

СИСТЕМА НА КРИСТАЛЛЕ TURBOMASTER 2.0

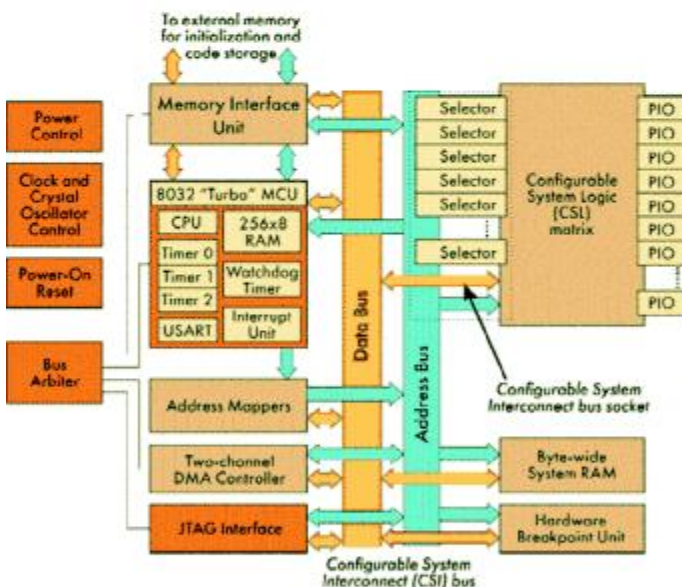


2009

Общие положения

Применение современной технологии разработки электронных устройств на базе микропроцессоров SoC (System-on-Chip, система-на-кристалле) позволяет создавать современное конкурентоспособное оборудование с повышенными требованиями к функциональности, производительности и надежности, сокращая временные и финансовые затраты. Микропроцессорная система на базе SoC уже содержит необходимые для конечного устройства интерфейсы (например USB, Ethernet, LCD) и аналогична по своей функциональности одноплатному промышленному компьютеру, но при этом обладает минимальными размерами, расширенным температурным диапазоном и ценой в несколько раз меньше цены на промышленные компьютеры.

Первой в мире прогрессивную и перспективную идею создания микропроцессорной системы на площади одного кремниевого кристалла реализовала компания Triscend Corp. (Калифорния, США). Обладая большим практическим опытом на рынке встраиваемых приложений, специалисты компании заметили, что значительную часть конечных систем составляют изделия, которые включают в себя три базовых компонента: микропроцессорное ядро, массив программируемой логики и блок памяти. Вслед за ней и несколько других компаний воплотило свои идеи в конкретные семейства серийно выпускаемых ИС и продолжают работу в этом направлении.



Triscend Corp объединила на площади одного кремниевого кристалла скоростное ядро "turbo" 8032 с типовым набором периферийных узлов, матрицу конфигурируемой системной логики FPGA, набор фиксированных вспомогательных периферийных узлов, скоростную шину для внутреннего обмена данными и массив статической памяти. Такое изделие класса SoC позволяет разработчикам в кратчайшие сроки создавать специализируемые процессорные платформы для разнообразных встраиваемых применений, значительно выигрывая в скорости выхода на рынок новых разработок.

Многие зарубежные фирмы - производители проводят в настоящее время активные исследования перспек-

тивности создания микросхем класса SoC различных архитектур. Несколько компаний уже реализовало свои идеи в конкретные семейства серийно выпускаемых ИС. Можно отметить разработки следующих фирм: Altera с процессорными ядрами ARM и MIPS, Quick Logic - с ядром MIPS, Xilinx - с ядром PowerPC, Triscend с ядром ARM7TDMI, Atmel с ядром AVR RISC и Cypress Microsystems с ядром M8C.

Немногочисленные отечественные разработки в области SoC, например, система на кристалле "МЦСТ-R500S", производимая компанией ЗАО "МЦСТ", система на кристалле на базе 8-ми битного RISC процессора от НПП "Цифровые решения", оказались невостребованными в силу своей узкоспециализированной направленности. Как правило, эти SoC применяются только в собственных изделиях компаний.

