А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
А В Т О М Е Т Р И Я

№ 4 1978

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.325.5 : 181.4

Х. А. БАКЕР, А. М. ОСТАПЕНКО
(Бирмингем, Англия — Новосибирск)

УСТРОЙСТВО НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРА TMS 9900 ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭДС СТАНДАРТОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Быстрое внедрение микропроцессоров в различных областях научного приборостроения не оставляет сомнений о перспективности создания как автономных, так и комплексных систем автоматизации эксперимента на их базе. Некоторые разработки, считавшиеся ранее экономически невыгодными с точки зрения применения микропроцессоров, сейчас становятся оправданными с появлением нового поколения. В достаточно сложных системах разработчик еще не может отказаться от применения мини-ЭВМ, особенно там, где требуется развитая периферия, однако можно привести ряд примеров, когда микропроцессор обеспечивает желаемый результат с малыми затратами. Микропроцессор следует рассматривать в качестве компоненты новой элементной базы, способной заменить электронные узлы, разрабатываемые для конкретного алгоритма или устройства. На электротехническом факультете Университета Астона в Бирмингеме (Англия) авторами этой статьи выполнена работа по созданию устройства, автоматизирующего процесс подготовки паспортов на прецизионные стандарты напряжения. На микропроцессоре TMS 9900 («Texas Instruments Ltd») разработана система, обеспечивающая измерение ЭДС, вычисление среднего значения по нескольким измерениям и печать результатов на стандартном бланке. Микропроцессор TMS 9900— 16-разрядный центральный процессор в одном корпусе — предназначен для создания широкого диапазона устройств [1]. Область применения TMS 9900 — это развитые терминалы, осциллографы, устройства обработки данных, телефонные коммутаторы, игры, медицинское обслуживание и т. д.

Выбор 16-разрядного микропроцессора для конкретной задачи определялся требованиями системы. Входные данные представлены 26-разрядным словом в двоично-десятичном коде со знаком. Таким образом, даже при длине слова 16 разрядов результат измерения представлен двумя словами. При обработке данных требовалось производить арифметические операции с двойными словами, что не трудно сделать в системе команд TMS 9900. Система команд и структура 16-разрядных микропроцессоров выгодно отличаются от 8-разрядных. Кроме того, здесь учитывались перспективы расширения системы за счет подключения различного оборудования, предназначенного для поверки, тестирования и отладки приборов.

Основным инструментом подготовки программ и отладки разрабатываемого оборудования при выполнении данной работы являлись вычислительные машины фирмы «Texas Instruments» на базе микропроцессора TMS 9900. В пользовании у разработчика находятся две мини-ЭВМ различной конфигурации: первая — 990/10, оснащенная достаточно мощной операционной системой на дисках, предназначена для создания, редактирования и отладки программ; вторая — 990/4, дополненная расширителем ввода-вывода, имитирующим устройство,— для отладки аппаратуры. В расширителе собственно ЭВМ занимает один блок и выступает в качестве процессора устройства. Отлаживаемые блоки подключаются к шинам процессора через интерфейсную плату, выполняющую функции согласования сигналов и их буферизацию, т. е. шины разрабатываемого устройства являются продолжением шин ЭВМ. Это позволяет работать в системе точно так же, как если бы на месте ЭВМ находился процессор отлаживаемого устройства. Такая конфигурация позволяет довольно просто отлаживать отдельные блоки устройства (различные интерфейсы, блоки памяти и специализированные блоки). Здесь вместо блока процессора пользователю предоставлена возможность работать с более развитой структурой; имеются возможности загрузки, модификации и отладки программ. ЭВМ 990/4 комплектуется устройством программирования EPROM.

