

Модуль универсального устройства интерфейса и параметрического тестера МКПД по ГОСТ Р 52070-2003

Харин В.А., Демьянов П.Ю., Миронов Н.Ю., Стенькин Е.С.

ЗАО НТЦ «Модуль», г. Москва, Россия

Аннотация. В статье описана разработка универсального устройства интерфейса мультиплексного канала передачи данных по ГОСТ Р 52070-2003, предназначенного для решения задач тестирования, диагностики и отладки аппаратуры, использующей МКПД, и систем управления, построенных на основе МКПД. Рассмотрены технические требования к модулю, выполнен обзор аналогичной аппаратуры, описана постановка задачи по разработке модуля. Описана реализация аналоговой части модуля – приемопередатчика с регулируемыми по программным настройкам параметрами, выполненного с использованием принципа цифрового синтеза формы сигнала. Описана архитектура функционально-логической части, реализующей логику тестера и протокольных автоматов, обеспечивающих возможность мультирежимной работы модуля (контроллер шины, 31 оконечное устройство, монитор шины), с возможностью внесения специфицированных типов ошибок в передаваемую информацию. Описана выбранная для модуля платформа сопряжения с управляющей ЭВМ – магистрали VХI/LXI, обеспечивающие возможность интеграции модуля в состав различных комплексов унифицированной контрольно-проверочной аппаратуры. Описано разработанное к настоящему времени системное и прикладное программное обеспечение, реализующее, в том числе, поддержку двух основных задач при использовании модуля по назначению – тестирование устройств интерфейса на соответствие требованиям ГОСТ Р 52070-2003 и интерактивное управление мультирежимной работой модуля (конфигурирование режимов КШ/31×ОУ/МШ, создание последовательностей передаваемых сообщений, запись трасс) для отладки и диагностики аппаратуры и систем управления на основе МКПД и их программного обеспечения.

Введение

Мультиплексный канал передачи данных (МКПД) по ГОСТ Р 52070-2003 (зарубежный аналог стандарта – MIL-STD-1553В) широко используется в отечественных и зарубежных системах управления различными объектами военной и гражданской техники более 30 лет и продолжает находить применение в новых разработках и при модернизации существующих образцов РЭА, несмотря на относительно низкую скорость передачи информации (1 Мбит/с). Предпосылками к длительному периоду активного применения данного интерфейса являются высокая надежность передачи информации, высокая помехоустойчивость, и другие факторы, позволяющие обеспечить наиболее высокий уровень «живучести» бортовых систем по сравнению с системами, построенными на базе других стандартизированных интерфейсов.

Одной из характерных особенностей МКПД является высокая степень надежности передачи информации, для обеспечения которой в стандарт заложены достаточно жесткие требования к техническим средствам интерфейса и их составным частям. В соответствии с требованиями НТД на методы контроля технических средств МКПД (ГОСТ Р 51739-2001, ГОСТ Р 51765-2001, ГОСТ Р 52071-2003 – ГОСТ Р 52075-2003) данные требования должны подтверждаться при

испытаниях устройств интерфейса, компонентов физической среды, комплекса аппаратного оборудования в целом .

За период активного применения МКПД разработан широкий ряд зарубежных и отечественных электрорадиоизделий, предназначенных для построения технических средств интерфейса (приемопередатчиков, микроконтроллеров различной степени сложности, в последнее время – систем на кристалле с интегрированными СФ-блоками, при постоянной тенденции к миниатюризации таких ЭРИ), было разработано и изготовлено множество образцов РЭА различного прикладного назначения. При этом зарубежными производителями параллельно разрабатывалось достаточно большое количество тестовой аппаратуры, обеспечивающей выполнение задач контроля и испытаний РЭА и систем управления, использующих МКПД, в то время как среди отечественной контрольно-проверочной аппаратуры средства тестирования МКПД практически отсутствуют – был разработан только один тип унифицированного прибора (тестер и имитатор), характеристики которого будут пояснены ниже.

Среди образцов тестовой аппаратуры МКПД, исходя из требований по назначению, можно выделить два основных класса изделий: средства автономного тестирования устройств интерфейса для определения соответствия требованиям стандарта (средства аттестационного тестирования, тестеры) и средства отладки, контроля и диагностики устройств интерфейса, систем управления и их программного обеспечения (так называемые «анализаторы шины»). Отдельные современные зарубежные образцы удовлетворяют требованиям к аппаратуре обоих классов.

Средства аттестационного тестирования представляют собой программно-аппаратные комплексы, включающие в свой состав собственно электронный модуль тестера (либо набор модулей), функционирующий под программным управлением, набор внешней измерительной аппаратуры, требуемой конкретной методикой аттестационного тестирования (как правило, это осциллограф, измеритель импеданса, широкополосный вольтметр, генератор периодических сигналов, генератор постоянных напряжений, генератор шумовых сигналов), и набор средств коммутации для подключения тестируемого изделия. Электронный модуль (блок) тестера должен обладать следующими характеристиками:

- обеспечивать передачу в МКПД задаваемой программно информации, структура и временные параметры передачи которой определяются конкретной методикой испытаний и характеристиками тестируемого изделия. Передаваемая информация может содержать специфицированные, вносимые тестером, ошибки кодирования, ошибки временных соотношений (для отдельных тестов требуется шаг изменения временных интервалов в формируемой информации не более 10 нс), ошибки информационного состава сообщений;
- обеспечивать прием по МКПД информации от тестируемого изделия и ее запись для последующего программного анализа;
- обеспечивать управление (оптимально – по программным командам) электрическими параметрами передаваемого тестером сигнала МКПД, а именно

размахом амплитуды напряжения (в широком диапазоне, не хуже чем от 0,8 до 27,0 В на выходе тестера для подключения к магистрали с использованием согласующего трансформатора) и фронтом (спадом) выходного сигнала (как минимум, включая значение заведомо меньше 100 нс, номинальное значение 200 ± 20 нс, а также «пологий» фронт, форма сигнала при котором должна быть максимально приближена к синусоидальному сигналу для импульсов с частотой 1 МГц). Регулировки амплитуды и фронта (спада) выходного сигнала должны быть независимы друг от друга и при изменении одного из регулируемых параметров второй должен сохранять установленное значение.

Последнее из перечисленных требований наиболее сложно реализуемо технически в силу сложности регулирования биполярного аналогового сигнала по двум параметрам в указанных диапазонах. Отчасти это объясняет то, что только несколько зарубежных образцов тестовой аппаратуры полностью соответствуют всем перечисленным требованиям. Во многих случаях изделия, позиционируемые на рынке как тестер, либо имеют приемопередатчик с фиксированными параметрами выходного сигнала (соответствующими требованиям, предъявляемым ко всем интерфейсным модулям), то есть, такие средства ограничены по области применения только тестами протокола, либо имеют приемопередатчик только с регулировкой амплитуды (как правило, такая регулировка осуществляется управлением напряжением, не охватывает весь диапазон регулировки, в нижней области диапазона регулировки происходит сильное «заваливание» фронтов выходного сигнала относительно требуемого для большинства тестов номинального значения 200 нс) – такие средства не позволяют выполнить тестирование входных электрических характеристик проверяемого изделия.