Наряду с ранними подходами по проектированию SoC по технологии ASIC (Application Specific Integrated Circuit), развивался и подход, связанный с применением ПЛИС для создания SoC. Развитие такого подхода обуславливалось развитием самих ПЛИС, в которых интегрируется всё большая и большая функциональность, включая процессоры, память, блоки цифровой обработки сигналов, высокоскоростные входы/выходы и ряд других сложных IP-блоков (блоков интеллектуальной собственности - компьютерных файлов со схемами для записи в ПЛИС).

В основе методологии проектирования SoC на базе ПЛИС лежит принцип повторного использования блоков. Т.е. сложные функциональные блоки, разрабатываемые в рамках одного проекта или специально, затем используются в других проектах. По аналогии с системой на плате, где в качестве компонентов выступают готовые микросхемы, система на кристалле конструируется из повторно используемых блоков.

Фактически весь процесс разработки SoC делится на четыре этапа:

- 1) разработка архитектуры SoC на системном уровне;
- 2) выбор имеющихся IP-блоков из базы данных (собственных и поставщиков IP-блоков);
- 3) проектирование оставшихся блоков;
- 4) интеграция всех блоков на кристалле.

Поскольку применение ПЛИС предполагает интеграцию комплекса IP-блоков на кристалле конечным пользователем, без участия производителя ПЛИС, то уже можно говорить о конфигурированной системе на кристалле - CSoC (Configurable System on a Chip).

CSoC на базе ПЛИС - это кардинальные изменения не только в микроэлектронике, но и в международном разделении труда. Действительно, зачем отечественному разработчику оплачивать производство и перевозку через море множества разнообразных микросхем, когда достаточно купить только одну микросхему - ПЛИС, а всё остальное "нарисовать" внутри неё самому. Отказ от применения уже "готовой" элементной базы, т.е. готовых процессоров, контроллеров интерфейсов и прочих подобных микросхем позволяет разработчику обрести независимость от производителей и поставщиков микросхем. Более того, такой подход позволяет не привязывать "проект" даже к конкретному производителю ПЛИС, выбирая наиболее доступную в данное время микросхему.

Конфигурируемая система на кристалле (CSoC) TURBOMASTER 2.0

Анализ существующих систем SoC показывает, что, несмотря на развитие технологии производства ИС, процессорные системы строятся по "накатанной" схеме, где главную роль выполняют микропроцессорное ядро (иногда два ядра), системная шина и контроллер прерываний. Такая схема построения в большинстве случаев не оптимальна в реализации практических задач управления и регулирования. Механизм, когда много процессов управляются одним процессором, сколь бы быстродействующим он ни был, является не только неэффективным, но и потенциально аварийным. Сбой в программе или блоке прерываний (или компьютерный вирус, когда речь идёт об операционной системе) способны вывести из строя всё устройство.

Более эффективной и стабильной видится система, где за каждый из процессов отвечает свой микроконтроллер: первый - за вычисления, второй (или несколько) - за приём и передачу данных, третий - за задачи ввода и отображения информации, и т.д.

Именно по такой схеме и построена система на кристалле TURBOMASTER 2.0. Система строится вокруг контроллера доступа к общей памяти, которая содержит в себе программы основного и периферийного процессоров, регистры с информацией от дополнительных устройств - часов реального времени, термометра и пр., блоки регистров входных и выходных данных, блок регистров для пользовательских нужд и др. Структура памяти может быть оптимально сконфигурирована под конкретную задачу, исходя из состава CSoC: количества используемых микропроцессоров, количества и типа входов/выходов, количества и типа применяемых интерфейсов, наличия дисплея и клавиатуры и т.д.

Другим направлением отказоустойчивости систем на кристалле TURBOMASTER 2.0 является аппаратное замещение часто используемых программных процедур, создание специализированных блоков - контроллеров, предназначенных для выполнения конкретной функции - вывод информации на определённую модель ЖК - дисплея, обработка сигналов клавиатуры, вывод информации на печать, обработка входных сигналов и пр. Контроллеры оформляются в виде IP - блоков. Система может содержать как "родные" IP - блоки, так и разработки сторонних фирм.

