

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 681.3

А. Н. Ермаков, Ю. Н. Золотухин, З. К. Катаенко, С. А. Кулагин,  
О. В. Сердюков, В. С. Якушев, А. П. Ян

(Новосибирск)

БОРТОВОЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ  
ПРИ ИСПЫТАНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ ТОРМОЖЕНИЯ

Описываются аппаратные и программные особенности реализации бортового тестера для испытаний антиблокировочных систем торможения автомобиля (ABS). В частности, рассматривается проблема организации сбора информации в реальном времени с высокой скоростью в рамках архитектуры IBM PC. ABS-тестер разработан на базе VME-системы "PC Lab-86", программно совместимой с IBM PC и имеющей открытую аппаратно-программную архитектуру, легко адаптируемую для решения широкого класса задач сбора информации в реальном времени. ABS-тестер создан по заказу Волжского автомобильного завода (г. Тольятти).

**Введение.** Системы ABS (Antiblocking Bracking System) применяются в автомобилях для предотвращения блокировки колес при торможении, в результате которой автомобиль теряет управление. Современные системы ABS представляют собой сложные гидромеханические агрегаты, управляемые специализированным электронным контроллером (ABS-C) (рис. 1). Основой

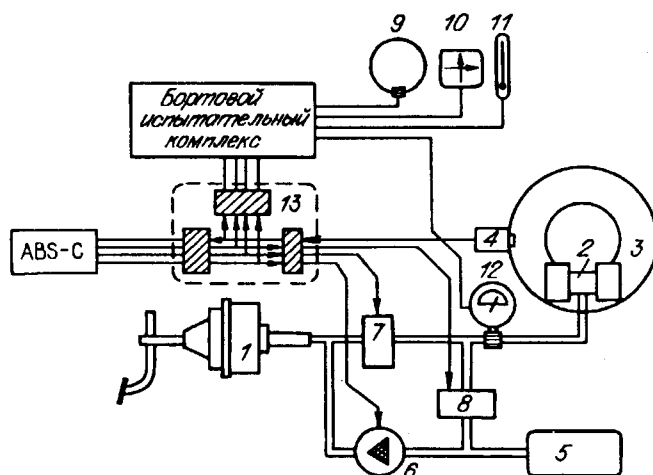


Рис. 1. Блок-схема испытаний ABS-системы:

1 — главный тормозной цилиндр, 2 — тормозной цилиндр колеса, 3 — колесо, 4 — датчик скорости вращения колеса, 5 — балон высокого давления, 6 — насос, 7 — нагнетающий клапан, 8 — стравливающий клапан; дополнительные компоненты: 9 — датчик скорости автомобиля «пятое колесо», 10 — акселерометры, 11 — датчики температуры, 12 — датчики давления, 13 — разветвитель для подключения испытательного комплекса к системе ABS

системы ABS является главный тормозной цилиндр 1 с педалью тормоза, который связан с четырьмя независимыми тормозными цилиндрами колес 2 через единую гидравлическую систему 5, 6. Тормозные цилиндры колес подключаются к этой системе через один или два управляемых клапана 7, 8, с помощью которых обеспечивается регулирование давления в каждом тормозном цилиндре. Индуктивный датчик 4 генерирует синусоидальный сигнал из  $N$  периодов за оборот и устанавливается на каждом колесе для определения скорости вращения колеса.

Идея функционирования систем ABS основывается на коррекции давления, создаваемого при нажатии педали тормоза, в индивидуальных тормозных цилиндрах каждого колеса на основе показаний датчиков скорости вращения колес. Коррекция давления обеспечивается специальными клапанами в тормозных цилиндрах, которые управляются ABS-С.

На сегодняшний день в мире выпускаются различные ABS-системы, но их установка на конкретном типе автомобиля требует специальных испытаний, которые должны оценить поведение автомобиля с установленной ABS-системой в целом, а также «качество» и «безопасность» торможения в различных условиях.

