилось при угле управления тиристорами 30° . Как видно из графиков, между процессом колебаний частоты напряжения и выходным напряжением выпрямителя присутствует корреляционная связь. Отсутствие обратных связей в системе управления выпрямителем делает преобразователь чувствительным к качеству напряжения сети. Поэтому необходимо реализовать микропроцессорную систему управления, которая бы корректировала угол управления тиристорами в зависимости от параметров питающего напряжения.

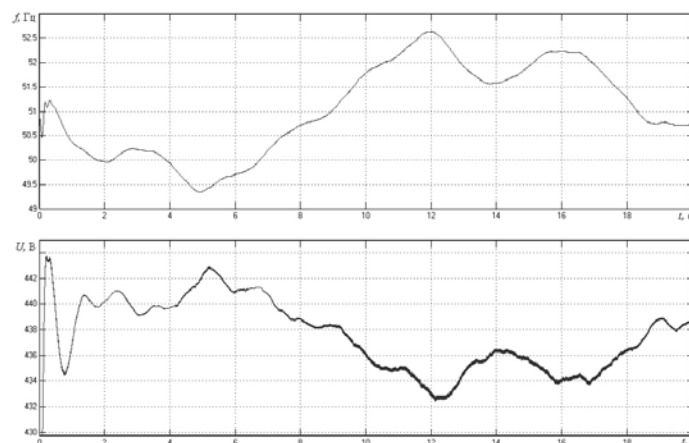


Рис. 2. Осциллограммы изменения частоты напряжения генератора и выходного напряжения полупроводникового преобразователя

Для моделирования процесса управления микропроцессорной системой использовались два компьютера, соединенные через последовательный порт с помощью нуль-модемного кабеля. При создании модели использовалась библиотека «RS232 Blockset». В системе моделирования Proteus имеется компонент COMPM, который позволяет виртуальному устройству подключиться к реальному СОМ-порту компьютера.

На рис. 3 представлена структура модели микропроцессорной системы управления, которая выполняет управление электроэнергетической установкой. Первый микропроцессор реализует алгоритмы управления дизель-генератором (управление оборотами дизеля и возбуждением генератора). Второй микропроцессор выполняет управление полупроводниковым преобразователем электроэнергии.



Рис. 3. Структура мультимикропроцессорной модели

Из системы Matlab контролируемые параметры передаются в систему моделирования Proteus по последовательному порту. Микропроцессоры выполняют обработку полученных данных и формируют информационно-управляющий пакет для передачи в систему Matlab, который изменяет вставки контролируемых объектов (частоту оборотов приводного двигателя, возбуждение генератора, угол управления полупроводниковым преобразователем электроэнергии). Связь между микропроцессорами организована с использованием интерфейса SPI. Это позволяет промоделировать сложные обратные связи с учетом влияния на качество управления транспортными задержек, которые возникают при передаче данных по микропроцессорной сети. В процессе отладки программного обеспечения состояние системы управления может быть определено с использованием как простейших средств отображения информации (вывод кодов ошибок на светодиоды), так и с использованием графических жидкокристаллических индикаторов.

Моделирование объекта управления предполагает использование асинхронного обмена информацией между приложениями, работающими на разных компьютерах. В рассмотренном случае используется клиент-серверная архитектура. Модель объекта управления (электростанция) должна соответствовать некоторым требованиям. Модель не должна ограничиваться моделированием только одного объекта, например генератора, без учета влияния на него электроэнергетической системы, в которой он работает. Кроме того, модель должна обеспечивать возможность одновременного моделирования нескольких связанных между собой объектов, а также выполнять моделирование в режиме реального времени.

Выводы. Сложность управляемых человеком машин и механизмов, объектов и процессов постоянно растет, требуя новых методов и средств для проведения моделирования. Система Matlab-Simulink вместе с системой моделирования Proteus открывает возможности создания гибридных моделей, и позволяет моделировать практически любые процессы, происходящие при работе оборудования, что дает возможность исследовать работу систем управления и выполнить ее оптимизацию до установки на реальном объекте. При рассмотрении сложных объектов управления, таких как электроэнергетические системы, моделирование выступает как один из важнейших этапов. Созданная мультимикропроцессорная модель электроэнергетической системы позволяет объединить в себе как силовую электроэнергетику, так и микропроцессорные системы управления, что открывает широкие возможности моделирования не только энергетических процессов, но и процессов управления. Такая методология позволяет создавать как системы мониторинга, так и системы дистанционного управления оборудованием.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
2. Дьяконов В.П. Matlab 6.5 SP1/7+Simulink 5/6 в математике и моделировании. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.
3. Черных И.В. Simulink: Среда создания инженерных приложений. – М.: Изд-во Диалог-МИФИ, 2004. – 496 с.
4. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. и др. Управление качеством электроэнергии. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 160 с.
5. Ушкаренко А.О., Воскобоев В.И., До Ань Туан. MATLAB-модель газодизель-генераторного агрегата для моделирования обменных колебаний мощности в автономных электроэнергетических системах // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2007. – №4 (27). – С. 453-456.
6. Ушкаренко А.О. Средства имитации низкочастотных помех для моделирования работы газодизелей // Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2010. – С.40-42.

РЯБЕНЬКИЙ Владимир Михайлович – д.т.н., профессор, зав. кафедрой теоретической электротехники и электронных систем Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова.

Научные интересы:

- автоматизация электроэнергетических систем;
- компьютеризированные системы управления.

УШКАРЕНКО Александр Олегович – к.т.н., доцент кафедры теоретической электротехники и электронных систем Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова.

Научные интересы:

- автоматизация электроэнергетических систем;
- информационное обеспечение автоматизированных систем управления.

МАХМУД Аль-Суод Мохаммад – аспирант Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова.

Научные интересы:

- моделирование в электронике и электроэнергетике;
- автоматизация процессов управления.

ХАЛЕД Омар Ганнам – аспирант Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова.

Научные интересы:

- моделирование в электронике и электроэнергетике;
- микропроцессорные системы управления.