

рекомендуется использовать драйверы СУБД для платформы разработчика или осуществлять соединение через ODBC. Скорость доступа к данным в этом случае будет быстрее, чем при использовании WEB-сервисов.

4. ПО, предназначенное для работы на стыке различных уровней (рис. 2), должно использовать подходы сервис-ориентированной архитектуры. В этом случае SOA гарантирует применение стандартов в части протоколов обмена данными и передачи по сети, что позволяет снизить зависимость разработчиков от применяемых языков программирования и инструментальных средств.

*Швечков Виталий Александрович – ассистент, Сарданашвили Сергей Александрович – д-р техн. наук, доцент кафедры АСУ РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина.*

*Контактный телефон (495) 930-93-48.*

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ТЕСТИРОВАНИЯ В РЕЖИМЕ РВ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

**И.А. Пустыльняк (МГУ им. Н.П.Огарева)**

*Рассмотрен комплекс для проектирования и тестирования цифровых систем управления агрегатов бесперебойного питания (АБП) на основе моделирования в РВ. Внедрение предложенного комплекса в производство позволяет снизить затраты на проектирование, тестирование и отладку цифровых систем управления.*

Агрегаты бесперебойного электропитания (АБП) являются неотъемлемой частью систем электроснабжения ответственных потребителей. В настоящее время в АБП, в основном, применяются цифровые системы управления (ЦСУ), характеризующиеся сложной структурой с множеством элементов. Выход из строя одного из них может привести к аварии дорогостоящей силовой схемы АБП. Для предотвращения подобных ситуаций и исключения возникновения аварий по вине бракованных комплектующих целесообразно на стадии изготовления и наладки применять тестирующие комплексы.

Внедрение в производство системы проектирования и тестирования на основе математической модели позволяет ускорить разработку, снизить затраты на проектирование и отладку, уменьшить себестоимость готовой продукции и повысить ее надежность.

Особенностью ЦСУ АБП является большое число обратных связей (21 ед.) и управляющих импульсных последовательностей (10 ед.). Блочная функциональная схема АБП представлена на рис. 1.

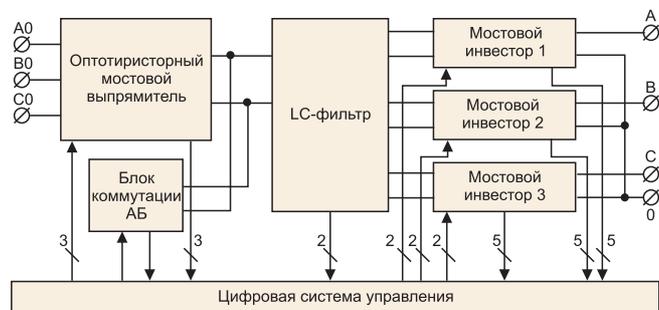


Рис. 1

Таким образом, реализация сервис-ориентированной архитектуры позволит обеспечить интеграцию разнородных программных средств и процессов обмена данными между информационными системами в существующую гетерогенную распределенную систему диспетчерского управления ЕСТ России.

Сарданашвили Сергей Александрович — д-р техн. наук, доцент кафедры АСУ,

### Список литературы

1. Э. Таненбаум, М. Ван Стен. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер. 2003.
2. Scott Short. Building XML Web Services for the Microsoft .NET Platform. Microsoft Press. 2002.

Учитывая сложность ЦСУ, к аппаратно-программному комплексу предъявляются следующие требования: достаточное быстродействие, позволяющее тестировать ЦСУ АБП в режиме РВ (величина шага моделирования  $\leq 1\text{ мс}$  и частота до  $1\text{ кГц}$ ); наличие устройства ввода/вывода для преобразования сигналов обратных связей из цифрового вида в вид, пригодный для ЦСУ; возможность управления процессом моделирования со стороны физической системы управления; наличие в устройстве ввода/вывода достаточного числа сигнальных линий (до 22 ед.), малая цена комплекса тестирования.

Способы тестирования систем управления делятся на тестирование без привязки к РВ и тестирование с использованием математического моделирования в РВ.

В силу сформулированных требований к аппаратно-программному комплексу будем рассматривать только второй способ тестирования, то есть системы, содержащие модель силовой схемы агрегата, к которой подключается проверяемая система управления. В этом случае разработку, отладку и тестирование цифровых систем управления можно реализовать на математической модели, но для организации потоков данных в режиме РВ необходимо устройство ввода/вывода.

Рассмотрим современные системы моделирования устройств силовой электроники. Так система PSIM позволяет выводить на внешний порт ЭВМ результаты моделирования, где они могут быть преобразованы в формат, пригодный для системы управления. Недостатком данной системы является необходимость разработки устройства преобразования сигналов, а также невозможность управления процессом

моделирования со стороны физической системы управления.

Среда разработки виртуальных приборов LabVIEW не имеет стандартных инструментов моделирования силовых схем преобразователей. Но она позволяет не только подавать на систему управления результаты моделирования, но и передавать поступающие от нее сигналы управления на модель. В этом случае процессом моделирования управляет проверяемая плата. Ограничением использования этой среды при тестировании ЦСУ АБП является отсутствие требуемого числа выводимых во внешнюю схему сигналов и недостаточное быстродействие.