Проведение подобных испытаний требует специального оборудования. Одним из основных инструментов в таких испытаниях является бортовой ABS-тестер. ABS-тестер должен устанавливаться в салоне автомобиля. Тестер подключается параллельно с ABS-С и осуществляет сбор информации о его работе со всех измерительных и управляющих каналов, имеющихся в ABS-С. Кроме того, он должен обеспечивать сбор информации с дополнительных датчиков, не входящих в систему ABS, но необходимых для получения полной картины функционирования.

Подобные тестеры, безусловно, существуют и применяются в мире. Они разрабатываются «под заказ» и в виду их уникальности очень дороги и специализированы под конкретных испытателей, использующих их.

Начатые на АО «АвтоВАЗ» в 1992 году работы по оснащению автомобилей ВАЗ ABS-системами потребовали создания специального заказного оборудования — тестера систем ABS для проведения испытаний. При создании тестера было необходимо решить ряд аппаратных и программных вопросов. К их числу, в первую очередь, надо отнести обеспечение надежности работы аппаратуры в бортовых условиях и достижение высокой скорости работы программы сбора информации в реальном времени в рамках архитектуры персонального компьютера.

Состав комплекса. Как отмечалось выше, тестер должен быть реализован в бортовом исполнении, удовлетворяющем повышенным требованиям к вибрационному и климатическим воздействиям. Кроме того, тестер должен иметь открытую расширяемую аппаратно-программную архитектуру, легко адаптируемую, модифицируемую для решения новых задач и позволяющую использовать готовую аппаратуру других производителей. По нашему мнению, все эти требования наилучшим образом удовлетворяются стандартом VME.

Комплекс построен на базе ранее созданной микропроцессорной системы "PC Lab", выполненной в стандарте VME\*. "PC Lab" имеет полную программную совместимость с ПК IBM PC и полную аппаратную совместимость с любым оборудованием, выполненным в стандарте VME. Это позволяет строить на базе "PC Lab" системы автоматизации с широким спектром приложений.

Помимо базового ядра "PC Lab", в комплекс входит подсистема сопряжения с объектом. Она обеспечивает подключение датчиков и исполнительных устройств, измерение аналоговых, частотных и цифровых сигналов. В состав этой подсистемы входят:

MADC — модуль 6-канального 12-разрядного АЦП;

\* Безбородов В. Н., Вострецов Н. И., Золотухин Ю. Н. и др. Базовая система в стандарте VME "PC Lab". Разработка технических средств в стандарте МЭК 821: Тез. докл. Всесоюз. сем. (Ленинград, 26 марта 1990 г.).—Л.: НТО АН СССР, 1990.

MTFSW — модуль 8-канального измерителя временных интервалов и частоты;

MIOR — модуль входного-выходного регистра для подключения цифровых каналов;

MADI — модуль 24-канального измерителя низкоуровневых медленно изменяющихся аналоговых сигналов;

MOI — модуль сопряжения с датчиками и исполнительными устройствами, включающий формирователи для индуктивных датчиков, предусилители с программируемым коэффициентом усиления и источники питания датчиков.

Комплекс собран в VME-крейте размером 6U на 20 позиций для установки модулей и 3,5-дюймового накопителя на гибком магнитном диске. Комплекс устанавливается на борту автомобиля на месте переднего правого кресла на амортизаторах. Для подключения комплекса к бортовой сети автомобиля разработан специальный (150 Вт) источник питания (ИП). ИП обеспечивает систему выходными напряжениями +5, +12 и -12 В и токами нагрузки до 20, 2 и 1 А соответственно при входном напряжении от 8 до 18 В постоянного тока. Схемотехнически ИП представляет собой два преобразователя ключевого типа: прямоходовой на +5 В и обратногоходовой на  $\pm 12$  В. Оба преобразователя имеют общие цепи синхронизации и защиты.

Комплекс подключается к исследуемой ABS-системе и позволяет собирать данные о состоянии клапанов регулировки давления в тормозных цилиндрах каждого колеса и получать информацию о скорости вращения всех колес.

