



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

ИФВЭ 2015–13

Н.И. Божко, А.Н. Исаев, А.С. Кожин, И.С. Плотников,
В.А. Сенько, М.М. Солдатов, Н.А. Шаланда, В.И. Якимчук

**Система камерной электроники
на основе модуля МТ-48 для бестриггерного режима
работы томографа на космических мюонах**

Направлено в *ПТЭ*

Протвино 2015

Аннотация

Божко Н.И. и др. Система накамерной электроники на основе модуля МТ-48 для бестриггерного режима работы томографа на космических мюонах: Препринт ИФВЭ 2015–13. – Протвино, 2015. – 19 с., 16 рис., 4 табл., библиогр.: 6.

Описывается система накамерной электроники мюонного томографа: 48-канальный регистрирующий модуль МТ-48 и разветвитель сигналов канала управления РМТ-48. Представлены результаты тестирования модулей МТ-48 на автоматизированном стенде, приведена организация сбора информации установки «мюонный томограф».

Abstract

Bozhko N.I. et al. The on-chamber electronic system on module MT-48 basis for the triggerless mode operation of the setup “Muon Tomograph”: IHEP Preprint 2015–13. – Protvino, 2015. – p. 19, figs. 16, tables 4, refs.: 6.

The on-chamber electronic system for the setup “Muon Tomograph” is described: 48-channel front-end module MT-48 and fan-out module RMT-48 for the multiplication of the control signals. Some results of MT-48 testing are presented and data acquisition structure for the setup “Muon Tomograph” is given.

Введение

В ГНЦ ИФВЭ в рамках контрактов с ГК «РОСАТОМ» создан прототип мюонного томографа на космическом излучении с чувствительной площадью 3 x 3 кв. м [1]. Система сбора данных и управления томографа реализована в стандарте VME-9U. Создан первичный набор программного обеспечения и выполнен начальный цикл экспериментальных исследований, которые убедительно подтверждают эффективность метода мюонной томографии на космическом излучении для обнаружения скрытых плотных объектов (уран, свинец) в менее плотной среде (воздух, вода, кварцевый песок).

Данный прототип мюонного томографа, получившего название MuTomo-3, оснащен электроникой, которая построена по характерному для экспериментальных установок ИФВЭ принципу: цифровая часть аппаратуры расположена в отдельно стоящей стойке, к которой от детектора тянется большое количество кабелей. Однако эта электроника не оптимальна для использования в реальном мюонном томографе. Поэтому возникла потребность в создании специализированной накамерной электроники, которая должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- размеры электроники;
- быстродействие;
- надежность;
- энергопотребление;
- стоимость;

оптимально скомпонованной в объеме томографа так, чтобы минимизировать количество кабелей, идущих от томографа к внешнему компьютеру.

1. Обзор и выбор варианта цифровой накамерной электроники трековых детекторов для установки мюонной томографии

Установка MuTomo-3 состоит из восьми модулей дрейфовых трубок 3х3 метра. Четыре модуля имеют трубки вдоль X-оси и четыре – вдоль Y-оси. Модуль состоит из трёх слоёв трубок, на каждые 24 трубки устанавливается сигнальная печатная плата, имеющая три разъёма по восемь каналов в каждом. С этих разъемов сигнальных плат импульсы с дрейфовых трубок подаются на усилители-формирователи. В одном модуле 12 таких плат, содержащих $24 \cdot 12 = 288$ каналов. В восьми модулях детектора, соответственно $288 \cdot 8 = 2304$ канала.

Электроника съёма информации с дрейфовых трубок должна содержать
усилители-формирователи (УФ),
время-цифровые преобразователи, измеряющие интервал времени от стартового сигнала до прихода входных сигналов (ВЦП),
интерфейс передачи данных в компьютер (ИПД),
узел синхронизации (СИН).

Исходя из этого, возможны следующие варианты организации накамерной электроники:

Платы, располагающиеся на детекторе и включающие УФ, ВЦП, ИПД и внешний общий узел СИН.

Отдельные УФ, соединяющиеся короткими кабелями с расположенной рядом платой, содержащей ВЦП, ИПД и СИН.

Платы с УФ, ВЦП и соединённые шиной синхронизации и передачи данных с платой, совмещающей ИПД и СИН.

Построение плат накамерной электроники во многом определяется конструкцией томографа. При этом возможны следующие варианты числа каналов на одной отдельной накамерной плате: $24 \cdot 1 = 24$, $24 \cdot 2 = 48$, $24 \cdot 4 = 96$, $24 \cdot 5 = 120$, $24 \cdot 6 = 144$, $24 \cdot 8 = 192$. Описываемый модуль накамерной электроники обслуживает 48 каналов томографа и реализован по первому принципу. Выбор первого варианта построения модуля накамерной электроники был сделан по следующим причинам:

- отсутствие соединительных кабелей между сигнальными платами томографа и платами накамерной электроники;
- конструкция томографа подготовлена для размещения 48-канальных модулей.