Среда моделирования Matlab не имеет достаточного быстродействия для моделирования силовой схемы АБП в РВ. Для таких случаев целесообразно встроить в Simulink дополнительный блок ARTEMIS Real-Time Simulation. Для более удобной работы с реальной схемой разработана система RT-Lab. Она подключается к Matlab-Simulink и позволяет ускорить процесс передачи результатов моделирования от ЭВМ к реальной схеме и обратно. Одним из основных недостатков указанной системы является высокая цена комплекса, что не позволяет применять его в мелко- и среднесерийном производстве.

Таким образом, ни один из существующих на данный момент аппаратно-программных комплексов не удовлетворяет всем перечисленным выше требованиям и поэтому не может быть использован для тестирования ЦСУ АБП. Этим обосновывается необходимость создания аппаратно-программного комплекса тестирования ЦСУ АБП с большим числом портов ввода/вывода.

Блочная функциональная схема тестирующего ЦСУ АБП комплекса представлена на рис. 2. Силовая схема АБП моделируется в режиме РВ на хост-компьютере, а тестируемая ЦСУ подключается к хост-компьютеру через устройство сопряжения. При работе комплекса происходит двусторонняя передача данных между тестируемой ЦСУ и хост-компьютером в режиме многоконтурных обратных связей. Сигналы обратных связей и переменные состояния АБП рассчитываются моделью и передаются через устройство сопряжения на аналоговые входы ЦСУ, а ЦСУ своими управляющими сигналами меняет структуру модели. Устройство сопряжения управляет потоками данных и осуществляет преобразование сигналов управления и результатов моделирования соответственно в цифровой и аналоговый вид.

Сложность работы в режиме замкнутых обратных связей заключается в привязке процесса моделирования к РВ. Привязка осуществляется микроконтроллером устройства сопряжения. Он настроен на прерывание от таймера с постоянной частотой. Кроме того, микроконтроллер обрабатывает прерывания от модулей

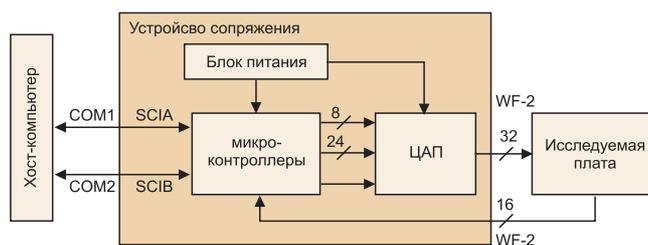


Рис. 2

последовательного приема данных SCIA и SCIB. В целях увеличения скорости передачи данных и уменьшения длины передаваемого слова устанавливается безадресный режим без бита четности и одним стоповым битом. Длина передаваемого слова равна 8 битам данных плюс стартовый и стоповый биты.

Устройство сопряжения и ЦСУ АБП выполнены на микроконтроллерах фирмы Texas Instruments (TMS320F2811 и TMS320LF2406). Но, учитывая, что аппаратно-программный комплекс тестирования воспринимает ЦСУ АБП единым неделимым блоком, то при тестировании значение имеет только состояние обратных связей, и соответственно микроконтроллер, на котором был реализован закон управления, может быть произвольным.

Настройка устройства сопряжения на решение поставленной задачи осуществляется командами, поступающими от хост-компьютера в ходе инициализации модели по следующим параметрам: число используемых ЦАП, число сигналов от проверяемой платы и их трассировка, параметры блоков модели, параметры вывода данных с модели. После окончания инициализации все основные действия выполняются при обслуживании прерываний от таймера и

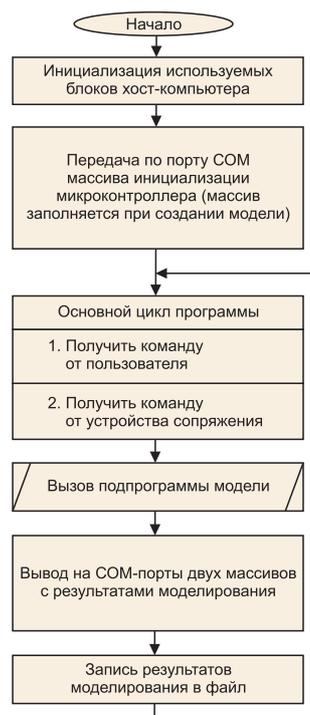
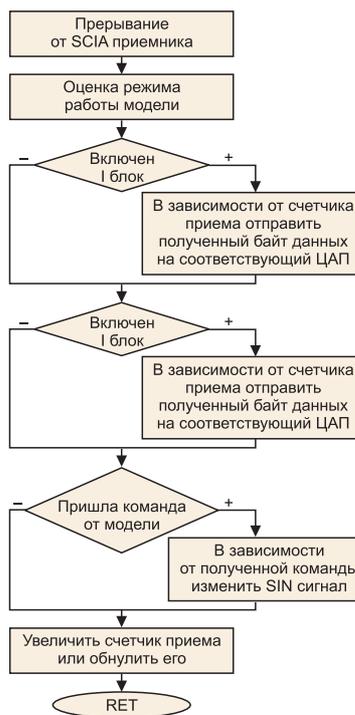


Рис. 3

Рис. 4

модулей связи SCI. Блок-схема подпрограммы обработки прерывания от модуля SCI приведена на рис. 3.

