

Рис. 2. (Продовження). Цифрограми симулювання самозапуску асинхронного двигуна потужністю 5 МВт власних потреб блока електричної станції:  
в – ковзання, електричний і тормозний моменти

1. Андерсон П., Фуад А. Управление энергосистемами и устойчивость / Пер. с англ. под ред. Я.Н. Лугинского. – М.: Энергия, 1980. – 568 с. 2. Равлик О.М. Методи розв'язування диференційно-інтегрально-скінчених рівнянь перехідних процесів електротехнічних систем // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2005. – № 544. – С. 122–126.

УДК 621.418

В.М. Рябенський, А.О. Ушкаренко, В.И. Воскобоенко  
Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ

О Рябенський В.М., Ушкаренко А.О., Воскобоенко В.И., 2009

Наведено модель автономної електростанції дизель-генераторним агрегатом, модель автоматизованого робочого місця оператора і мікропроцесорної системи керування дизель-генератором.

The model of the autonomous electro-energetic system with diesel-generator, workplace of the operator and microprocessor control system of the diesel-generator are presented.

**Постановка проблеми.** В последнее время на судах широко применяются автоматизированные системы управления, в частности автоматические устройства управления дизель-генераторов, устройства синхронизации и распределения мощности и др. Современные дизель-генераторы используют микропроцессорное управление [1]. Моделирование как инструмент научных исследований в области силовой электроники применяется в последнее время все более широко. В литературных источниках [2] описываются различные инструменты моделирования и объекты моделирования. В последние годы все чаще разработчики прибегают к пакету моделирования Matlab Simulink, возможности которого шире. Однако в этом пакете нет возможности моделирования микропроцессорных устройств управления. Поэтому актуальна задача создания модели энергетической системы в Matlab, которая могла бы управляться микропроцессорной системой созданной в другой системе моделирования. При этом система управления, собственно как и энергетическая система, могут быть как виртуальными, так и

реальными, а сопряжение с компьютером выполняться по интерфейсу RS232. Для моделирования микропроцессорной системы управления используется САПР Proteus, которая позволяет достаточно точно моделировать и отлаживать сложные устройства, в которых может содержаться несколько микроконтроллеров одновременно, причем разных семейств. В библиотеке имеются микроконтроллеры AVR, 8051, Microchip PIC10, PIC16, PIC18, Philips ARM7, Motorola MC68HC11.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Проблемой создания моделей силовых агрегатов, таких как дизели и генераторы, занимаются многие отечественные и зарубежные ученые. Основным инструментом, который используется для решения таких задач, является Matlab. Вместе с тем, остается нерешенной проблема совместного моделирования энергетических процессов в автономных электростанциях, которые определяются параметрами силовых агрегатов, и алгоритмов управления силовыми агрегатами, которые выполняют их микропроцессорные системы.

**Задача исследования.** В данной работе рассматривается модель системы мониторинга и управления электростанцией, состоящей из одного дизель-генератора, которая позволяет пользователям в оперативном режиме получать информацию о состоянии электрической станции, объеме производимой на ней электроэнергии, максимальной мощности станции. Управление моделью выполняется через COM-порт.

**Основной материал.** Модель электростанции представлена на рис. 1 и имеет в своем составе следующие блоки: модель дизеля, системы возбуждения генератора, коммутаторы, нагрузка различной мощности (100 кВт, 140 кВА, 210 кВА), блоки измерения сигналов, блоки для работы с COM-портом.