В качестве кандидатов на роль скоростного последовательного интерфейса, посредством которого регистрирующая электроника общается с компьютером, рассматривались USB2.0 (480 Мбит/с) и Fast Ethernet (100 Мбит/с). Оба интерфейса являются промышленными стандартами и имеют хорошую перспективу развития с сохранением совместимости. Выбор был сделан в пользу интерфейса USB2.0, т.к. он имеет такие достоинства, как простота построения, надёжность передачи данных с высокой скоростью (до 480 Мбит/сек), привлекательная цена. Интерфейс использует кабель, содержащий две пары проводов из которых одна используется для подключения питания. Есть и существенное ограничение – длина кабеля от USB-конечного устройства до USB-хаба (hub) не должна превышать 5 метров. Число хабов в цепочке не должно превышать 5. Таким образом, приёмный компьютер может располагаться не далее 30 м до конечного USB устройства. Для уверенной работы на высокой скорости (режим High Speed) необходимо использовать наиболее качественный кабель, также желательно делать длину сегмента поменьше. Передача данных на сравнительно далёкое расстояние (к месту оператора) осуществляется по Ethernet.

Микросхемы для USB производят многие фирмы-изготовители, поэтому выбор для изучения возможностей тех или иных был достаточно субъективен. Для представляемого модуля был выбран контроллер CY768001 [2] фирмы Cypress.

2. Модуль МТ-48

Модуль МТ-48, структурная схема которого дана на рис. 1, содержит 48 каналов усилителей-формирователей У1-У48, приемники П1-П6, умножитель частоты УЧ, логический блок, узел синхронизации П0, дополнительный (49-й) входной канал, семь цифроаналоговых преобразователей и контроллер USB.

На рис. 2 показан набор модулей МТ-48, предназначенный для оснащения установки MuTomo-3.

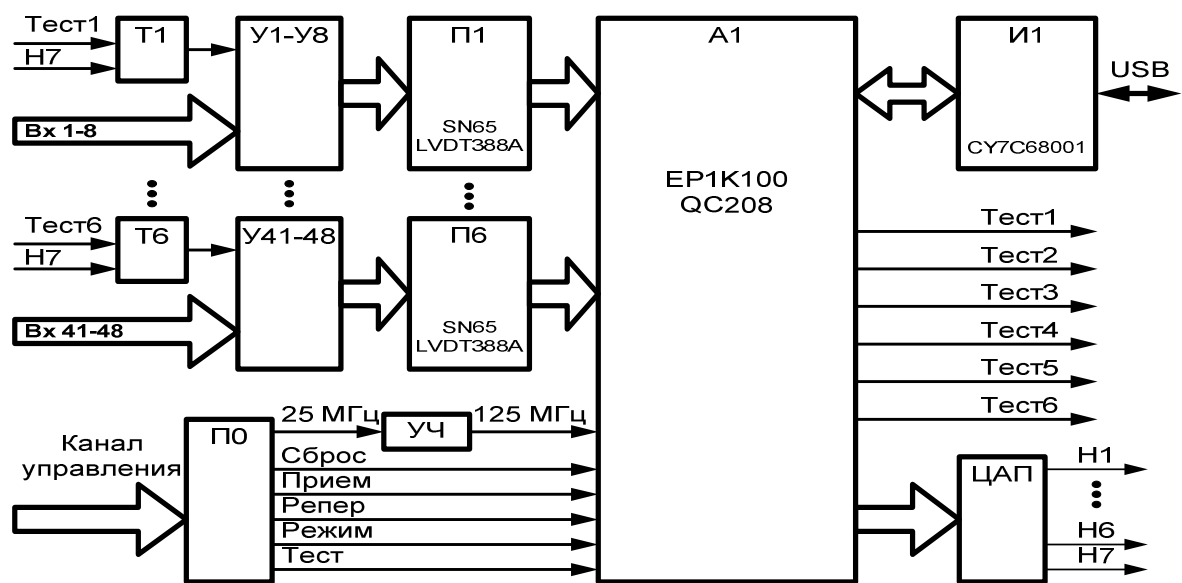


Рис. 1. Структурная схема блока МТ-48.



Рис. 2. Внешний вид блоков МТ-48.

Усилитель-формирователь. Усилитель-формирователь разработан на основе операционного усилителя и компаратора (рис. 3). Чувствительность усилителя находится в пределах 0,4 мкА – 2 мкА. В качестве операционного усилителя выбрана интегральная схема LMH6624 фирмы National Semiconductor с малым уровнем шума равным 0,92 нВ/√Гц и полосой единичного усиления 1500 МГц. Напряжение питания от ±2,5 В – до ±5,0 В. Для уменьшения размеров печатной платы усилителей, выбран корпус усилителя SOT23-5. Усилитель выполнен по схеме инвертирующего усилителя с коэффициентом усиления $K_u = 100$. Усилитель имеет защитную цепочку входа, состоящую из диодной сборки BAV99 и резистора 10 Ом. Эта цепь ограничивает амплитуду входного сигнала на уровне ±0,8 В.