Блочнo-функциональная схема алгоритма программы хост-компьютера представлена на рис. 4.

Основная программа представляет собой бесконечный цикл, в основные задачи которого входят организация связи и обмена данными между блоками, а также управление процессом моделирования. Блок работы с пользователем обеспечивает вывод на экран сообщений о ходе процесса моделирования, и принимает от него управляющие команды на включение и изменение параметров модели. Блок записи результатов моделирования в файл обеспечивает сохранение на жесткий диск данных, полученных в результате моделирования. Блок работы с СОМ-портами обеспечивает связь хост-программы с устройством сопряжения. Он содержит инициализацию портов и подпрограммы записи и чтения, а также обеспечивает установку соединения, контроль над передачей данных и повторное соединение, если возникла ошибка связи. Блок "Модель" – единственный блок, создаваемый под определенную задачу. Он взаимодействует с основной программой с помощью массивов данных.

В "Модели" предусмотрена проверка аварийных ситуаций ЦСУ, которые возникают при нарушении логики управления ключами. В этом случае модель закрывает все открытые ранее ключи во всех блоках, устанавливает флаг аварии и выдает об этом сообщение пользователю. Повторное включение режима тестирования ЦСУ возможно только после перезапуска программы. Такое поведение модели соответствует срабатыванию защиты в реальном АБП.

Функциональные блоки модели отображают 12 ее возможных состояний. Структура модели меняется посредством переключающих функций. Для каждого блока аналитически решены системы дифференциальных уравнений и получены в виде уравнения всех переменных, определяющих состояние обратных связей, поступающих с силовой схемы в систему управления.

Для математического описания силовой схемы АБП применен метод переменных состояния:

$$\frac{d}{dt} X = A \cdot X + B \cdot U, \quad (1)$$

где  $U [m \times 1]$  входной вектор, описывающий  $m$  независимых источников питания;  $X [n \times 1]$  – вектор, содержащий  $n$  независимых вспомогательных переменных;

$A$  и  $B$  – постоянные действительные матрицы соответствующего размера, причем  $A$  – всегда квадратная матрица порядка  $n$ .

Уравнение (1) представляет собой систему из  $n$  дифференциальных уравнений первого порядка и называется уравнением переменных состояния в нормальной форме. Массив  $X$  называется вектором переменных состояния:

$$X = \begin{bmatrix} i_{LTPPI} \\ i_{LH} \\ i_{LM} \\ u_C \end{bmatrix}, U = [E], \quad (2)$$

где  $i_{LTPPI}$  – ток через первичную обмотку однофазного трансформатора инвертора,  $i_{LH}$  – ток через индуктивную нагрузку АБП,  $i_{LM}$  – ток через цепь намагничивания в  $T$ -образной схеме замещения однофазного трансформатора инвертора,  $u_C$  – напряжение на выходной емкости инвертора,  $E$  – напряжение на входе инвертора.

При подстановке (2) в (1) уравнение переменных принимает вид:

$$X(t) = \frac{e^{AT}}{2} \sum_{H=1}^N (e^{-AH} B \cdot u + e^{-A(H-1)B} \cdot u) + e^{AT} X(0).$$

Здесь  $X(t)$  – вектор переменных состояния,  $N$  – число итераций в одном шаге моделирования,  $H$  – номер итерации,  $X(0)$  – вектор переменных состояния в начальный момент времени.

Таким образом, полученная математическая модель силовой схемы АБП позволяет рассчитывать все обратные связи в режиме РВ.

Проведена экспериментальная проверка разработанного комплекса на примере ЦСУ АБП мощностью 16 кВт, которая подтвердила адекватность разработанной системы реальному преобразователю. По результатам проверки было принято решение о внедрении аппаратно-программного комплекса тестирования ЦСУ АБП в производственный процесс ЗАО "Конвертор" (г. Саранск).

Предложенный аппаратно-программный комплекс облегчает процесс разработки различных частей агрегата посредством исключения затрат на макетирование, уменьшает затраты на разработку и производство АБП, позволяет выявить брак на стадии изготовления и наладки плат.

*Пустыльяк Иван Александрович – инженер Мордовского государственного университета им. Н.П.Огарева.*

*Контактный телефон (8342) 29-06-08. E-mail: Ivor3@yandex.ru*

#### Уважаемые читатели!

Начинается подписка на журнал "Автоматизация в промышленности" на второе полугодие 2007 г.

Оформить подписку Вы можете:

**В России** – индекс в каталоге "Роспечать" **81874** и **В Белоруссии, Казахстане, Узбекистане, Украине** – индекс в каталоге "Пресса России" **39206**

**Все желающие**, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте **www.avtprom.ru**