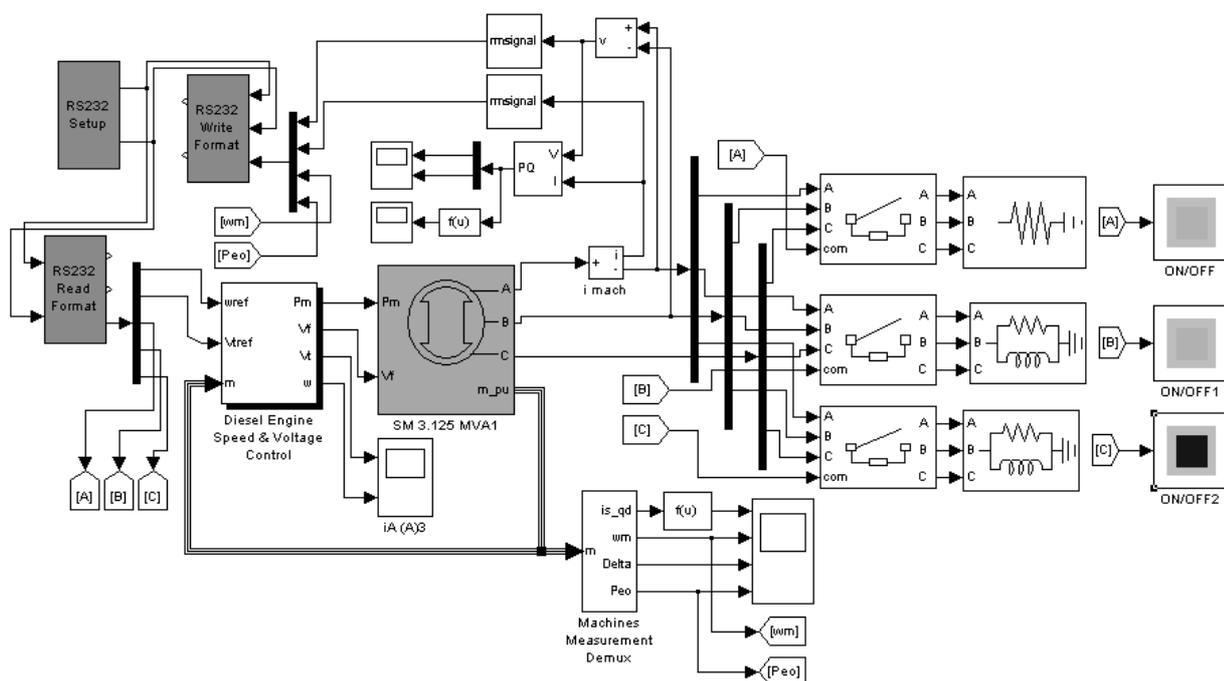


Рис. 1. Модель контролируемого оборудования

Входными сигналами в блок дизеля являются требуемая частота оборотов ( $w_{ref}$ ) (в относительных единицах) и фактическое значение частоты оборотов ( $w_m$ ). На выходе формируется сигнал, соответствующий отдаваемой дизелем мощности ( $P_m$ ). На систему возбуждения подаются опорное значение напряжения ( $V_{ref}$ ) и фактическое значение напряжения на статоре ( $v_{s\_dq}$ ). На выходе формируется сигнал, который управляет возбуждением синхронного генератора ( $V_f$ ).

Модель дизеля описывается следующими передаточными функциями [3]:

$$H_c = \frac{k \cdot (1 + T_3 p)}{1 + T_1 p + T_1 T_2 p^2}, \quad (1)$$

$$H_a = \frac{(1 + T_4 p)}{p(1 + T_5 p)(1 + T_6 p)}, \quad (2)$$

где  $H_c$  – передаточная функция регулятора,  $T_1 - T_3$  – постоянные времени регулятора,  $H_a$  – передаточная функция актуатора,  $T_4 - T_6$  – постоянные времени актуатора. Блок “Diesel Engine Speed & Voltage Control” показан на рис. 2.

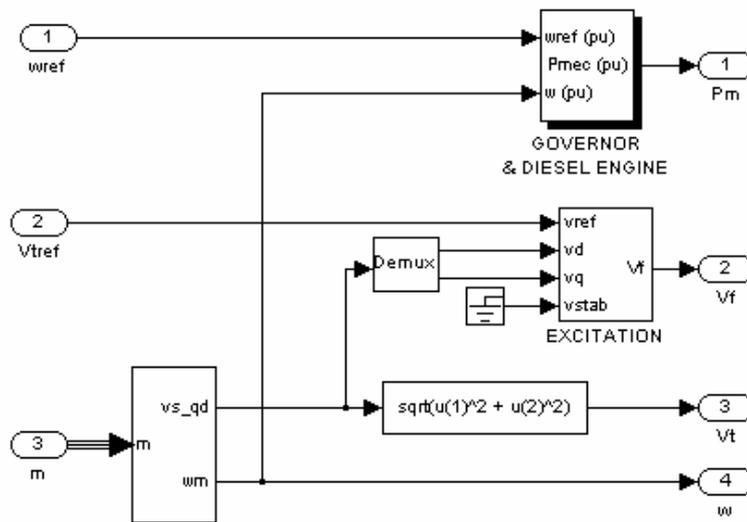


Рис. 2. Модели дизеля и системы возбуждения генератора

Генератор представлен моделью синхронной машины с демпферной обмоткой. Параметры машины задаются в системе относительных единиц. Мощность генератора 600 кВт, линейное напряжение на статоре 380 В. Генератор имеет 2 пары полюсов (номинальная частота вращения 1500 об/мин). Для извлечения переменных машины из выходного вектора измеряемых переменных используется блок Machines Measurement Demux.