Для средств отладки, контроля и диагностики МКПД широкого назначения детальных требований по характеристикам нет – реализация такой аппаратуры определяется конкретной областью применения. Зарубежная аппаратура, относящаяся к изделиям типа «анализатор шины», как правило, обладает следующими функциональными возможностями:

- функциональная имитация информационного обмена, осуществляемого максимально полным составом устройств интерфейса (абонентов) единой информационной магистрали: контроллером шины (КШ) и 31 оконечным устройством (ОУ), и контролируемого монитором шины (МШ), с возможностью гибкой настройки конфигурации анализатора шины в зависимости от конкретной решаемой задачи;
- регулирование параметров выходных сигналов приемопередающего устройства анализатора шины по программным командам;
- настройка временных параметров функционирования каждого из имитируемых устройств интерфейса;
- возможность внесения того или иного ряда специфицированных ошибок в передаваемую анализатором шины информацию;

- наличие прикладного программного обеспечения, реализующего, в том числе, графический интерфейс пользователя, упрощающий решение типовых задач по отладке изделий.

Перечисленные функциональные возможности анализаторов шины позволяют использовать их для решения широкого диапазона задач, возникающих при отладке и тестировании аппаратуры и программного обеспечения, например:

- автономная отладка и контроль функционирования устройств интерфейса;
- отладка и контроль функционирования одного или нескольких устройств интерфейса, подключенных к общей магистрали, в том числе с возможностью имитации информационного обмена «отсутствующих» на момент испытаний устройств разрабатываемой системы;
- локализация причин сбоев в работе устройств интерфейса и систем;
- статистический и диагностический контроль функционирования устройств интерфейса и систем;
- имитация информационного обмена устройств интерфейса МКПД в наземных комплексах отладки и верификации программного обеспечения систем управления.

Среди зарубежных разработок, полностью отвечающим требованиям к аппаратуре типа «тестер», можно выделить следующие:

- тестер шины 1553 Bus Tester (Test Systems, Inc., США). Изначально разработан в 1990-х годах, конструктивно представляет собой 19'' блок, интегрируется в программно-аппаратный комплекс для аттестационного тестирования устройств интерфейса (конструктивно выполненный в виде стойки), управляется специально разработанным программным обеспечением и позволяет обеспечить тестирование в полном объеме по всем предусмотренным НТД проверкам;
- модуль (встраиваемая плата формата PCI) NHi-15515PCI (National Hybrid, Inc., США). Обеспечивает функционирование в совмещенных режимах КШ, 31ОУ, МШ, функции управления временными параметрами и внесения ошибок в передаваемую информацию, имеет приемопередатчик с независимо управляемыми параметрами выходного сигнала (размахом амплитуды напряжения и фронтом (спадом) импульсов). Данное изделие отвечает всем требованиям к модулю тестера, а также обеспечивает высокий функциональный уровень при использовании в качестве анализатора шины.

Единственным серийно выпускаемым прибором отечественного производства, предназначенным для тестирования устройств интерфейса МКПД, является тестер типа Ц4-2 (АО «Курский завод «Маяк»). По спецификации производителя заявлена поддержка режимов КШ, 31ОУ, МШ с возможностью внесения ошибок в передаваемую в МКПД информацию, регулирование размаха амплитуды напряжения выходного сигнала в диапазоне от 1 до 20 В (что не охватывает весь требуемый по НТД диапазон), при этом возможность регулировки

длительности фронта (спада) импульсов выходного сигнала отсутствует. Для хранения информации используется встроенное ЗУ объемом 6К×16, управление осуществляется с лицевой панели (прибор выполнен в виде 19'' блока), есть возможность доступа по интерфейсу КОП. Перечисленные характеристики в общем случае позволяют использовать прибор как тестер протокольных характеристик (при этом отсутствие полноценного программного управления и контроля существенно увеличивает длительность процедур испытаний и количество рутинных действий пользователя) либо как имитатор функционирования нескольких абонентов интерфейса (базовые возможности анализатора шины).

С учетом изложенных выше требований к тестовой аппаратуре интерфейса МКПД, состояния рынка тестовой аппаратуры, и имеющихся наработок, ЗАО НТЦ «Модуль» была сформулирована задача по разработке универсального инструментального средства, позволяющего как полностью обеспечить требования к тестеру устройств интерфейса МКПД, так и расширить область применения разработки, максимально полно реализовав функции «анализатора шины» - средства отладки, контроля и диагностики МКПД. Результатами разработки стали модуль универсального устройства интерфейса и параметрического тестера МКПД (УЭМ-МК) и его системное и прикладное программное обеспечение.

1 Общие сведения о модуле универсального устройства интерфейса и параметрического тестера МКПД (УЭМ-МК)

УЭМ-МК разработан в виде встраиваемого модуля интерфейса контрольно-проверочной аппаратуры VXI по ГОСТ Р 51884-2002 и конструктивно выполнен в унифицированном типоразмере С-1, наиболее распространенном для типовых VXI-крейтов (общий вид модуля приведен на рисунке 1).



Рисунок 1 – Общий вид модуля УЭМ-МК

На лицевой панели УЭМ-МК расположены 4 триаксиальных байонетных соединителя для подключения к магистрали МКПД (основная и резервная магистрали, для каждой из которых может быть выбрано подключение через отвод с согласующим трансформатором либо через отвод для непосредственного подключения), а также коаксиальные соединители дополнительных синхронизирующих сигналов, функциональное назначение которых будет пояснено ниже.

Внутри корпуса УЭМ-МК расположена сборка из двух плат (модулей):

- мезонинный модуль интерфейса МКПД, в котором реализована аналоговая часть (приемопередатчик МКПД), цифровая функционально-логическая часть, реализующая протокольные функции тестера и анализатора шины и арбитраж доступа к встроенному в мезонин ОЗУ. Общий вид мезонинного модуля приведен на рисунке 2;