Построение реконфигурируемой системы на кристалле TURBOMASTER 2.0 осуществляется виртуально, на компьютере, с использованием специализированного программного пакета. Созданная система "зашивается" в микросхему ПЛИС (при помощи кабеля - программатора, входящего в комплект) прямо на плате. Это позволяет не только упростить отладку получаемого устройства, но и проводить его модернизацию простой заменой "прошивки" ПЛИС.

Завершает процесс создания системы на кристалле TURBOMASTER 2.0 разработка и отладка прикладных программ для микропроцессоров.

Типовая схема CSoC TURBOMASTER 2.0 состоит из:

- контроллера доступа к общей памяти
- основного микропроцессора
- периферийного микропроцессора
- микропроцессора интерфейса RS-232
- микропроцессора интерфейса ETHERNET
- контроллера ЖК - дисплея
- контроллера клавиатуры
- контроллера принтера
- контроллера часов реального времени
- контроллера цифрового термометра
- конфигурируемого контроллера входных сигналов
- конфигурируемого контроллера выходных сигналов
- области пользовательских разработок

Контроллер доступа к общей памяти предоставляет ранжированный доступ к общим областям памяти для устройств, входящих в систему. Это единственная "ниточка", связывающая автономные устройства системы на кристалле. Контроллер конфигурируется в соответствии с типом внешней физической памяти, использованной в системе, и количеством устройств, которым требуется доступ к этой памяти.

Основной микропроцессор является 32 - разрядным вычислителем с плавающей запятой. Микропроцессор является устройством, обрабатывающим главную "прикладную" программу системы, оперируя данными, поставляемыми остальными микропроцессорами и контроллерами в общие области памяти. Программа микропроцессора также находится в общей памяти и может быть изменена через интерфейс RS - 232.

Периферийный микропроцессор представляет собой 16 - разрядный процессор, предназначенный для решения задач ввода и вывода данных на вспомогательные устройства - дисплей, клавиатуру, принтер и пр. Программа микропроцессора также находится в общей памяти и может быть изменена через интерфейс RS - 232. Функции микропроцессора ограничиваются записью необходимых значений в буферы специализированных контроллеров, реализующих непосредственное взаимодействие с конкретными клавиатурой, дисплеем и принтером.

Коммуникационный микропроцессор представляет собой 8 - разрядный процессор, созданный для решения задач протокольного обмена данными.

Микропроцессор интерфейса RS - 232 обеспечивает обмен с внешними устройствами (например, с ПК) по протоколу MODBUS RTU в режиме ведомого устройства.

Микропроцессор интерфейса ETHERNET обеспечивает уровень сетевого IP и транспортного UDP протоколов. При обмене используются пакеты, сформированные по правилам протокола MODBUS, но без контрольной суммы. Предназначен для работы с микросхемами, обеспечивающими физический (PHY) и канальный (MAC) уровни протоколов обмена.

Микропроцессор имеет доступ ко всему адресному пространству системы и работает по программе, записанной во внутренней памяти ПЛИС. Помимо указанных выше вариантов интерфейсов, система может комплектоваться и другими интерфейсами