При расчете модели имеется возможность выбора метода интегрирования – непрерывного или дискретного, с переменным или фиксированным шагом. Большинство из имеющихся в Simulink методов расчета с переменным шагом дает хорошие результаты при расчете линейных систем. Однако схемы, содержащие нелинейные элементы требуют методов решения для жестких систем. Самая высокая скорость расчета нелинейных систем достигается методами ode23tb или ode15s с параметрами заданными по умолчанию. Выбор абсолютной погрешности зависит от ожидаемых максимальных значений сигналов в схеме. Рекомендуемое соотношение здесь  $0.01 \div 0.001$  максимального значения сигнала [4]. Например, если значения токов и напряжений схемы составляют тысячи ампер или вольт, то абсолютная погрешность может быть выбрана 0.1 [1].

Для моделирования процесса управления и мониторинга использовались два компьютера соединенные через последовательный порт с помощью нуль-модемного кабеля. При создании модели пульта управления (рис. 3) использовались библиотеки “Dials and Gauges Blockset” и “RS232 Blockset”. В данном примере библиотека для работы с COM-портом представлена блоками: “RS232 Setup”, “RS232 Write Format” и “RS232 Read Format”.

Принцип работы модели заключается в следующем: на одном из компьютеров запускается модель пульта управления (рис. 3), а на другом – модель дизель-генератора, работающего на определенную нагрузку (рис. 1).

В системе моделирования Proteus имеется компонент COMPIМ, который позволяет виртуальному устройству подключиться к реальному COM-порту компьютера. В модели можно не

использовать преобразователь уровней RS232 типа MAX232. На рис. 4 представлена схема микропроцессорной системы управления, которая выполняет управление моделью электростанции. Схема содержит жидко кристаллический алфавитно-цифровой индикатор, с помощью которого отображаются значения тока статора, оборотов дизеля и мощности нагрузки.