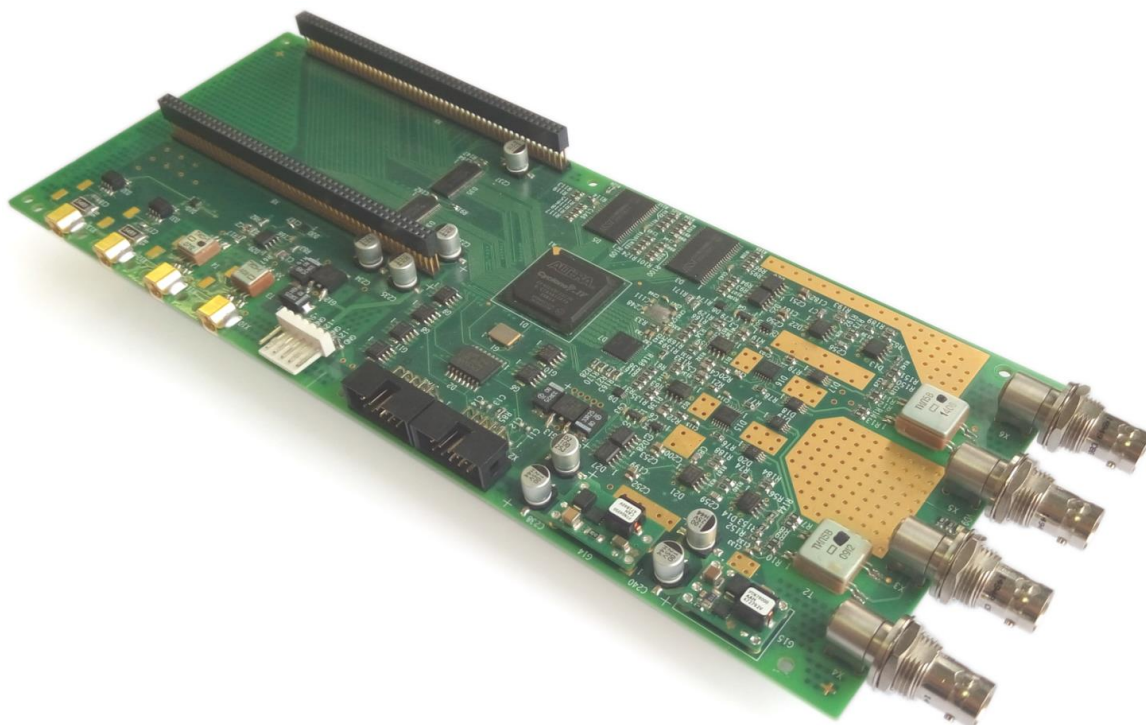


Рисунок 2 – Общий вид мезонинного модуля интерфейса МКПД

- модуль носителя мезонинов, обеспечивающий конструктивное, схемотехническое и функционально-логическое сопряжение с магистралью VXI, содержащий динамическое буферное ОЗУ достаточно большого объема (позволяющего гарантировано обеспечить буферизацию входных и выходных данных мезонинов для исключения потерь информации при длительно-непрерывной работе с максимальной информационной загрузкой магистралей МКПД), контроллер управления работой мезонинов и доступа к динамическому ОЗУ. В качестве носителя мезонинного модуля в УЭМ-МК используется плата серийно выпускаемого Холдингом «Информтест» универсального модуля типа НМ-М, для которой изготовителем

разработано все необходимое системное ПО для использования в составе VXI-систем.

Конструктивно и схмотехнически мезонинный модуль интерфейса МКПД также может быть использован в составе выпускаемого Холдингом «Информтест» компактного блока MezaBox-4M, соответствующего спецификации интерфейса LXI (доступ со стороны управляющей ЭВМ в этом случае осуществляется по сети Ethernet), что расширяет область применения разработки.

2 Реализация аналоговой части (приемопередатчика МКПД) УЭМ-МК

Приемопередатчик МКПД УЭМ-МК (аналоговая часть мезонинного модуля интерфейса МКПД) реализован с использованием отдельно разработанных схмотехнических решений, позволивших обеспечить все требования к характеристикам выходного сигнала тестера, предъявляемые НТД, а также надежный прием информации (в том числе «собственного» сигнала, подвергаемого регулированию в широком диапазоне). Полученные характеристики по запасам регулирования выходного сигнала превосходят характеристики прямых зарубежных аналогов.

Структурная схема аналоговой части мезонинного модуля интерфейса МКПД приведена на рисунке 3.

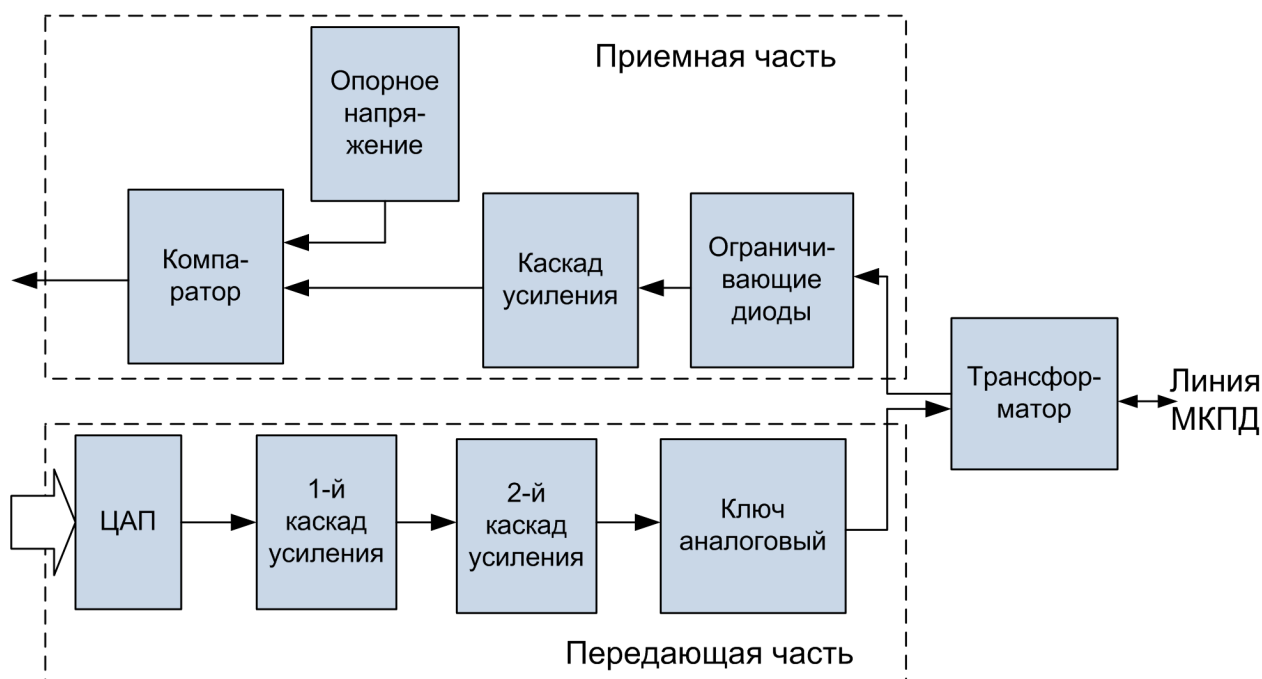


Рисунок 3 – Структурная схема аналоговой части мезонинного модуля МКПД

2.1 Передатчик

Как правило, для реализации передающей части типовых приемопередатчиков МКПД используются схемы с выходными каскадами на основе мощных транзисторов (биполярных или МОП). Выходной сигнал, как правило, имеет фиксированный (зависящий только от значений напряжения питания и импеданса нагрузки) размах амплитуды напряжения около 20 В (для