На рис. 1 представлена блок-схема устройства для автоматического измерения ЭДС стандартной ячейки. Магазин нормальных элементов представляет собой набор из 10

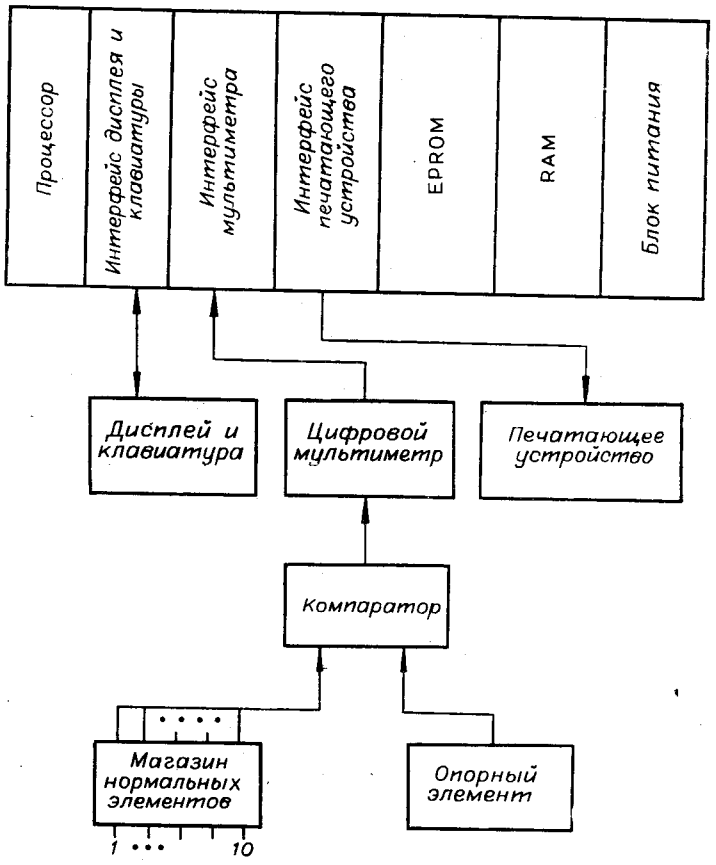

Рис. 1.

или 4 термостабилизированных ячеек стандартов напряжении. Стабильность напряжения составляет 10^{-7} В. С помощью компаратора и гальванометра вручную производится сравнение ЭДС одного из нормальных элементов и опорного. Разница напряжений измеряется цифровым мультиметром. Данные через интерфейс вводятся в устройство, в процессоре производятся вычисления отличия каждой ячейки по отношению к ячейке номер 1 магазина и результаты в соответствии со специальной формой воспроизводятся на печатающем устройстве. На дисплее появляются сообщения о вводе некоторых характеристик: даты измерения, номера магазина, отклонения температуры и т. д. Программа, находящаяся в постоянной памяти EPROM, обеспечивает функционирование устройства.

Блок процессора содержит микропроцессор TMS 9900, 4-фазный генератор TIM 9904, программируемый интерфейс TMS 9901, который организует 15 векторных прерываний, буферные регистры данных, адресов и сигналов управления (рис. 2).

Микропроцессор TMS 9900 имеет отдельные шины адреса, данных, ввода-вывода и прерывания. Адресные шины также используются для адресации ввода-вывода и некоторых управляющих команд (IDLE и т. д.).

Дешифрация адреса внешних устройств производится в соответствующем интерфейсе. С точки зрения процессора адресация к вводным и выводным регистрам подобна адресации к ячейкам памяти. При исполнении команд ввода-вывода сигналы CRUIN для ввода, CRUOUT и CRUCLC для вывода активны.

Генератор обеспечивает синхронизирующие 4-фазные сигналы для процессора и внешних цепей. Цепи сброса формируют сигнал RESET автоматически при включении питания. Имеется возможность генерировать этот сигнал с помощью кнопки. При активации сигнала RESET происходит векторное прерывание в ячейку с адресом 0000 и запускается инициирующая работу устройства программа.

В описываемой конфигурации собственно блок процессора, включая цепи организации пятнадцати векторных прерываний, состоит из четырех корпусов. Нагрузочная способность шин TMS 9900 такова, что в минимальной системе нет необходимости использовать буфера шин. Однако шины адреса, данных и управляющие шины буферизованы, поскольку конструктивно блок изготовлен на одной плате с учетом применения его в других устройствах.