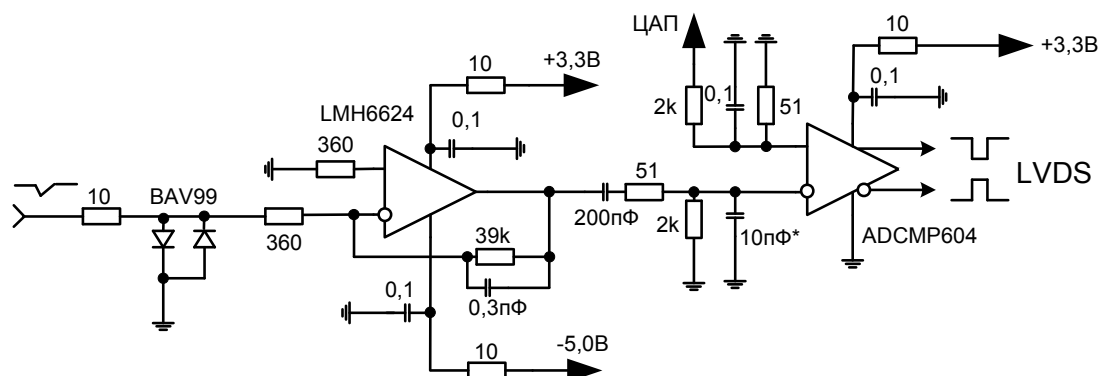


Рис. 3. Схема усилителя для одного канала.

После усилителя включен RC-CR фильтр-формирователь для формирования выходного сигнала. Дифференцирующая RC-цепочка укорачивает длительность импульса. А при прохождении сигнала через интегрирующую цепочку ослабляются его высокочастотные составляющие. Усиленный сигнал поступает на компаратор, выполненный на интегральной схеме ADCMP604 и имеющий LVDS выходы и напряжения питания +3,3 В - +5 В. Сигнал положительной полярности подается на один из входов компаратора, а на второй вход подается регулируемое опорное напряжение. Минимальное пороговое напряжение 16 мВ, обеспечивает чувствительность усилителя 0,4 мкА по входу.

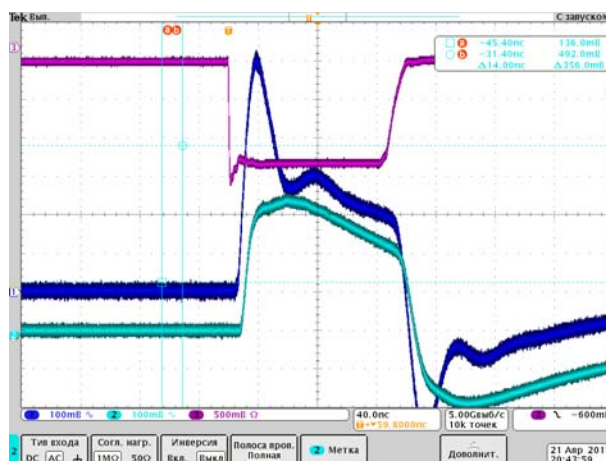


Рис. 4. Сигнал на входе компаратора без ёмкости 0,3 пФ (синий луч) и с ёмкостью 0,3 пФ(зелёный луч).

На рис. 4 показаны осциллограммы сигналов на входе компаратора. Видно, что конденсатор обратной связи 0,3 пФ очень сильно влияет на форму сигнала и на задержку. А если учесть, что его номинал находится на уровне паразитных величин ёмкостей печатной платы, а производственный разброс номинала достаточно высок, следует ожидать относительно большой разброс задержек в каналах.

Рис. 5 показывает разброс задержек в различных каналах некоторых плат МТ-48.

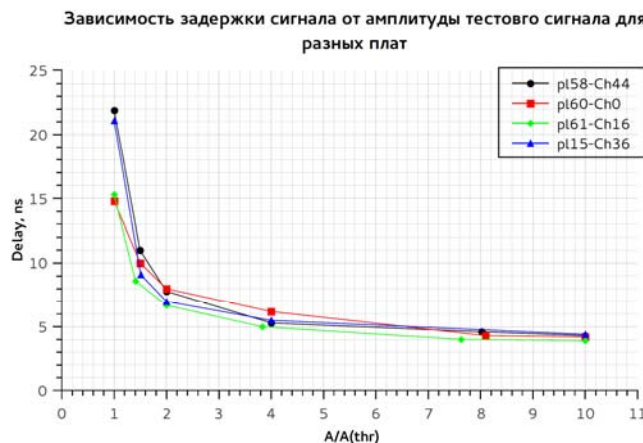


Рис. 5. Зависимость задержки от амплитуды входного сигнала для плат МТ-48.