подключения с использованием согласующего трансформатора) и длительность фронта (спада) импульсов около 130 – 160 нс. Такая типовая схема может быть доработана для обеспечения принципиальной возможности регулировки амплитуды (с использованием дополнительного (настраиваемого) источника напряжения, задающего коэффициент усиления предварительного каскада) и регулировки формы сигнала (с использованием дополнительного коммутатора емкостей в интегрирующей цепочке). Однако, подобные решения (которые были проверены при предварительном макетировании в ходе разработки и при анализе доступных моделей приемопередатчиков с регулировкой амплитуды) не позволили обеспечить требуемую степень стабильности формы сигналов во всем диапазоне регулировок амплитуды, требуют достаточно сложной схемы питания выходного каскада, в отдельных случаях чувствительны к импедансу нагрузки (параметры зависят от конкретного значения входного импеданса подключаемых устройств-абонентов МКПД). В результате анализа других возможных решений за основу был взят принцип прямого цифрового синтеза сигнала, ключевыми преимуществами которого являются:

- возможность точного «цифрового» задания формы сигнала («трапеция» с выбранной крутизной фронта, «синус»), которая будет с хорошей точностью сохраняться в требуемом диапазоне регулировки амплитуды;
- слабая зависимость выходного сигнала от импеданса нагрузки (по крайней мере, при подключении к магистралям с устройствами интерфейса, параметры которых не выходят за рамки требований НТД).

Для реализации передатчика сигнала МКПД с требуемыми диапазонами регулировок параметров выходного сигнала и при использовании цифрового формирования сигнала требуется ЦАП, имеющий разрядность не менее 12 битов и частоту дискретизации до 200 МГц. Для управления ЦАП в функционально-логической части мезонина МКПД (ядро которой реализовано в ПЛИС) выделен специальный блок формирования выходного цифрового сигнала кодера, которой реализует математические операции сложения, умножения, округления при расчете передаваемых на ЦАП данных, в зависимости от программно выбранных настроек требуемых параметров, что необходимо для исключения зависимости длительности фронта (спада) от амплитуды выходного сигнала.

Аналоговый сигнал, сформированный ЦАП, подвергается преобразованию, фильтрации и усилению. Для решения этих задач используются 2 каскада операционных усилителей со следующими параметрами:

- напряжения питания ± 15 В;
- общий коэффициент усиления 15;
- полоса пропускания не менее 100 МГц.

Первый каскад применяется для преобразования токового выхода ЦАП в дифференциальное напряжение относительно нуля напряжения, а также предварительного усиления и фильтрации. Второй каскад представляет собой мощный дифференциальный усилитель. Для обеспечения

высокого входного импеданса при отсутствии «собственной» передачи (как минимум, более 1000 Ом при подключении к магистрали с использованием согласующего трансформатора) используется выходной аналоговый ключ.

2.2 Приемник

При реализации приемной части, в первую очередь, была решена проблема обеспечения приема «собственного» сигнала (который может иметь размах амплитуды выходного напряжения до 30 В), с использованием ограничивающих быстродействующих диодов и операционных усилителей, работающих при напряжении питания ± 15 В. В приемной части для формирования выходных цифровых сигналов также применен точный и быстродействующий компаратор с дифференциальным питанием ± 5 В.

2.3 Питание

Для обеспечения формирования выходного сигнала с требуемыми параметрами и стабильного приема как «собственного», так и «внешнего» сигналов, дополнительно потребовалось использование следующих элементов:

- импульсных микромодулей для преобразования входного напряжения 12 В в минус 15 В и напряжения 5 В в 15 В, которые также позволили увеличить точность значений напряжений (± 5 % для входных до ± 2 % для выходных);
- точных (± 1 %) линейных преобразователей напряжения из минус 5 В и 5 В для формирования напряжения питания и опорного напряжения дифференциального компаратора;
- отдельных точных (± 1 %) линейных преобразователей для ЦАП с целью уменьшения шумов по цепям питания.

2.4 Полученные характеристики

Примеры формы выходного сигнала передатчика УЭМ-МК (на эквивалентной нагрузке 70 Ом для выходов подключения к магистрали с использованием согласующих трансформаторов), а именно:

- форма сигнала (для канала А) с размахом амплитуды напряжения 29,0 В и длительностью фронта (спада) импульсов 100 нс,
- форма сигнала (для канала Б) с размахом амплитуды напряжения 4,0 В и с параметрами фронта (спада) импульсов, соответствующими аппроксимации синусоидальным сигналом 1 МГц,

приведены на рисунке 4.

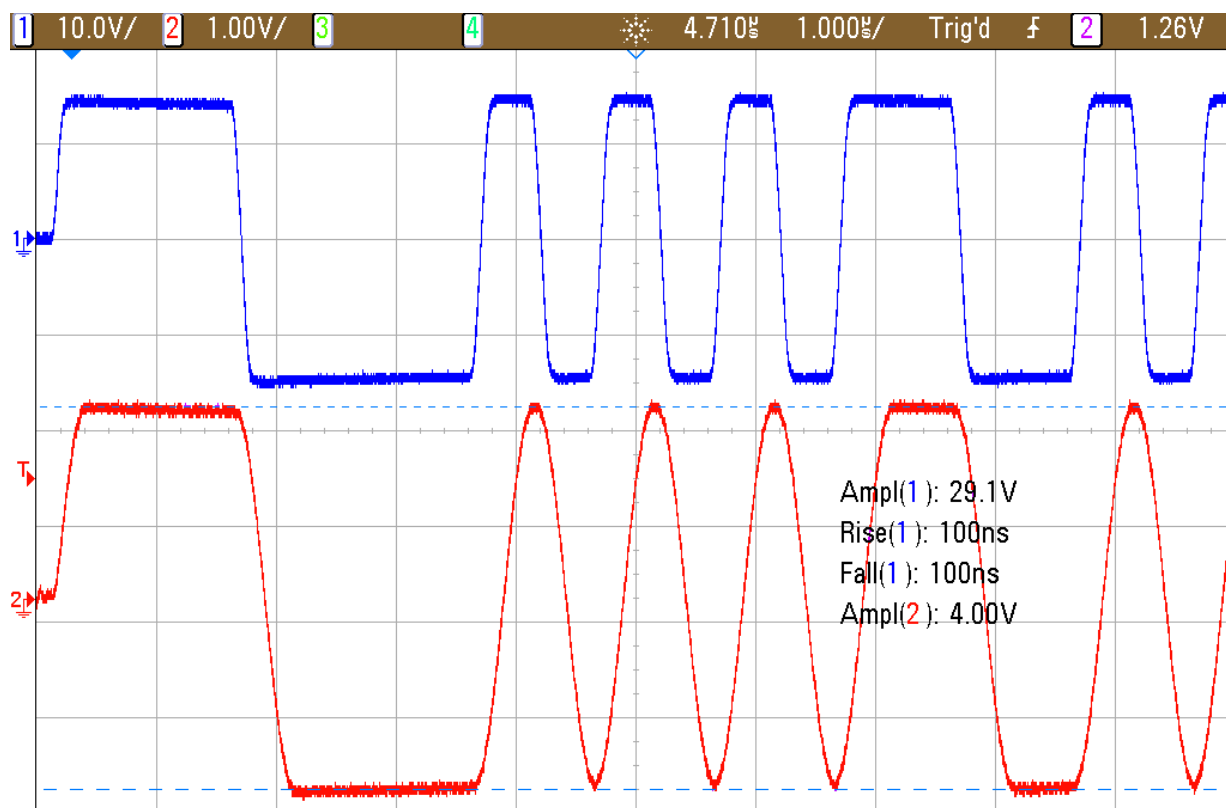


Рисунок 4 – Примеры формы выходного сигнала МКПД
(синий цвет – канал «А», красный цвет – канал «Б»)