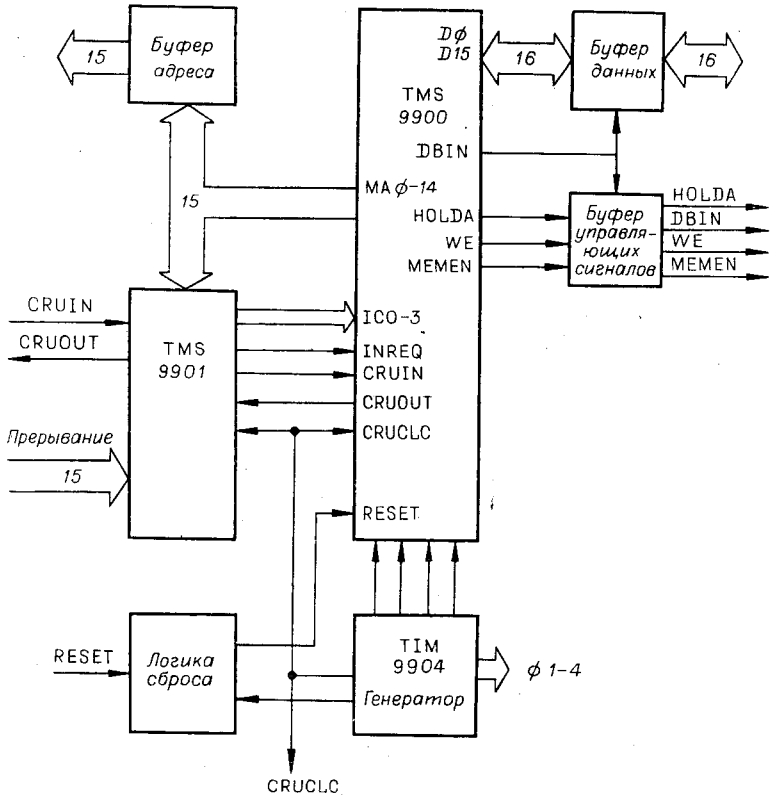

Рис. 2.

Процессор работает на максимальной частоте 3 МГц. Оперативная память (RAM) организована на корпусах статистической памяти INTEL 2102 (организация 1 $K\times1$ бит). Восемь корпусов TMS 2708 использованы в качестве постоянной памяти EPROM, в которой расположена программа, обеспечивающая функционирование устройства. Постоянная память имеет адреса $0000\div3FFF$, оперативная — $4000\div4FFF$. Первые 64 байта ROM отведены под ячейки векторного прерывания. В ячейках с адресами 0000, 0004, 0008 и т. д. записаны указатели рабочих регистров [1], используемых на соответствующем уровне прерывания, в ячейках 0002, 0006, 000*A* — значение программного счетчика. Стартовый адрес основной программы равен 0040. В данном устройстве используется один набор рабочих регистров, который расположен в RAM, начиная с адреса 4000. Следом за адресами рабочих регистров следуют адреса буфера ввода-вывода и буфера данных. Все операции ввода-вывода производятся через буфер ввода-вывода.

Не вдаваясь в подробности организации программы, перечислим здесь основные модули программы, которые обеспечивают: ввод данных с клавиатуры, вывод сообщений на дисплей, ввод данных с цифрового вольтметра, инициализацию и обслуживание печатающего устройства, преобразование двоично-десятичного кода в двоичный, преобразование десятичного кода в двоичный, преобразование двоичного кода в десятичный, вычисления результатов, арифметику двойных слов — сложение, вычитание, умножение и деление. Программа написана на Ассемблере [2] и в кодах занимает около 2 *K* постоянной памяти.

Ввод данных производится с помощью цифрового мультиметра DAPA 5900. Его разрешение при измерении напряжения составляет 1 мкВ, точность на используемом диапазоне ±0,002%. Выходные данные представлены в двоично-десятичном коде. Кроме шин данных, мультиметр имеет 18 шин управляющих сигналов и 14 шин статуса. Ввод информации осуществляется в три слова: два слова — данные и одно слово — статус. В интерфейсе мультиметра имеется мультиплексор, подключающий к процессору в соответствии с командами шины данных или статуса.