На рис. 6 и 7 представлены распределения задержек в различных каналах платы № 61. А на рис. 8 приведены задержки во всех каналах этой платы. Видно, что некоторые каналы требуют доработки в плане разводки, изменения топологии платы.

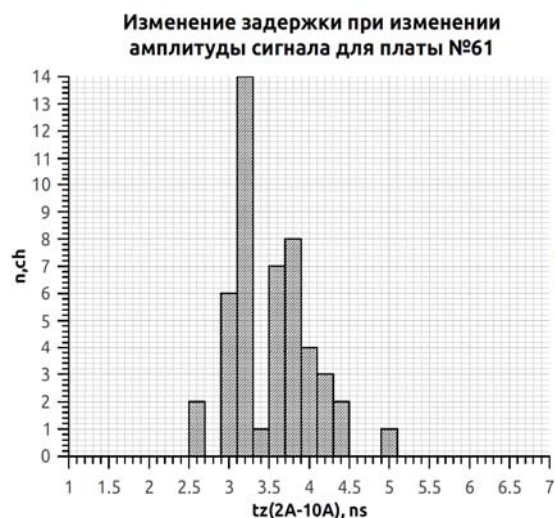


Рис. 6. Распределение величины уменьшения задержки при увеличении амплитуды входного сигнала с 2-х до 10-ти пороговых для платы № 61.

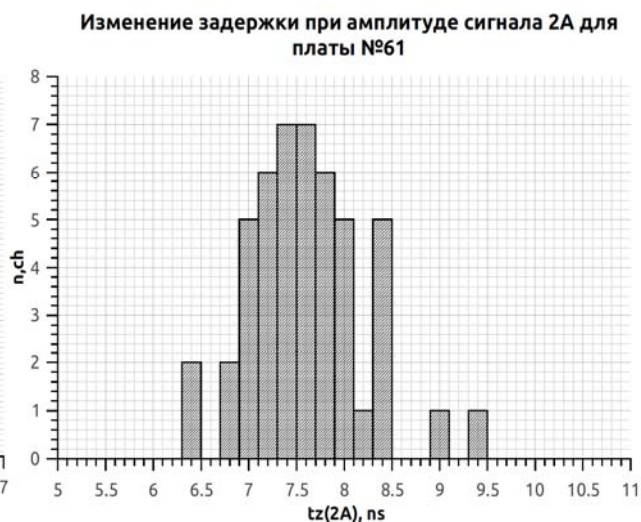


Рис. 7. Распределение величины задержки в каналах платы № 61 при амплитуде входного сигнала равной 2-м пороговым.

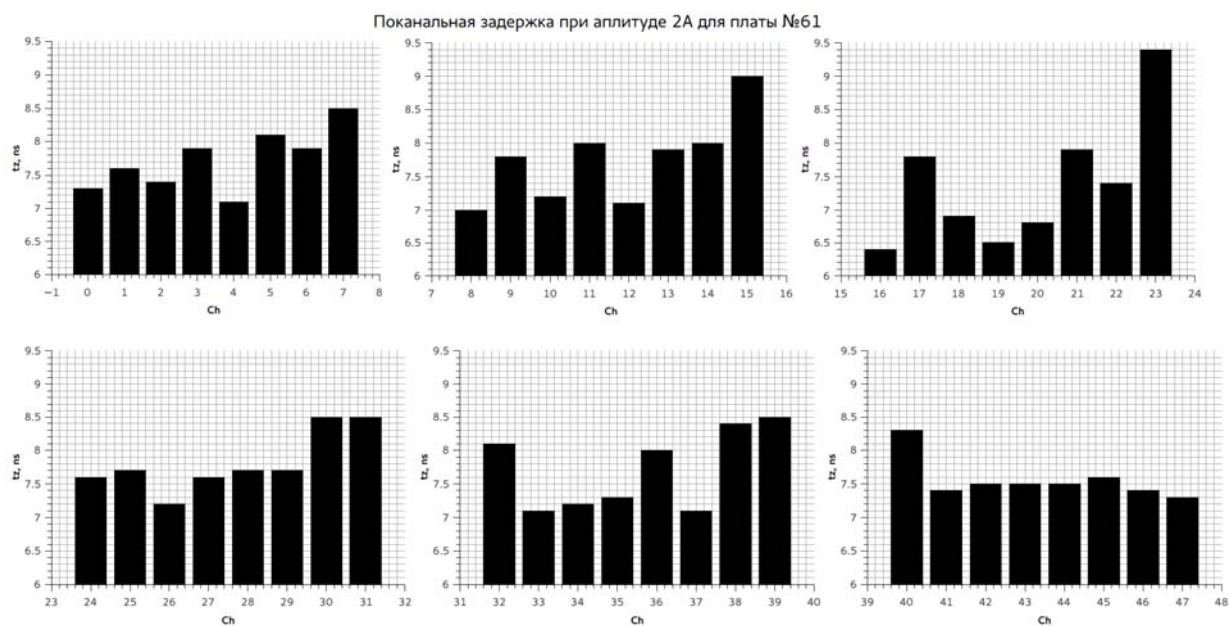


Рис. 8. Задержка при амплитуде входного сигнала равной 2-м пороговым для платы № 61.