Реализация аналоговой части УЭМ-МК позволяет обеспечить:

- регулирование размаха амплитуды напряжения выходного сигнала в диапазоне не хуже чем от 0,8 до 29,0 В на эквивалентной нагрузке 70 Ом (подключение с использованием согласующего трансформатора) и не хуже чем от 0,3 до 9,5 В на эквивалентной нагрузке 35 Ом (непосредственное подключение). Запас по верхней части диапазона регулирования необходим для компенсации потерь при использовании протяженных магистральных шин МКПД (например, при испытаниях по методам ГОСТ Р 51765-2001 длина участка шины составляет 70 м);
- регулирование длительности фронта (спада) импульсов выходного сигнала в диапазоне от 70 до 350 нс, а также передачу при отдельной настройке сигнала, форма которого при длительности импульсов 500 нс аппроксимирует синусоидальный сигнал;
- отсутствие взаимной зависимости регулируемых параметров (сохранение в пределах установленных НТД допусков установленного значения одного из параметров при осуществлении регулирования второго);
- возможность регулировки длительности импульсов (сдвига точки пересечения нулевого уровня напряжения) выходного сигнала в диапазоне от минус 250 до 250 нс с шагом 10 нс;

- соответствие значений электрических параметров выходного сигнала МКПД, не относящихся к регулируемым, требованиям, установленным в ГОСТ Р 52070-2003.

3 Реализация функционально-логической части УЭМ-МК

Функционально-логическая часть УЭМ-МК для реализации всех требований по назначению должна обеспечивать одновременное функционирование протокольных узлов, отвечающих за обработку сообщений контроллером шины, программно-выбранным подмножеством оконечных устройств и монитором шины, в том числе с возможностью внесения специфицированных типов ошибок в передаваемую информацию в режимах КШ и 31ОУ, с необходимым арбитражем доступа к ОЗУ при состязательном доступе со стороны управляющей логики (носителя мезонинов) и каждого из протокольных узлов. При использовании в качестве тестера также необходима одновременная работа генератора словных последовательностей и монитора шины. При разработке УЭМ-МК была выбрана архитектура функционально-логической части, обобщенная структурная схема которой приведена на рисунке 5.

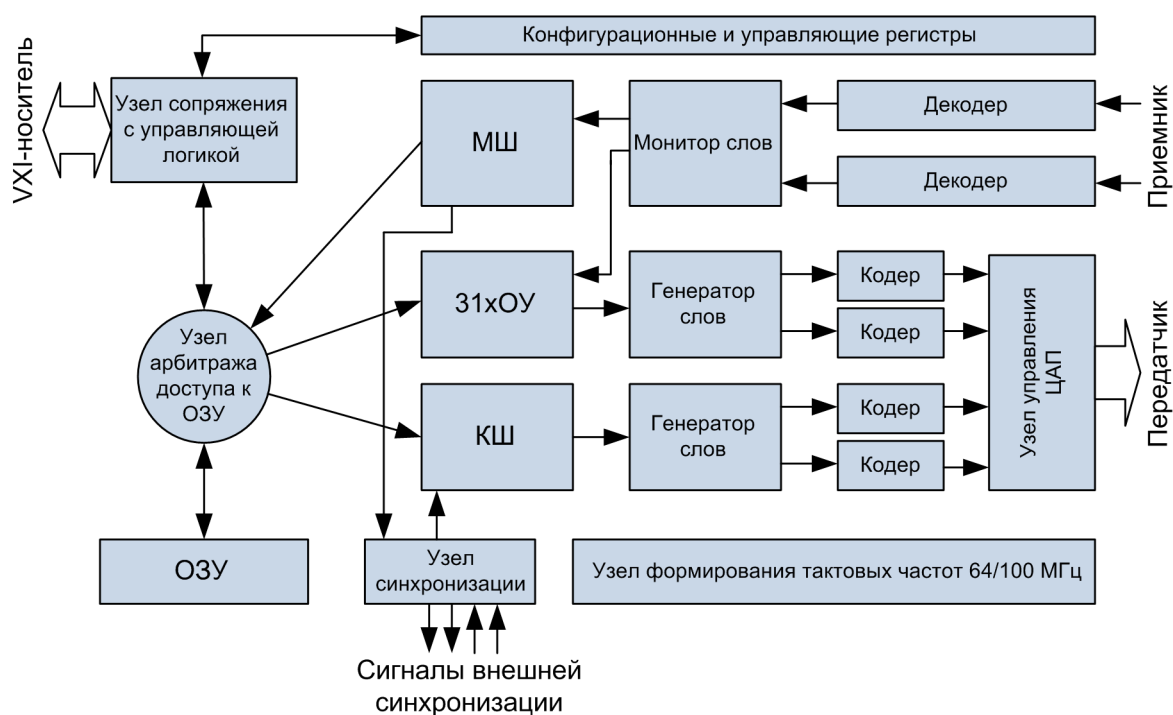


Рисунок 5 – Обобщенная структурная схема функционально-логической части мезонинного модуля интерфейса МКПД

Функционально-логическая мезонинного модуля часть имеет следующие основные особенности и характеристики:

- используются три независимых по динамике своей работы основных протокольных узла: КШ, 31ОУ, МШ. Функции тестера (в части генерации передаваемых словных последовательностей) полностью покрываются логикой КШ. Любой из командных сегментов, передаваемых КШ, может быть привязан к собственной временной