Кратко рассмотрим последовательность работы устройства. При его включении или при нажатии кнопки «Сброс» производится запуск программы, находящейся в постоянной памяти. На дисплее появляется сообщение оператору о готовности с просьбой ввести дату измерения и напоминанием о закладке бланка в печатающее устройство. Оператор обязан ввести число, месяц, год, которые запоминаются в оперативной памяти. Далее такие же сообщения выдаются оператору о необходимости ввода серийного

номера ячейки, их количества и температуры, при которой находится ячейка. В дальнейшем по окончании измерения эти данные будут впечатаны в соответствующие места бланка вместе с результатами измерений и вычислений. При появлении сообщения, требующего подключить ячейку номер 1 магазина, оператор вручную делает соединение. Применение для этой цели управляемых от процессора коммутаторов возможно, однако здесь возникают трудности с контактной ЭДС, т. е. с качеством контактов переключателей [3]. Бесконтактные переключатели, по-видимому, для этой цели использовать нельзя.

По окончании операции подключения первой ячейки оператор нажимает кнопку «Продолжить», что вызывает запуск подпрограммы измерения с запоминанием результата. Следом появляется сообщение о подключении ячейки номер 2 и т. д. Цикл продолжается, пока не будут закончены все измерения. Программа переходит затем к обработке введенных данных и печати результатов. Обработка заключается в вычислении отклонения значения ЭДС измеряемого элемента магазина от ЭДС опорного элемента, который может быть одной из ячеек магазина.

Таким образом, устройство позволяет производить систематически выполняемые измерения и документировать их. При этом исключаются часто встречающиеся ошибки записи результатов измерения, вычислений и печати документа. Добавление в систему простых интерфейсов к обычно используемым в лабораториях стандартов прецизионных приборов различного типа (мостов, потенциометров) позволяет легко с точки зрения аппаратуры создавать устройства, автоматизирующие процесс поверки и паспортизации приборов. В этом случае основной задачей является разработка программы для соответствующего устройства без существенного изменения конфигурации электронных блоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Minimum** system design with the TMS 9900 16-bit microprocessor.— "A Texas Instruments Application Report", Bedford, April 1976.
2. **Assembly** Language Programmer's Guide. Texas Instruments, February 1976.
3. **Braudaway D. W., Kleimann R. E.** A high-resolution prototype system for automatic measurement of standard cell voltaige.— In: Conference on Precision Electromagnetic Measurements. London, 1—5 July 1974.

Поступило в редакцию 28 февраля 1978 г.

УДК 621.375.9

Э. А. КУПЕР, А. В. ЛЕДЕНЕВ
(Новосибирск)

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МДМ-УСИЛИТЕЛЬ

В работе рассматривается операционный МДМ-усилитель, предназначенный для измерения малых токов (порядка нескольких наноампер) с погрешностью $\pm 10^{-4}$. При незначительных изменениях усилитель может быть использован в качестве масштабного в многоканальных измерительных системах микровольтового диапазона с приведенным дрейфом не более $10 \cdot 10^{-9}$ В/К.

Усилитель выполнен по стандартной схеме «модулятор — усилитель — демодулятор» с параллельным высокочастотным каналом (рис. 1). Низкочастотная составляющая входного сигнала преобразуется и усиливается в МДМ-канале: входной фильтр — $R1$, $C1$, модулятор — $R2$, $T1$, усилитель переменного тока — $T3$, A_1, $T4$ — $T6$, демодулятор J_2, конденсатор фильтра демодулятора — $C4$. Крутизна усилителя переменного тока определяется соотношением резисторов $R3$, $R4$, $R5$ и равна ~ 2 А/В. В данном случае удобно пользоваться понятием крутизны передачи, а не коэффициентом усиления по напряжению, так как оконечный каскад усилителя переменного тока имеет большое выходное сопротивление и нагружен на емкость фильтра. Задающий мультивибратор и ключи демодулятора выполнены на логических элементах К — МОП-серии (J_1 и J_2 соответственно). Управляющие сигналы на модулятор поступают с фазоинвертора (МОП-тетрод $T2$), обеспечивающего два противофазных напряжения. Высокочастотная составляющая входного сигнала усиливается малошумящим каскадом (транзисторы $T7$, $T8$), коэффициент передачи которого равен 20. Сигнал с этого каскада суммируется с выходным сигналом МДМ-канала на усилителе (микросхема A_2) с коэффициентом передачи ~ 5000. Ограничитель Д1 — Д5 предохраняет усилитель от перегрузки при больших входных сигналах.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя с разомкнутой обратной связью приведена на рис. 2. Частота сопряжения высокочастотного и МДМ-каналов