Порог чувствительности усилителя может регулироваться как вручную, расположенными на печатной плате потенциометрами, так и автоматически заданием компьютером нужных кодов в шести ЦАП, каждый из которых регулирует пороги группы из 8 усилителей. Переключение между этими двумя вариантами осуществляется с помощью джампера на плате. Напряжение с него через индивидуальные делители с коэффициен-

том деления ~ 40 с фильтрующим конденсатором в каждом канале подаются как пороговые напряжения на неинвертирующие входы компаратора. Предусмотрена возможность подачи на вход усилителя тестового сигнала переменной амплитуды.

Логический блок. Логический блок реализован на микросхеме фирмы ALTERA типа EP1K100QC208 и включает в себя 49-канальный ВЦП с буферной памятью, интерфейс с USB-контроллером, SPI-интерфейсы с цифро-аналоговыми преобразователями и регистры масок. Для передачи сигналов с усилителей-формирователей в микросхему EP1K100QC208 в качестве приемников выбраны 8-канальные микросхемы SN65LVDT388A. Контроллер USB на основе микросхемы CY7C68001 обеспечивает передачу информации из буферной памяти логического блока в компьютер и передачу из компьютера установочных кодов для ЦАП и регистра маски. Для синхронизации работы ВЦП используются сигналы канала управления, которые поступают с узла синхронизации, предназначенного для выработки и разветвления этих сигналов от компьютера на все модули МТ-48 в уровнях LVDS.

49-ый канал ВЦП служит для приёма сигнала “Репер” для измерения времени прихода внешнего цифрового сигнала от компьютера, либо внешнего сигнала “Трг” от триггерной системы, приходящего по каналу управления, либо сигнала “Тест” во время тестирования. Основой измерения времени прихода сигналов с детектора является сигнал, доставляемый по каналу управления ко всем подключенным платам, с частотой 25 МГц, который с помощью умножителя частоты (УЧ) преобразуется в сигнал с частотой 125 МГц.

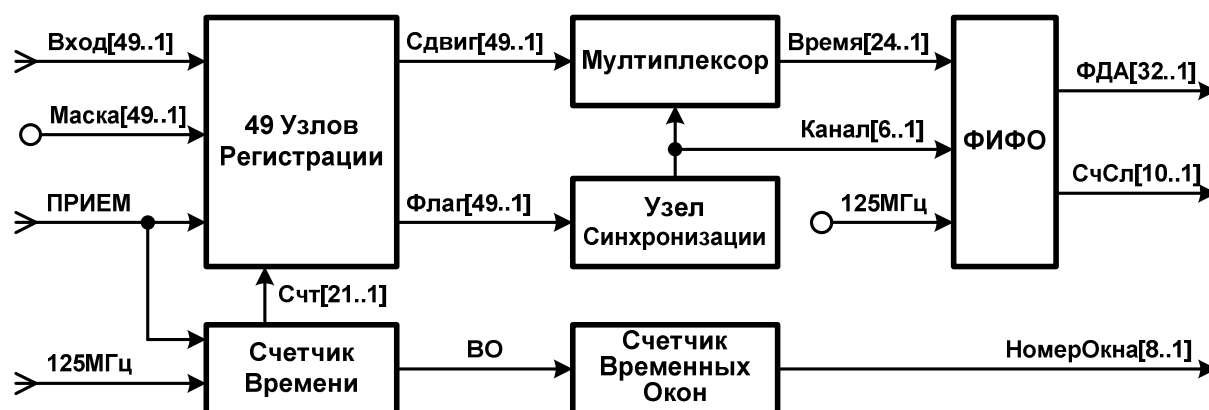


Рис. 9. Структурная схема время-цифрового преобразователя модуля МТ-48.

Время-цифровой преобразователь (рис. 9.) осуществляет регистрацию входных сигналов в бестриггерном режиме и занесение данных в буферную память типа ФИФО, ёмкость которой составляет $1\text{к} \times 32$ бит. Регистрация входных сигналов разрешается внешним сигналом “Прием”. При этом снимается сброс с 21-разрядного счётчика времени, и он начинает считать импульсы опорной частоты 125 МГц. Переполнение этого счётчика происходит за время одного временного окна, что составляет ~ 16 мс, при этом вырабатывается сигнал, который подаётся на счётчик временных окон, имеющий восемь двоичных разрядов.