Кроме штатной ABS-системы, на период испытаний дополнительно в каждом тормозном цилиндре устанавливался датчик давления. Кроме этих четырех каналов давления, предусмотрено подключение еще двух каналов для измерения давлений в модуляторе ABS-системы. Для измерения фактического ускорения автомобиля при торможении, резких поворотах и заносах в салоне автомобиля были установлены датчики продольного и поперечного ускорений. Температурные каналы позволяют подключать термопары и измерять температуру тормозных колодок и других точек автомобиля в широком диапазоне -100 + +1000 °С. Для измерения скорости автомобиля применялся специальный прибор «пятое колесо», устанавливаемый сзади автомобиля.

Диапазон частоты сбора информации определялся тем, что максимальная частота спектра быстрых процессов, измеряемых через аналоговые каналы, составляет не более 100 Гц, а медленных — 2 Гц. Быстрые процессы интересуют испытателей при изучении динамики торможения и оценки эффективности управления торможением со стороны ABS-С. Максимальная частота цифровых сигналов управления клапанами тормозных цилиндров достигает 1000 Гц. Поэтому для анализа быстрых процессов достаточной частотой сбора информации является частота, большая 1000 Гц. Изучение медленных процессов требуется для оценки системы торможения при продолжительном торможении (например, при спуске автомобиля по горному серпантину). При этом испытателя интересуют интегральные характеристики — среднее изменение скоростей колес и автомобиля за время торможения, температура тормозных цилиндров и т. д.

Функционально комплекс обеспечивает сбор данных в реальном масштабе времени с частотой от 20 до 2000 Гц по следующим измерительным каналам: четырем частотным каналам измерения скорости четырех колес; одному частотному каналу измерения скорости автомобиля «пятое колесо»; шести аналоговым каналам измерения давления; двум аналоговым каналам измерения продольного и поперечного ускорений; восьми цифровым каналам состояния клапанов управления давлением в тормозных цилиндрах колес; двум цифровым каналам определения положения рулевого колеса; 24 аналоговым каналам измерения температуры в различных точках автомобиля.

Для расширения функций комплекса имеются резервные каналы: четыре аналоговых, три частотных и восемь цифровых. В случае необходимости комплекс легко расширяется установкой дополнительных VME-модулей.

**Программное обеспечение комплекса.** Для создания ABS-тестера потребовалась разработка специального программного обеспечения (ПО). ПО тестера должно обеспечивать сбор и накопление информации в реальном времени с ABS-С и дополнительных датчиков. Программа сбора данных должна позволять оператору конфигурировать тестер для проведения конкретного испытания, просматривать в графическом виде результаты испытания, сохранять их на магнитном диске и иметь дружественный пользовательский интерфейс.

Разработанный тестер имеет архитектуру персонального компьютера IBM PC. Это дает ряд преимуществ: богатые программные средства для разработки и отладки программного обеспечения, привычное и удобное в пользовании программное обеспечение.

IBM PC не имеет стандартного системного программного обеспечения реального времени. Однако на базе IBM PC совместимых компьютеров имеется довольно много прикладных систем, решающих задачи реального времени определенного класса, не имеющих функций управления и высоких скоростей сбора информации. Поэтому при разработке тестера потребовалось создание программной оболочки, позволяющей решить задачу сбора информации в реальном времени. ABS-тестер является по сути системой с простой функциональной структурой, что позволяет создать такую программную оболочку силами небольшой группы разработчиков.

Программное обеспечение комплекса включает в себя три основные части: подсистему ввода/вывода ASEI, обеспечивающую программный интерфейс с устройствами сопряжения с объектом; прикладную программу сбора информации и ее экспресс-анализа; программу обработки и представления собранных данных на инструментальной ЭВМ.

Подсистема ASEI реализована на языке Ассемблер, что обеспечивает высокую скорость обработки запросов при операциях ввода/вывода и позволяет реализовывать прикладное ПО на языке Си без снижения эффективности системы сбора информации в целом.