«шкале» передачи, к поступлению дополнительного внешнего синхроимпульса, к окончанию приема по МКПД очередного словного сегмента (как правило – ответного сегмента ОУ), что позволяет очень гибко настраивать временные параметры информационного потока, в том числе для задач тестирования (например, КШ с привязкой моментов передачи «своих» слов к моментам окончания приема «внешней» информации может фактически играть роль «тестового» ОУ, генерирующего фиксированную последовательность заранее настроенных ответов при тестировании абонента – КШ). Узел 31 ОУ (при его активизации для какого-либо подмножества адресов ОУ) обеспечивает прием достоверных командных сегментов сообщений (источником которых может быть как «свой» узел КШ, так и внешний по отношению к УЭМ-МК абонент, выполняющий функции КШ) и, если адрес ОУ в командном слове относится к числу активизированных при конфигурации, передачу соответствующих ответных сегментов сообщений. Ответные сегменты сообщений по составу и временным параметрам настраиваются индивидуально для каждого адреса ОУ и каждого подадреса всех активных адресов, в том числе с возможностью индивидуального внесения ряда специфицированных ошибок в выбранные слова. Узел МШ обеспечивает прием всей поступающей информации МКПД (как передаваемой самим УЭМ-МК, так и остальными абонентами магистрали МКПД) и ее запись в ОЗУ, при этом словные сегменты, источником которых являлись «свой» узел КШ или «свой» узел 31ОУ, сопровождаются соответствующими признаками для увеличения достоверности последующего программного анализа в случае внесения ошибок. В общем случае узел МШ может быть отключен (например, при циклическом повторении заданного набора сообщений КШ и при необходимости снизить нагрузку на управляющее ПО, когда постоянный контроль информации «на стороне» УЭМ-МК не требуется);

- узел арбитража доступа к ОЗУ обеспечивает возможность гарантированного состоятельного доступа при наихудшем случае, то есть когда возникает необходимость обработать запросы по записи (чтению) совпавших по времени обращений 4 «абонентов» (портов): узлов КШ, 31ОУ, МШ и узла сопряжения с управляющей логикой (носителем мезонина);
- узел сопряжения с управляющей логикой (носителем мезонина) обеспечивает прием блоков входной информации от НМ (считываемой из буферного ОЗУ НМ, предназначенной для конфигурирования КШ и ОУ и поступающей по инициативе НМ) и передачу в НМ блоков выходной информации от мезонина (записываемой в буферное ОЗУ НМ, источником которой является МШ и которая передается в НМ в асинхронном режиме по инициативе мезонина, то есть в соответствии с динамикой МКПД). Также обеспечивается оперативный доступ по инициативе НМ к основной

регистрации области мезонина при прямых обращениях по адресной шине магистрали VХI;

- каждый из декодеров сопряжен со «своей» магистралью (основной и резервной), что обеспечивает гарантированное распознавание словных последовательностей, поступающих по двум магистралям в случае «наложения» по времени при намеренном внесении такого рода ошибок. Выходные сигналы декодеров используются как узлом МШ, так и узлом ОУ для распознавания поступающих команд;
- в устройстве используется 4 кодера, отдельно для узла КШ и для узла 31ОУ и для каждой из магистралей. Такое решение позволяет обеспечить полную независимость работы имитируемых КШ и ОУ (функции которых в реальной системе выполняют различные приборы) и возможность внесения широкого ряда сочетаний ошибок в информацию КШ и ОУ, вплоть до «экзотических» сценариев для отладочных задач, например, когда очередной командный сегмент КШ намеренно начинает передаваться до окончания передачи ответного сегмента ОУ по той же магистрали;
- узел формирования тактовых частот обеспечивает выработку двух дополнительных внутренних тактовых сигналов (основная часть функциональной логики использует частоту 16 МГц): 64 МГц для узла арбитража доступа к ОЗУ (необходим для обеспечения состязательного доступа без необходимости использования абонентами сигнала ожидания готовности), 100 МГц для кодеров информации МКПД (необходим для возможности настройки временных параметров сигналов с дискретностью 10 нс);
- узел дополнительных синхросигналов обеспечивает передачу и прием УЭМ-МК синхронизирующих импульсов для использования дополнительной внешней аппаратуры:
 - 2 выходных сигнала формируются узлом МШ и, при конфигурации УЭМ-МК, если их использование требуется, программно настраиваются правила их выработки – при приеме по МКПД информации заданного информационного состава, с отсутствием или наличием ошибок, и т.п. Эти сигналы могут быть использованы, например, для синхронизации запуска используемого при испытаниях осциллографа для отображения заранее выбранного ожидаемого события;
 - 2 входных сигнала, если их использование требуется, поступают на узел КШ и используются для привязки к поступлению внешнего сигнала момента начала передачи очередного (выбранного) сообщения и (или) момента начала передачи очередного кадра (набора) сообщений. Эти сигналы могут быть использованы, например, при использовании УЭМ-МК в качестве имитатора прибора-КШ,

временная шкала передачи сообщений которым имеет привязку к сигналам отдельного времязадающего прибора (генератора метки цикла).

4 Конструктивная реализация УЭМ-МК

На первом этапе разработки УЭМ-МК был осуществлен выбор платформы модульной КПА, определяющей конструктивное исполнение изделия и интерфейс сопряжения с управляющим вычислителем. В числе рассматриваемых факторов в первую очередь учитывались:

- характеристики предоставляемого электропитания, которые должны удовлетворять требованиям технически сложной аналоговой части;
- быстродействие при информационном взаимодействии с управляющим вычислителем, возможность буферизации данных достаточно большого объема (при асинхронных входном и выходном потоках) для обеспечения возможности работы без требования к наличию ОС реального времени;
- габариты типовых форм-факторов, которые должны позволить реализовать все требуемые схемотехнические решения.

Рассматривались магистрали GPIB, USB, 1394, VME, VXI, Compact PCI, PXI, PCI. Оптимальным решением для УЭМ-МК было признано использование магистрали VXI, как, в первую очередь, изначально разработанную для контрольно-проверочной аппаратуры, и позволяющую интегрировать УЭМ-МК в гибко конфигурируемые программно-аппаратные испытательные комплексы для испытаний различного рода аппаратуры и систем. Кроме того, для магистрали VXI Холдингом «Информтест» выпускается ряд модулей-носителей, позволяющие устанавливать вновь разработанные инструментальные средства (мезонины) специализированного назначения на отработанную и сопровождаемую необходимым системным ПО универсальную плату, обеспечивающую сопряжение с шиной VXI. Один из таких модулей-носителей (НМ-М) использован как конструктивная основа УЭМ-МК.

Разработанный УЭМ-МК выполнен в виде VXI-модуля в форм-факторе С-1 и отвечает всем эксплуатационным требованиям для данного класса контрольно-проверочной аппаратуры.

5 Программное обеспечение УЭМ-МК

Для УЭМ-МК разработан комплект программных средств, включающий в состав системное ПО (драйверы, библиотеки функций, дополнительные компоненты), тестовые программы самоконтроля, а также прикладное ПО: интерактивные графические программы, реализующие управление работой УЭМ-МК для двух основных областей применения: «анализатор шины» (средство отладки, контроля и диагностики интерфейса МКПД) и «тестер» (аттестационное тестирование устройств интерфейса МКПД).