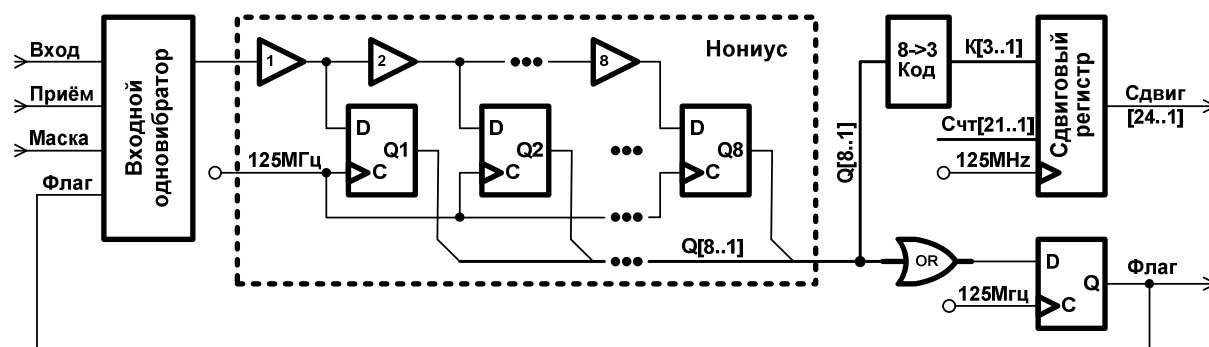


Рис. 10. Структурная схема одного канала регистрации.

Приходящий с детектора входной сигнал поступает на одновибратор со временем выдержки от 750 до 1000 нс, который задаёт мёртвое время в канале для фильтрации срабатываний от вторичных сигналов, возникающих в трубке от той же частицы. Канал также не принимает данные, пока информация с него не будет перенесена в память ФИФО.

На рис. 10 приведена структурная схема одного канала регистрации. Выходной сигнал одновибратора подаётся в нониусную часть канала, состоящую из восьми элементов задержки по ~ 1 нс и восьми соединённых с ними триггеров, образующих нониусный регистр. Каждый такт опорной частоты с периодом 8 наносекунд фиксирует разницу времён прихода фронта входного сигнала относительно положительного фронта опорной частоты в виде кода последовательного заполнения. Из этого восьми разрядного кода вычисляются три двоичных разряда нониуса, что вместе с 21-разрядным значением текущего счётчика времени образует бинарный 24-разрядный код времени, который заносится в сдвиговый регистр данного канала. В этом регистре код времени события ожидает очереди на вычитывание в выходную память типа ФИФО. Таким

образом, формируется значение времени регистрации входного сигнала с дискретностью 1 нс в диапазоне 2^{24} нс относительно сигнала начала регистрации “Прием”. Для минимизации дифференциальной нелинейности элементы задержек и соответствующие им триггера располагаются в одном и том же локальном логическом блоке (LAB), а элемент задержки и соответствующий ему триггер помещены в один логический элемент (LE) микросхемы EP1K100QC208.

Появление ненулевой информации в нониусном регистре (не все разряды нониусного регистра находятся в нулевом состоянии) приводит к установке триггера флага сработавшего канала, который синхронизирует запись данных в сдвиговый регистр и интерпретируется как требование на вычитывание. Флаги всех сработавших каналов приходят в узел синхронизации переноса данных из сдвиговых регистров в память ФИФО, где фиксируются в регистре и кодируются приоритетным шифратором, определяющим очерёдность вычитывания данных из сработавших каналов. Канал со старшим номером будет вычитан первым. Время обработки одного канала составляет 232 нс.

В информационном слове данных 24 разряда отводится для измеренного времени прихода входных сигналов и 6 разрядов для номера сработавшего канала. Полученная информация со всех плат МТ-48 передается по USB-шине с помощью хабов в компьютер. Формат информационного пакета приведен в таблице 1.

Таблица 1.

№ слова	31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0																															
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	Номер временного окна							0	0	ro	wo	em	wf	Число слов в ФИФО										
2	0	0	Номер канала 1						Время прихода сигнала 1 от начала Приёма																							
3	0	0	Номер канала 2						Время прихода сигнала 2 от начала Приёма																							
N-1	0	0	Номер канала N						Время прихода сигнала N от начала Приёма																							

Число слов в ФИФО – количество принятых частиц в прошедшем временном окне.

Wf (write full), если 1 – ФИФО полное.

Em (empty), если 1 – ФИФО пустое.

Wo (write overflow), если 1 – были проигнорированные попытки записи в полное ФИФО.

Ro (read overflow), если 1 – чтение не было закончено до конца нового временного окна.