Программное обеспечение сбора данных в комплексе организовано таким образом, что прикладная программа верхнего уровня не «заботится» об управлении измерительными каналами, а предполагает, что данные с этих каналов всегда готовы к моменту следующего считывания. Вся «забота» о синхронизации измерений ложится на нижний драйверный уровень. Этот подход значительно упрощает организацию сбора данных и снижает накладные расходы.

Первые две части ПО функционируют в составе бортового комплекса и обеспечивают сбор информации на реальном объекте (ABS-системе на автомобиле) и дополнительно предоставляют набор сервисных функций для удобства ведения работы: конфигурацию условий начала и окончания сбора информации, выбор списка каналов для сбора, задание частоты сбора, экспресс-анализ результатов, просмотр результатов в графическом виде, сжатие информации для сохранения результатов на гибком диске.

Высокая скорость сбора информации (до 2000 Гц) могла быть достигнута только при сохранении данных в оперативной памяти, что потребовало бы установки в комплекс значительного объема оперативной памяти. Поток информации, которую необходимо сохранять в памяти, мог достигать 128 Кбайт/с. Процесс торможения автомобиля, во время которого осуществляется сбор данных, занимает от 8 до 20 с. Следовательно, для накопления информации об одном торможении могло потребоваться до 2,5 Мбайт оперативной памяти. Для задач ABS-тестера было достаточно 3 Мбайт памяти, из них 736 Кбайт представлялись как системная память (conventional memory), а остальные — как расширяемая память (extended memory).

Накопленные в оперативной памяти данные должны сохраняться на переносимом энергонезависимом носителе. Для этой цели необходим носитель информации, пригодный для бортового использования. В тестере используется 3,5-дюймовый флоппи-диск. Объем флоппи-диска значительно меньше объема данных, накопленных в оперативной памяти. Поэтому при сохранении информации потребовалось существенное сжатие данных. Высокая степень сжатия информации была достигнута за счет использования в алгоритме

сжатия структуры накопленных данных — размера элементарного временного среза и типов данных внутри него. Это позволяет связать данные из общего массива в отдельные подмассивы, соответствующие одному информационному каналу, внутри которых данные сильно коррелированы и хорошо поддаются сжатию. Встроенный в программу сбора информации алгоритм сжатия данных обеспечивает 4-кратное сжатие информации, что позволяет решить проблему сохранения данных. На инструментальной ЭВМ собранные данные хранятся в сжатом виде, а при анализе и просмотре результатов испытаний данные распаковываются. Это существенно экономит дисковое пространство инструментальной машины.

При проведении серии экспериментов по одной методике возникает необходимость установки одной и той же конфигурации системы (начало, конец сбора, каналы сбора и т. д.), для этого имеется возможность сохранения текущей конфигурации в конфигурационном файле и последующее ее восстановление. Для каждой серии экспериментов может быть создан свой индивидуальный конфигурационный файл, и впоследствии необходимая конфигурация легко устанавливается простым выбором из списка файлов конфигураций. Во время работы комплекса текущая информация, поступающая по выбранным каналам, отображается на экране монитора в текстовом виде, а сразу после окончания сбора может выводиться в графическом виде для предварительного просмотра. Результаты испытания могут быть сохранены полностью либо частично (т. е. только наиболее интересные, по мнению оператора, участки данных).

Более детально собранную информацию можно изучить впоследствии на инструментальной машине. На рис. 2 представлен пример обработки реальных данных, собранных в процессе торможения автомобиля. По горизонтальной оси отложено время в миллисекундах, а по вертикальным осям: ось  $0$  — скорость переднего левого колеса, ось  $4$  — скорость автомобиля, измеренная датчиком «пятое колесо», ось  $8$  — давление в тормозном цилиндре переднего левого колеса, ось  $20$  — ускорение переднего левого колеса.

В начале каждой кривой стоит соответствующий номер оси. В верхней части графика показаны состояния двух клапанов, управляемых электронным контроллером ABS: верхний (нагнетающий клапан) открывается импульсом положительной полярности, нижний (сравливающий клапан) — импульсами отрицательной полярности.