В составе пакета программных средств для УЭМ-МК имеются следующие компоненты:

- драйвер (драйвер мезонина). Драйвер работает во взаимодействии с драйвером универсальной инструментальной коммуникационной среды VISA и драйвером

носителя мезонинов (НМ) unmbase (разработан Холдингом «Информтест»). Драйвер обеспечивает доступ приложений к регистрам и ОЗУ мезонина УЭМ-МК и передачу потоков входных и выходных данных через буферное ОЗУ (FIFO) НМ. Драйвер выполнен в виде DLL и экспортирует приложениям набор низкоуровневых функций доступа и обмена в соответствии с решаемыми задачами. В составе драйвера имеется функция самоконтроля УЭМ-МК;

- управляющая панель. Является простейшим средством диалоговой работы с УЭМ-МК при помощи графического интерфейса. Ее основное предназначение – проверка идентификации модуля и выполнение самоконтроля в интерактивном режиме. Имеется возможность интерактивного выполнения отдельных функций драйвера, в том числе – отправки отдельных сообщений МКПД (в режиме КШ) и самоконтроля. Управляющая панель предназначена для работы в составе управляющих панелей НМ;
- программа самоконтроля. Предназначена для выполнения самоконтроля устройства из командной строки;
- расширенная библиотека функций. Предназначена для разработки приложений, использующих УЭМ-МК для решения различных задач. Библиотека предоставляет расширенный набор высокоуровневых проблемно-ориентированных функций, позволяющих управлять всеми аспектами работы устройства:
 - управление устройством в режимах КШ, ЗЛОУ, МШ,
 - внесение специфицированных ошибок в передаваемую информацию;
 - управление параметрами дополнительной синхронизации УЭМ-МК с внешним оборудованием.

Библиотека является надстройкой над драйвером УЭМ-МК и выполнена в виде DLL.

Функции, предоставляемые библиотекой, позволяют управлять работой УЭМ-МК в терминах протокола МКПД и абстрагироваться от значительного числа подробностей работы функциональной логики модуля.

В основе набора функций библиотеки лежит понятие «виртуального устройства»: части оборудования УЭМ-МК, выполняющей функции КШ, одного из виртуальных ОУ, МШ. Эти виртуальные устройства открываются приложением как «настоящие» устройства. Затем приложение управляет виртуальным устройством при помощи набора функций, ориентированных на виртуальное устройство этого типа.

Управление контроллером шины основано на создании и конфигурировании специальных объектов в ОЗУ УЭМ-МК: командных сегментов, кадров и программы работы КШ. Управление конечным устройством основано на создании и конфигурировании объектов – ответных сегментов. Функции монитора шины выполняет прием и анализ трассы МКПД и передает сообщения МКПД с сопроводительной информацией в заданном формате. Имеются функции для внесения ошибок в командные и ответные сегменты.

Имеются также функции управления параметрами конфигурации модулем УЭМ-МК в целом, «полиморфные» функции запуска и остановки виртуальных устройств, функции работы с аппаратным счетчиком времени.

Библиотека имеет нижний, недоступный приложениям, подуровень функций, обеспечивающих выделение областей ОЗУ УЭМ-МК для размещения объектов контроллера и конечных устройств и эффективный обмен данными с ОЗУ УЭМ-МК.

Библиотека поставляется с развернутой документацией:

- программа БПОУЭМ. БПОУЭМ (базовое программное обеспечение универсального электронного модуля) – полнофункциональная интерактивная графическая среда, позволяющая использовать все возможности модуля при решении задач отладки, контроля и диагностики устройств (абонентов) интерфейса, то есть при использовании УЭМ-МК, в первую очередь, в качестве «анализатора шины». Функциональные возможности УЭМ-МК под управлением БПОУЭМ:

- имитация работы контроллера шины, конечных устройств (до 31), выполнение функций монитора шины,
- внесение специфицированных видов ошибок в передаваемую информацию в режимах КШ и 31ОУ,
- детектирование специфицированных типов ошибок в режиме МШ (в пределах тех ошибок, при внесении которых декодер способен распознать поступающую информацию как очередное отдельное слово),
- запись и анализ принимаемой МШ информации, в том числе в течение длительного времени, ограниченного, по сути, только емкостью накопителя данных на используемой управляющей ЭВМ.

Общий вид основного диалогового окна БПОУЭМ приведен на рисунке 6.