Номер временного окна – номер временного окна от начала сигнала «Приём».

При записи по USB в МТ-48 передаётся пакет из одиннадцати 16-разрядных слов, в которых в первых 7 словах передаются данные для 7 ЦАП, расположенных на плате. В последующих 4 словах располагается маска каналов. Формат передаваемых данных указан в таблице 2.

Таблица 2.

№	Назначение	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1	Напряжение порогов каналов 0..7	-	-	-	-	Код порогового напряжения											
2	Напряжение порогов каналов 8..15	-	-	-	-	Код порогового напряжения											
3	Напряжение порогов каналов 16..23	-	-	-	-	Код порогового напряжения											
4	Напряжение порогов каналов 24..31	-	-	-	-	Код порогового напряжения											
5	Напряжение порогов каналов 32..39	-	-	-	-	Код порогового напряжения											
6	Напряжение порогов каналов 40..47	-	-	-	-	Код порогового напряжения											
7	Амплитуда тестового сигнала	-	-	-	-	Код амплитуды теста											
8	Маска каналов 0..15	m15	m14	m13	m12	m11	m10	m9	m8	m7	m6	m5	m4	m3	m2	m1	m0
9	Маска каналов 16..31	m31	m30	m29	m28	m27	m26	m25	m24	m23	m22	m21	m20	m19	m18	m17	m31
10	Маска каналов 32..47	m47	m46	m45	m44	m43	m42	m41	m40	m39	m38	m37	m36	m35	m34	m33	m32
11	Маска тестовых сигналов 1..6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T6	T5	T4	T3	T2	T1	m48

“1” в регистре маски (m0 – m48) запрещает приём в этом канале.

“1” в регистре маски тестовых сигналов T1 – T6 разрешает прохождение сигнала “Репер” на тестовый вход восьмёрки усилителей.

По включении питания все разряды всех регистров устанавливаются в ноль. В ЦАП записывается код, соответствующий выходному напряжению ~1 В, что соответствует порогу принимаемых сигналов примерно в 1 мкА. Приём сигналов будет запрещён отсутствием сигнала «Приём». Для начала работы платы следует установить оптимальные пороги во все платы.

Приём пакета длится 300 – 600 нс. Запись в ЦАП инициируется посылкой пакета в МТ-48 и длится 1,6 мкс.

В таблице 3 показаны основные параметры модуля МТ-48.

В качестве компьютера, обслуживающего модули МТ-48, используется компьютер в ITX форм-факторе. Связь его с компьютером, осуществляющим обработку и отображение полученных данных, осуществляется по каналу Ethernet.

Таблица 3.

Параметр	Значение
Число каналов усилителей	48
Чувствительность усилителя	0,4 мкА – 2 мкА
Задержка усилителя	7-8 нс
Число каналов измерения времени	49
Диапазон измерения времени	до ~16 мс
Дискретность измерения времени	1 нс
Ёмкость буферной памяти	1024 32-разрядных слов
Мёртвое время в канале регистрации	~1000 нс
Время обработки одного канала	232 нс
Токи потребления	+5 В - 2,1 А -5 В - 0,3А

3. Канал управления

Канал управления реализован с помощью разветвителя управляющих сигналов РМТ-48 (рис. 11). Разветвитель допускает подключение к нему восьми ветвей управления модулями МТ-48, а к каждой ветви подключаются шесть плат МТ-48. Таким образом, разветвитель обеспечивает синхронизацию работы 48 блоков сбора информации с детектора, содержащего 2304 канала регистрации.

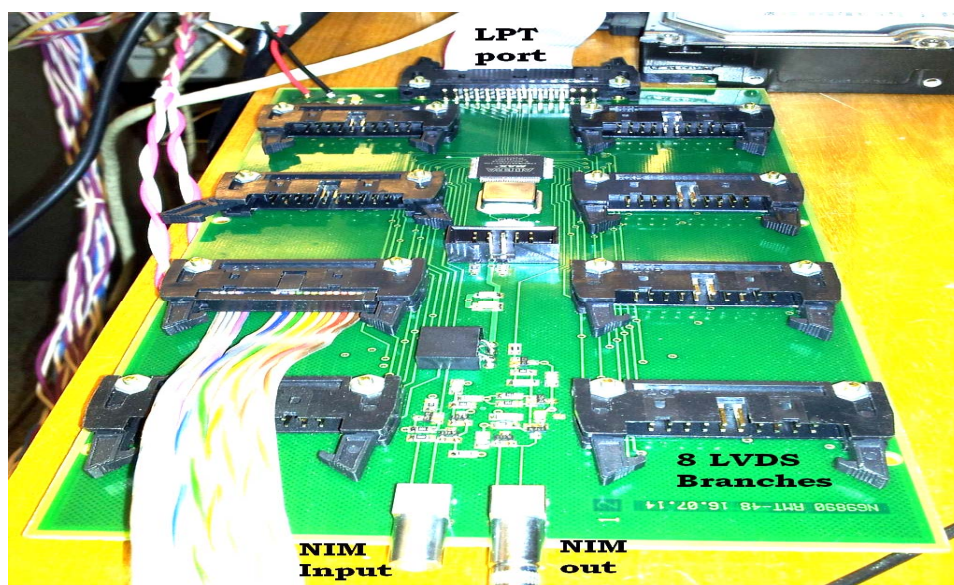


Рис. 11. Фотография платы разветвителя РМТ-48.