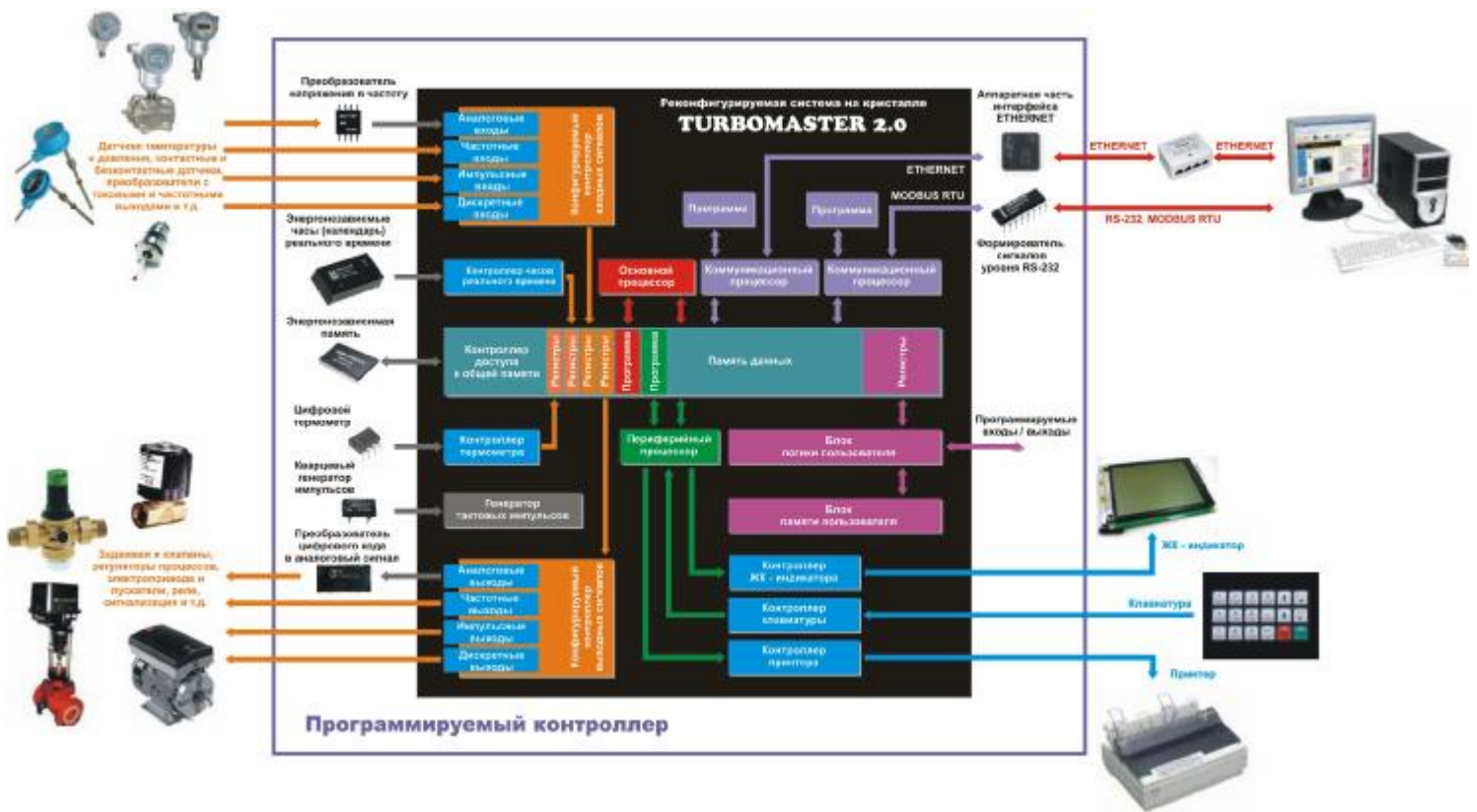
по принципу "дополнительный интерфейс = дополнительный коммуникационный микропроцессор".

Контроллер входных сигналов представляет собой устройство, конфигурируемое по количеству и типу входных сигналов, предназначенное для первичной обработки информации с измерительных входов и записи её в специальные ячейки памяти - регистры входных каналов.

Контроллер выходных сигналов представляет собой устройство, конфигурируемое по количеству и типу выходных сигналов, предназначенное для передачи

ляется на этапе конфигурирования системы CSoC. Контроллеры оформлены в виде библиотеки законченных IP - блоков.