Рис. 2 иллюстрирует поведение системы переднего левого колеса в процессе торможения автомобиля с ABS-системой фирмы "Lucas" на прямом участке дороги с мокрым асфальтированным покрытием. Из графика видно, что скорость колеса несколько меньше скорости автомобиля и имеет периодические «ступеньки» резкого уменьшения скорости колеса относительно автомобиля, соответствующие относительному увеличению давления в тормозном цилиндре. Блокировка колеса не допускается. При достижении некоторой разницы в скорости колеса и автомобиля давление в тормозном цилиндре уменьшается путем открытия соответствующего клапана до тех пор, пока скорость колеса не станет близкой к скорости автомобиля.

При выводе собранных данных для перевода значений в физические величины у каждого канала имеется возможность использования линейных преобразований; если опрашиваемый датчик имеет нелинейную характеристику, для него возможно табличное преобразование. Имеющийся редактор таблиц позволяет модифицировать таблицы преобразований для каждого канала в отдельности, сохранять и загружать их. Программа обработки результатов имеет функции вычисления производных и интегралов от произвольных данных, входящих в файл данных. Вычисленные характеристики включаются в исходный файл данных и являются равноправными по отношению к исходным данным.

Программа обработки данных позволяет распечатать любой участок графика, преобразовать данные в формат электронных таблиц. Для того чтобы иметь возможность распечатать графики на любом оборудовании, программа преобразует выходной файл для печати в формат PLT системы PCAD.



Подсистема сбора данных. Наибольшие сложности в разработке программного обеспечения тестера были связаны с созданием программной оболочки, обеспечивающей эффективный сбор информации в реальном времени в рамках архитектуры IBM PC и операционной среды MS DOS.

Проанализируем имеющееся ПО на IBM PC с точки зрения решаемой задачи. Системное программное обеспечение IBM PC — это базовая система ввода/вывода (BIOS) и операционная система MS DOS. BIOS в IBM PC — набор подпрограмм ввода/вывода со стандартных устройств. Каждая подпрограмма имеет свой индивидуальный интерфейс, и потому в целом BIOS выглядит совершенно бесструктурно, а способ взаимодействия с ним влечет существенные накладные расходы по времени обращения к устройствам.

Второй вариант построения подсистемы драйверов предоставляет сама операционная система MS DOS. Однако MS DOS имеет очень ограниченные возможности в работе через программные драйверы. Кроме того, MS DOS — это не система реального времени, а время доступа к устройству через стандартный драйвер MS DOS составляет примерно 3 мс, что более чем в 200 раз медленнее требуемого времени. При обращении к DOS нельзя гарантировать максимальное время реакции на прерывания, а сама DOS не является повторно входимой и при множественном доступе, например, из процедур, работающих по прерываниям, разрушается. По этим причинам некоторые участки программы сбора данных комплекса написаны так, чтобы они не содержали в себе ни одного вызова функций BIOS или MS DOS.

Иными словами, системное ПО в IBM PC не предоставляет средств для исполнения прикладных задач реального времени. Поэтому разработана программная оболочка ASEI, позволившая унифицировать интерфейс между прикладными программами верхнего уровня и измерительными устройствами и обеспечить эффективный сбор информации в реальном времени.

Модули сопряжения с объектом, которые входят в комплекс, представляют собой набор различных нестандартных с точки зрения IBM PC устройств. Для работы с этими модулями требуются программные драйверы, «закрывающие» регистровый уровень этих устройств и предоставляющие прикладным программам унифицированный, достаточно удобный и эффективный интерфейс. Такой подход, ввиду модульности структуры, позволяет отлаживать независимо небольшие программные модули. Это существенно облегчает и ускоряет разработку сложных программных комплексов и исключает наиболее трудно обнаруживаемые программные ошибки, связанные с низкоуровневым программированием многочисленных устройств тестера, на стадии разработки прикладного программного обеспечения.

Как указывалось выше, при решении поставленной задачи скорость программного сбора данных должна быть порядка 64 кГц, в то время как производительность используемого в тестере процессора составляет 0,5 MIPS. Тем самым драйверная подсистема ввода/вывода должна обеспечивать скорость доступа к информационным каналам, всего в 16 раз меньшую, чем производительность самого микропроцессора.