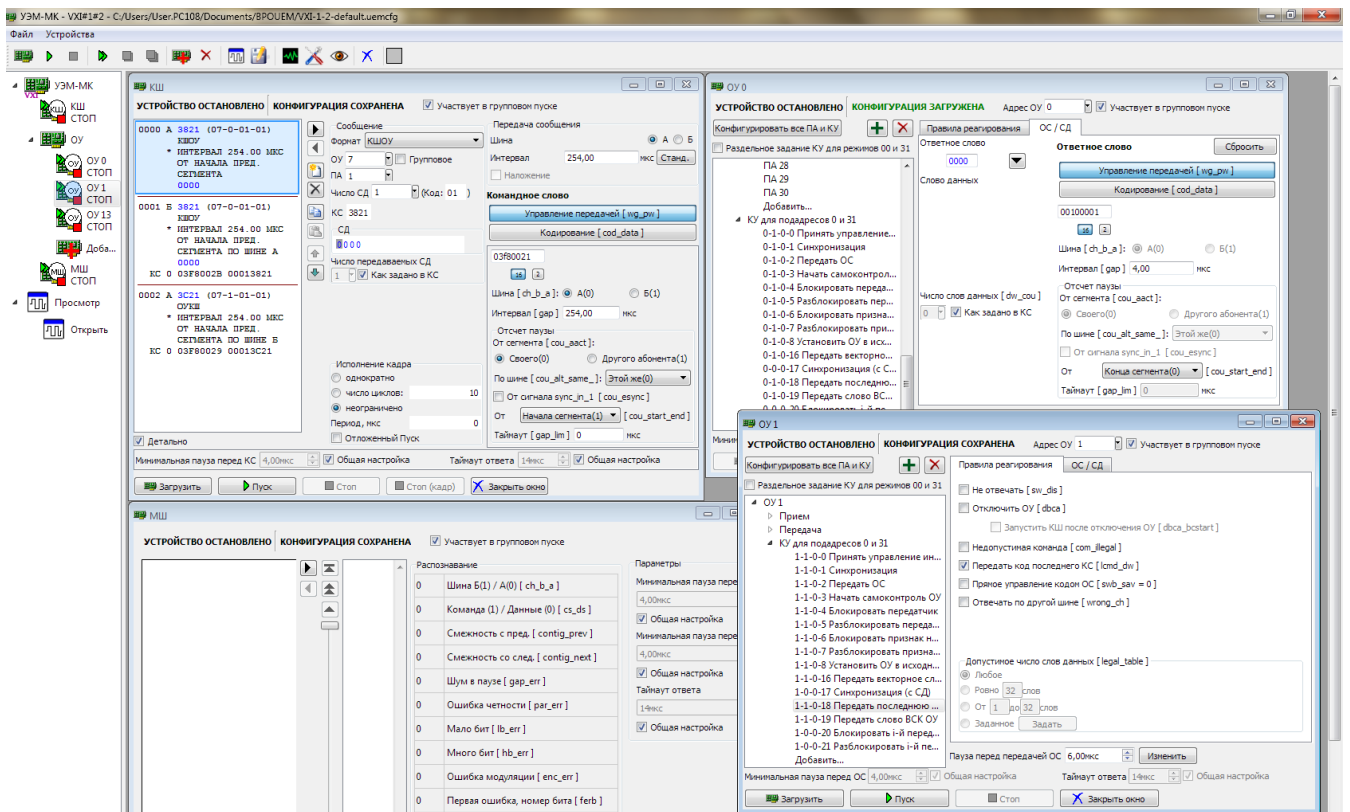


Рисунок 6 – Пример общего вида основного окна программы БПОУЭМ

БПОУЭМ позволяет сконфигурировать УЭМ-МК для решения множества различных прикладных задач, сохраняет состояние между сеансами работы, обеспечивает экспорт и импорт конфигураций УЭМ-МК. Предусмотрен также экспорт конфигурационных и отчетных данных в тестовые форматы (TXT и HTML).

- программа тестирования оконечного устройства по методам ГОСТ Р 51765-2001 (ПТОУ, «Тест-план ОУ»). Представляет собой интерактивную программу для проведения в автоматизированном (полуавтоматизированном для тестов, требующих интерактивного взаимодействия с оператором, например, измерениях параметров или калибровке тестера) режиме аттестационного тестирования устройства интерфейса в режиме ОУ в соответствии с программой испытаний ГОСТ Р 51765-2001. Позволяет гибко настраивать взаимозависимые параметры тестируемого модуля, управлять тестированием в интерактивном режиме, формировать отчеты (протоколы), записывать принятый по МКПД трафик с выделением ошибок. Внутренняя архитектура программы основана на «специализированной виртуальной машине» тестовых сценариев с собственным входным языком XTS-2 и возможностью добавления дополнительных скриптовых языков. Такое построение позволяет, при необходимости, расширять функциональность программы дополнительными стандартизированными или специализированными тестовыми сценариями и их комплектами и адаптировать программу для реализации

дополнительных методов испытаний, а также производить самотестирование самих тестовых последовательностей средствами самой программы. Гибкая, масштабируемая и расширяемая архитектура программы позволяет строить на ее основе развитую программную среду испытаний, учитывающую характеристики и особенности тестируемых изделий.

Общий вид основного диалогового окна программы ПТОУ приведен на рисунке 7.

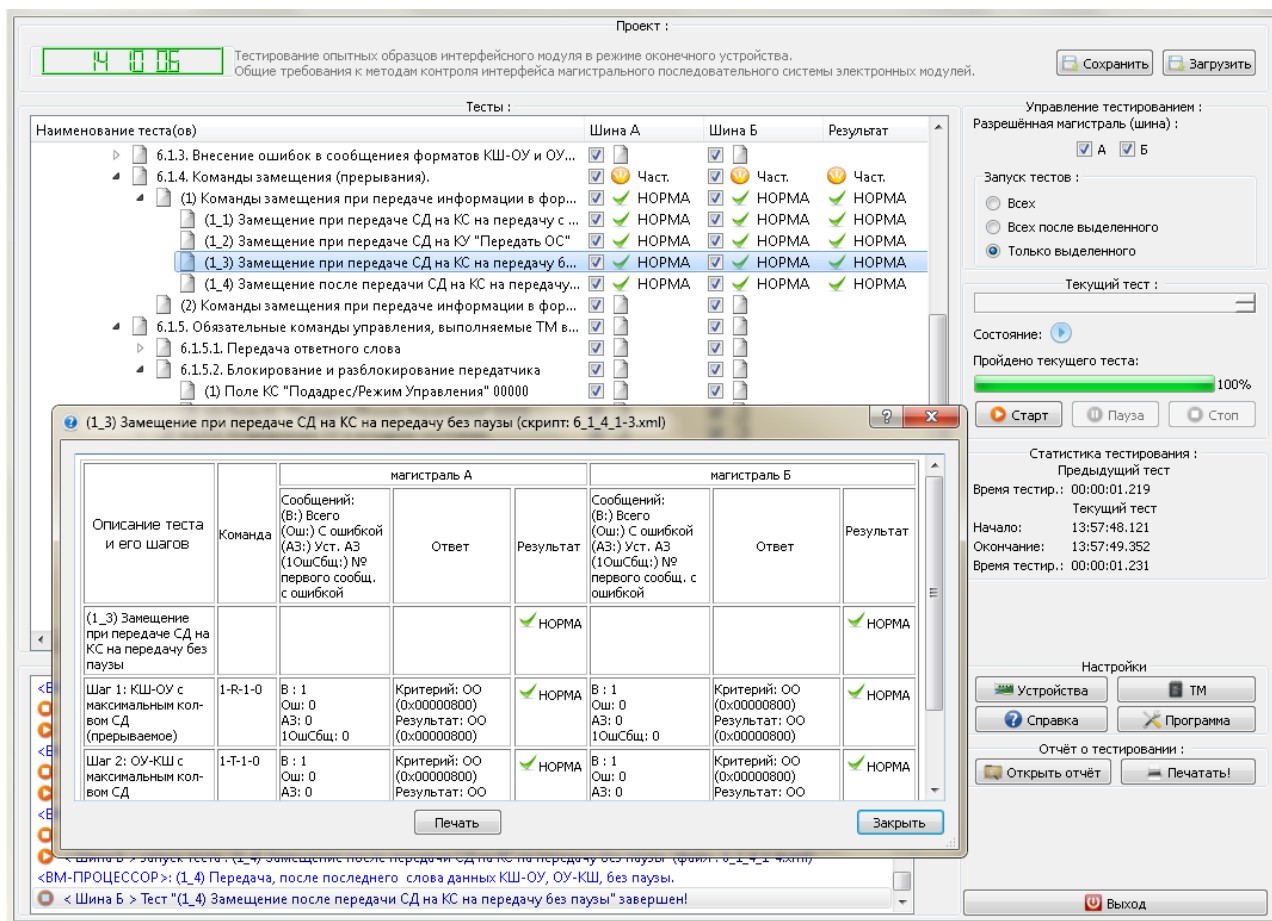


Рисунок 7 – Пример общего вида основного окна программы ПТОУ

Литература

- [1]. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования. – М.: Госстандарт России. – 2003. – 26 с.
- [2]. ГОСТ Р 51884-2002. Магистраль VME, расширенная для контрольно-измерительной аппаратуры (магистраль VXI). Общие технические требования. – М.: Госстандарт России. – 2002. – 183 с.
- [3]. ГОСТ Р 51765-2001. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Тестирование опытных образцов интерфейсного модуля в режиме оконечного устройства. Общие требования к методам контроля. – М.: Госстандарт России. – 2001. – 38 с.