Большой объём ресурсов ПЛИС отведён под блок пользовательских разработок. Он включает в себя **блок логики пользователя** и **блок памяти пользователя** - внутренней памяти ПЛИС. Блок пользовательских разработок имеет доступ к определённой области общей памяти, вследствие чего может как брать данные из неё, так и передавать собственную информацию, которая может быть использована при выполнении прикладной программы. Главное предназначе-



информации из регистров выходных каналов общей памяти в буферы специализированных контроллеров выходов - аналоговых, дискретных, частотных и импульсных.

Специализированные контроллеры входов и выходов, а также контроллеры часов реального времени, цифрового термометра, дисплея, клавиатуры и принтера являются аппаратными блоками, реализующими протокольный обмен данными с конкретными внешними устройствами (или микросхемами, входящими в состав контроллера) или необходимые функциональные действия. Выбор конкретного контроллера осуществ-

ление данного блока состоит в предоставлении пользователю системы на кристалле возможности создания собственных логических или вычислительных структур, с возможностью их "вписания" в готовую систему в рамках одной микросхемы.

Данная структура системы является результатом многолетнего опыта разработки и внедрения систем и устройств промышленной автоматизации, анализа всевозможных решённых задач и перспективных разработок. Система на кристалле TURBOMASTER 2.0 более трёх лет используется при создании собственных изделий предприятия, в т.ч. контроллера ЗОДИАК.

Универсальный программируемый контроллер ЗОДИАК

Примером реализации устройства промышленной автоматизации на базе CSoC TURBOMASTER 2.0 является универсальный программируемый контроллер ЗОДИАК.



Контроллер "ЗОДИАК" обеспечивает:

- непрерывное измерение и обработку сигналов от первичных преобразователей;
- реализацию основных измерительных и вычислительных алгоритмов;
- отображение информации на встроенном дисплее;
- ввод и корректировку настроечных параметров контроллера с клавиатуры;
- формирование отчетов и вывод их на печать.

Контроллер может использоваться либо как автономное измерительно - вычислительное устройство, либо как часть глобальной системы телемеханики с протоколом Modbus RTU.

Обмен с контроллером осуществляется по интерфейсам RS - 232 и Ethernet. Для вывода на печать используется параллельный интерфейс Centronics (LPT).

Функциональность контроллера обеспечивается применением различных плат расширения базовой комплектации (определяется количеством и типом входных и выходных сигналов) и загрузкой соответствующего программного обеспечения.

На рисунке представлен контроллер "ЗОДИАК" в реализации, предназначенной для использования в составе вторичной аппаратуры систем измерения количества и показателей качества нефти (СИКН), имеющих в своём составе блок измерения и контроля качества нефти (БИК).

Конструктивные параметры

- габаритные размеры 96x96x140 мм
- масса не более 1 кг

Электрические параметры

- напряжение питания ~ 220 В, 50Гц
- потребляемая мощность не более 10 Вт

Надёжность

- средняя наработка на отказ для рабочих условий не менее 40000 ч
- полный срок службы не менее 10 лет

Характеристики интерфейса

- тип интерфейса RS-232
- скорость, удалённость 115.2 кбит/с, 10 м
- тип интерфейса Ethernet
- скорость, удалённость 30 Мбит/с, 150 м
- протокол Modbus RTU

Функциональная плата контроллера обеспечивает ввод сигналов от первичных преобразователей и вывод сигналов на исполнительные устройства.

Аналоговые входные каналы

- количество каналов 20
- диапазон измерения 4..20 мА

Частотные входные каналы

- количество каналов 6
- диапазон измерения 5..12000 Гц

Импульсные входные каналы

- количество каналов 4
- тип сигнала ЭК, сухой контакт
- уровень сигнала от 0 до 30 В

Микропроцессорная плата (базовая плата)



Функциональная плата (плата расширения)

Дискретные входные каналы

- количество каналов **8**
- тип сигнала **ЭК, сухой контакт**
- уровень сигнала **от 0 до 30 В**

Дискретные выходные каналы

- количество каналов **7**
- тип сигнала **ЭК с ОЭ**
- уровень сигнала **от 0 до 30 В**

Микропроцессорная плата выполнена на базе системы на кристалле TURBOMASTER 2.0.