Вообще говоря, требования унификации программного доступа к устройствам и высокая эффективность при работе с устройствами несколько противоречат друг другу, так как высокую скорость доступа можно обеспечить только на регистровом уровне, который не обеспечивает аппаратной независимости программ верхнего (прикладного) уровня. Решение этой проблемы потребовало специальных подходов в организации подсистемы ввода/вывода.

Программная подсистема ввода/вывода — ASEI. ASEI представляет собой резидентно размещаемую в памяти программу, которая запускается под управлением MS DOS. При инициации ASEI устанавливает 78h-программный вектор. Через это программное прерывание осуществляется обращение к драйверам устройств комплекса через единый унифицированный программный интерфейс, что обеспечивает аппаратную независимость прикладных программ и их переносимость на другие технические средства.

Каждый канал сбора информации в ASEI выглядит как логический канал со своим именем и атрибутами. Каждый логический канал имеет единый набор

функций и структуру параметров. Структура функции сбора информации традиционна: в качестве параметра передается адрес памяти для данных этого канала. Такой метод имеет существенный недостаток, поскольку для каждого измерения требуется обращение к драйверу, что неизбежно приводит к высоким накладным расходам по времени обращения к каналу сбора информации. Примерно 90 % команд драйвера, выполняемых при обращении к нему, относятся к интерфейсу и только 10 % — к работе с самим устройством. Высокие требования по скорости сбора в ABS-тестере не могли быть удовлетворены при традиционной схеме взаимодействия программ с драйверами подсистемы сопряжения с объектом. Это потребовало специального решения, обеспечивающего повышение скорости сбора информации примерно в 10 раз.

Идея решения этой задачи состоит в том, чтобы обеспечить сбор информации со всех необходимых устройств за одно обращение к ASEI. В этом случае неизбежные накладные расходы на интерфейс распределятся между всеми каналами.

В ASEI был реализован специальный виртуальный канал, при конфигурации которого можно определять список логических каналов, обслуживающих реальные устройства в системе. В каждый такой логический канал, кроме обычного «вертикального» входа в драйвер, был введен дополнительный «горизонтальный» вход в процедуру обслуживания устройства, которая не содержит в себе драйверной интерфейсной части. При конфигурации виртуального канала быстрого сбора данных формируется односвязный список «горизонтальных» входов в процедуры обслуживания устройств. При последующем вызове функции сбора информации с такого виртуального канала происходит сбор данных со всех устройств, определенных в списке при конфигурации. При этом время обслуживания одного канала составило около 10 мкс для процессора Intel8086-5Mhz. Время сбора информации по 32 каналам в итоге составило примерно 380 мкс для того же процессора, что удовлетворяет требованиям задачи.

**Заключение.** Разработанный комплекс представляет собой систему VME в бортовом исполнении, программно совместимую с IBM PC в системной части, и подсистему сопряжения с объектом. Благодаря магистрально-модульному принципу комплекс может легко расширяться и модифицироваться. Расширение и модификация комплекса обеспечиваются не только аппаратными особенностями, присущими VME-системам, но и программным обеспечением этих комплексов. Для комплекса была разработана специализированная драйверная система ввода/вывода, обеспечивающая простой и удобный интерфейс взаимодействия прикладных программ с устройствами, входящими в него.

Комплекс является специализированной системой сбора информации. Анализ собранной информации на инструментальной ЭВМ специальными программными средствами позволяет провести аттестацию различных ABS-систем и их сравнение.

Годовой опыт эксплуатации комплекса в НТЦ АО «АвтоВАЗ» показал, что он является достаточно универсальным средством, легко адаптируемым для решения различных задач сбора информации. Помимо тестирования ABS-систем, на комплексе был решен и ряд других задач: исследование процессов детонации в двигателях внутреннего сгорания, диагностика пропусков зажигания в двигателе и т. д.

*Поступила в редакцию 12 августа 1994 г.*