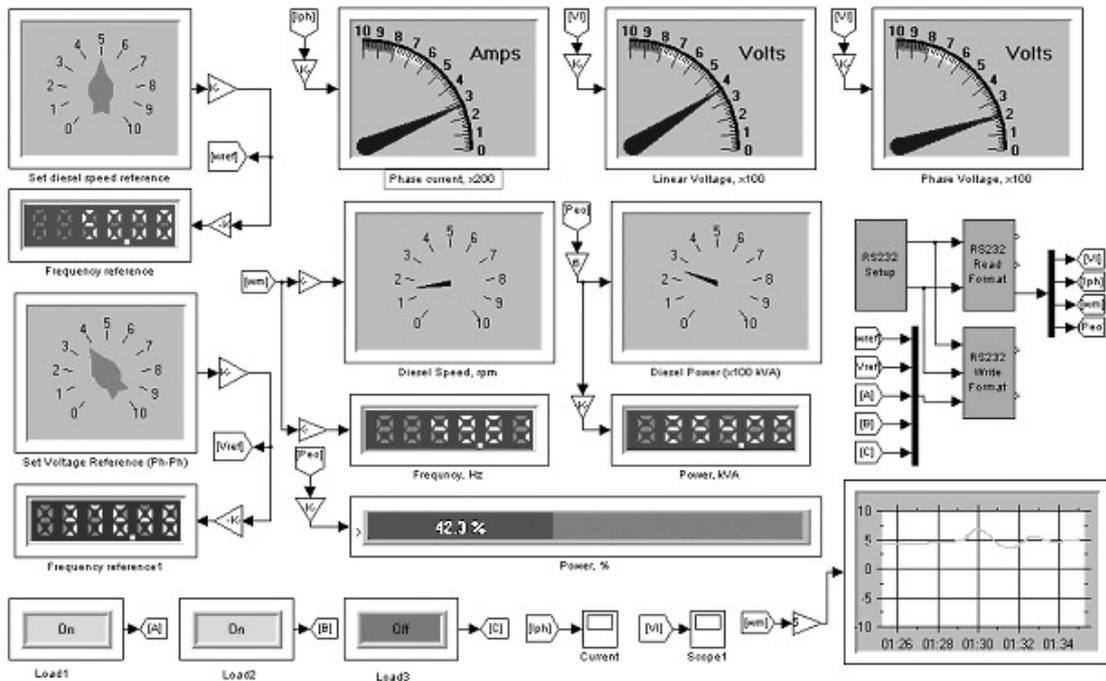


Рис. 3. Модель контролирующего оборудования

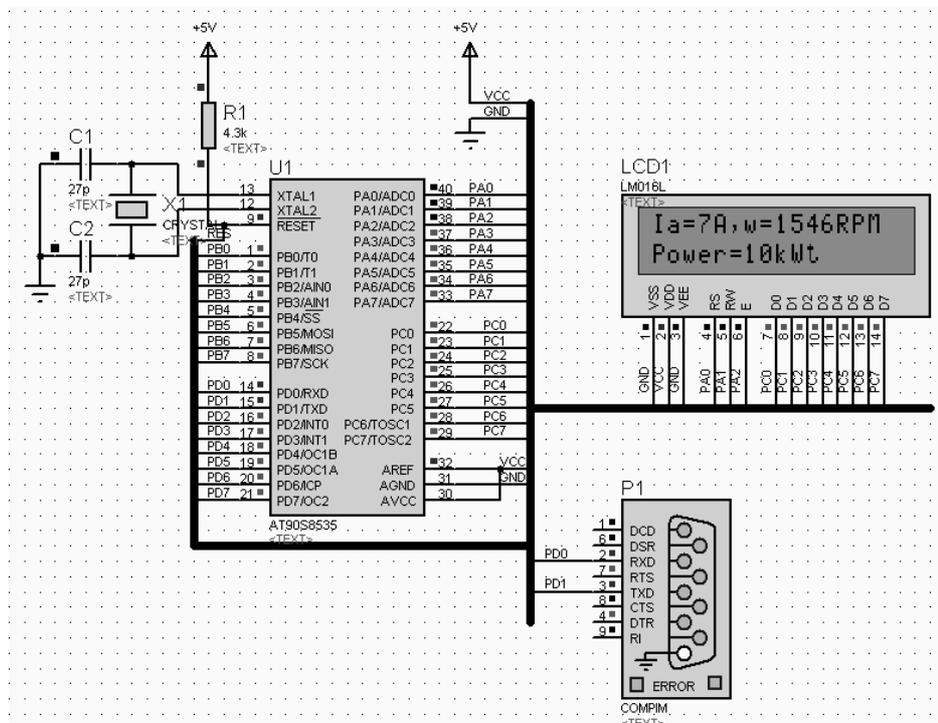


Рис. 4. Модель микропроцессорной системы управления

Структура пакетов данных, принимаемых из Matlab, значительно облегчает процедуру “распознавания”, поскольку для этих целей может быть использована библиотечная функция scanf.

Для формирования пакетов, которые будут передаваться в Matlab, используется функция `sprintf`. Фрагмент программы для микроконтроллера, который выполняет прием данных и вывод принятых значений на жидкокристаллический индикатор, представлен ниже.

**Выводы.** 1. Система Simulink позволяет создавать различные схемы, позволяющие моделировать практически любые процессы, происходящие при работе оборудования, что позволяет отладить работу систем управления еще до внедрения их на практике. Перечень практических задач, которые можно решать на созданном программном комплексе, достаточно широк и не ограничен приведенным списком. Имеется возможность моделирования параллельной работы нескольких генераторов, процесса синхронизации генераторов, распределения активной/реактивной мощности, аварийных ситуаций (короткого замыкания, обрыва фаз). 2. Постоянно растущая сложность управляемых человеком машин и механизмов, объектов и процессов требуют новых методов и средств для обучения персонала. 3. Matlab позволяет создавать не только системы мониторинга, но и удаленного управления оборудованием, например электростанцией. При этом данные могут передаваться как по последовательному интерфейсу RS232, так и по локальной сети Ethernet. Такое управление позволяет вывести персонал из области работы оборудования, тем самым улучшить условия труда на производстве. 4. При запуске процесса моделирования возможна ситуация, когда масштаб времени моделирования будет разным для модели электростанции и контролирующего оборудования. Если же с использованием Matlab выполняется управление некоторым физическим объектом, то необходимо работать в режиме реального времени. В таком случае следует использовать специальный блок – Real Time Blockset, в котором настраивается единственный параметр – интервал времени между выполнениями расчетов очередной итерации моделирования. Однако работа в реальном масштабе времени возможна на достаточно мощных компьютерах.

*1. Болховитинов В.К., Вайнер В.Л. Структурная и аппаратная реализация системы управления корабельной электроэнергетической системой // Автоматизированные системы управления НК и ПЛ. 2. Черных И.В., Simulink: Среда создания инженерных приложений. – М.: Изд-во: Диалог-МИФИ, 2004 – 496 с. 3. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 504 с. 4. Сосокин В.Л., Программное управление технологическим оборудованием. – М.: Машиностроение, 1991. – 532 с.*