Технология системы на кристалле обеспечивает разводку основных проводников, включая процессорные шины, внутри микросхемы CSoC. Вследствие этого, даже самое сложное устройство промышленной автоматизации может быть реализовано на двухсторонних печатных платах по 3..4 классу точности. Такой подход позволяет реализовать процесс изготовления устройств на базе микросхемы TURBOMASTER 2.0 на любом отечественном предприятии электронной промышленности.

Кроме того, технология CSoC определяет новый подход к системной интеграции. Если при покупке зарубежного контроллера системный интегратор получа-

Разъём для подключения клавиатуры и дисплея

Цифровой термометр

Часы реального времени

Блок питания



Кварцевый осциллятор

Система на кристалле

Интерфейсные разъёмы

Разъём для реконфигурирования системы

Разъём для подключения функциональной платы

Рисунок наглядно показывает, что практически весь контроллер "ЗОДИАК" реализован в рамках одной микросхемы - реконфигурируемой системы на кристалле TURBOMASTER 2.0.

CSoC реализована согласно структуре, приведённой ранее, т.е. система имеет "на борту" основной микропроцессор, периферийный микропроцессор и два коммуникационных микропроцессора. Система сконфигурирована под использование 2-строчного символического ЖК-индикатора, сенсорной клавиатуры с протоколом I2C и LPT-принтера.

ет возможность менять лишь программу, приспосабливая готовый контроллер к решаемой задаче, то, используя контроллер на базе TURBOMASTER 2.0, он может создать структуру, наиболее полно отвечающую решению поставленной задачи, вплоть до самостоятельного изготовления плат расширения системы. Впрочем, и для сторонников традиционного подхода к системной интеграции контроллеры на базе CSoC TURBOMASTER 2.0 также представляют интерес. Среда разработки "EITHNE" позволяет решать задачи автоматизации на базовых конфигурациях контроллера "ЗОДИАК" по аналогии с зарубежными образцами.

Среда разработки "EITHNE" для устройств на базе CSoc TURBOMASTER 2.0

Среда разработки "EITHNE" представляет собой совокупность разнообразнейших инструментов, призванных эффективно решать задачи, встающие перед разработчиками устройств промышленной автоматизации на базе реконфигурируемой системы на кристалле TURBOMASTER 2.0.

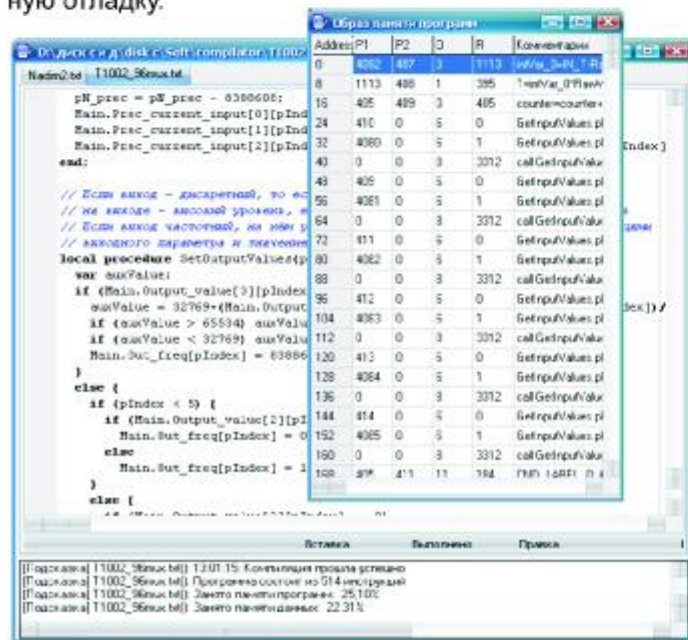


Основой среды разработки является компилятор, подготавливающий программы, написанные на языках Calc32 и MP8, для записи в CSoc.

Язык Calc32 является языком высокого уровня, сходный синтаксисом как с Си, так и с Паскалем. Получившаяся структура позволяет эффективно использовать возможности 32-разрядного процессора. Для языка Calc32 были портированы с Си несколько математических подпрограмм, позволяющих вычислять степень, экспоненту и логарифм.

Язык MP8 – язык низкого уровня, структурно напоминающий Ассемблер. Разработанный изначально для 8-разрядного процессора, оперирующего целыми числами, он был доработан для использования с 16-разрядным процессором. Этот язык предназначен для организации взаимодействия клавиатуры, индикатора, принтера и других устройств.

Единая среда разработки позволяет показывать в текстовом редакторе любую ошибку, найденную компилятором, значительно упрощая первоначальную отладку.

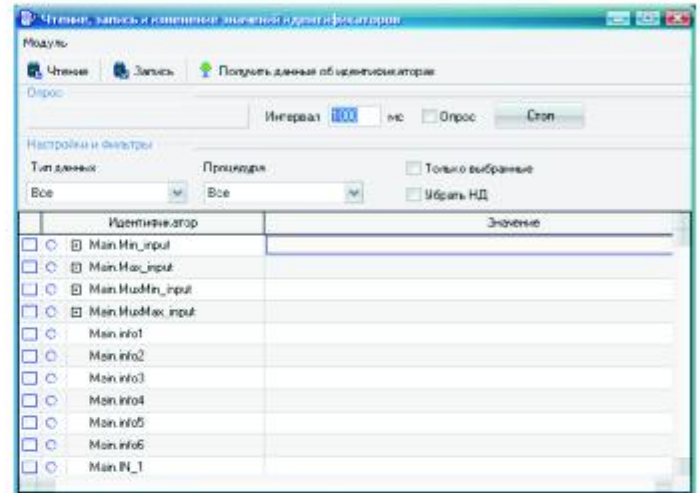


Текстовый редактор имеет подсветку синтаксиса и другие черты современных редакторов программ. Навигатор по меткам или процедурам даёт возмож-

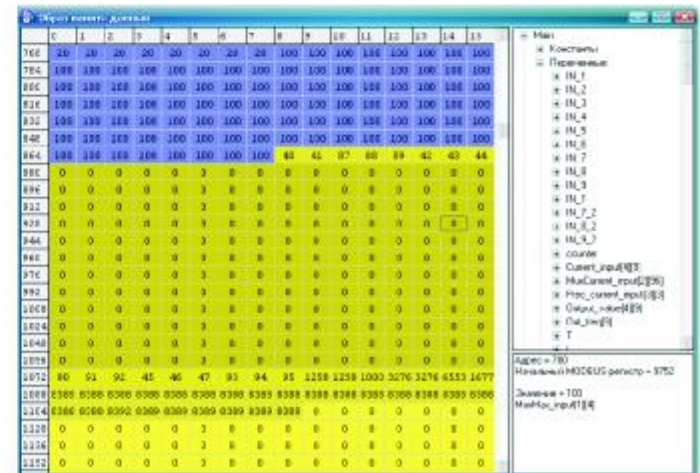
ность быстро перемещаться по тексту больших программ.

Встроенный отладчик позволяет проверять работу программ не по результатам выполнения, а по самому процессу вычислений.

Среда разработки позволяет не только записывать скомпилированные программы в CSoc, но и читать периодически или по запросу память системы и показывать её содержимое - **инструмент работы с идентификаторами**.



Развитие технологии "TURBOMASTER" приводит к тому, что среда разработки "EITHNE" пополняется новыми инструментами. Применение ЖК-индикатора привело к созданию **редактора меню**, предназначенного для создания меню, выводимого на дисплей. Возможность работы устройств непосредственно с принтером потребовало создания инструмента для конструирования отчётов - **редактора отчётов**, и т.д.



В процессе компиляции программы создаётся файл, в котором хранится информация о переменных и константах. В дальнейшем он может быть использован программой-сервером (MODBUS-сервером или OPC-сервером) для их передачи и отображения в программах и SCADA-системах на ПК.