Структурная схема разветвителя показана на рис. 12. Связь с персональным компьютером осуществляется через LPT порт (разъем X1). Коммутация и разветвление сигналов, принимаемых с LPT порта, выполняется логикой, реализованной на микросхеме Altera MAX3000ATC100. Выходные сигналы этой микросхемы поступают на преобразователи уровней TTL-LVDS, а затем - в канал управления (разъемы X2-X9). Кварцевый генератор на 25 МГц тактирует работу системы сбора данных. Входной разъем LEMO X10 используется для приема сигнала “Трг”, выходной LEMO X11 – для вывода сигнала “Тест”.

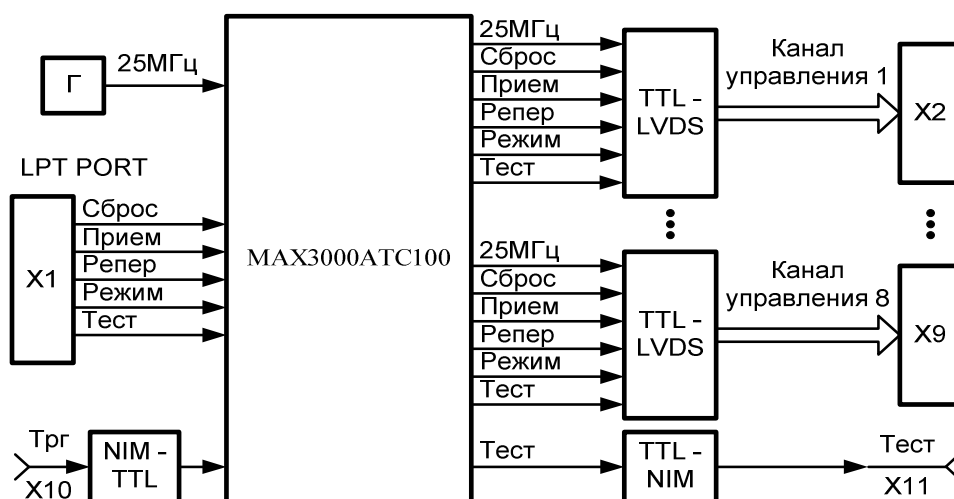


Рис. 12. Структурная схема блока РМТ-48.

В таблице 4 дан перечень сигналов канала управления блока МТ-48.

Сигнал “Сброс” предназначен для сброса логического блока и контроллера USB.

Сигнал “Прием” привязывается к частоте 25 МГц и разрешает приём данных.

Сигнал “Репер” в РМТ-48 объединяется по “ИЛИ” с входным сигналом “Трг”.

Сигнал “Режим” определяет режим работы системы. В режиме конфигурирования задаются пороги срабатывания усилителей и содержимое 49-разрядного регистра маски каналов.

Сигнал “Тест” – тестовый сигнал, подаётся в кабель и на выходной разъем X11.

Сигналы “Резерв1” и “Резерв2” – резервные сигналы, разветвляется по кабелю.

Таблица 4.

№	Сигнал	LPT Data	IDCC-20
1	25МГц	-	1 - 25 МГц +
			2 - 25 МГц -
2	Сброс	LPT-D4	3 - Сброс +
			4 - Сброс -
3	Прием	LPT-D3	5 - Прием +
			6 - Прием -
4	Репер	LPT-D2	7 - Репер +
			8 - Репер -
5	Режим	LPT-D1	9 - Режим +
			10 - Режим -
6	Тест	LPT-D0	11 - Тест +
			12 - Тест -
7	Резерв1	LPT-D5	13 - Рез.1 +
			14 - Рез.1 -
8	Резерв2	LPT-D6	15 - Рез.2 +
			16 - Рез.2 -

4. Тестирование модулей МТ-48

Испытание модулей МТ-48 проводились на рабочих местах разработчиков, для чего был построен специальный стенд и создано соответствующее программное обеспечение. Этот стенд позволяет вычислять значения индивидуальных задержек и порогов для каждого канала, а также определять работоспособность отдельных каналов регистрации. Для каждого канала усилителей снималась зависимость средней чувствительности при четырёх пороговых напряжениях, а затем производилась процедура выравнивания чувствительностей усилителей на плате.

Стенд (рис. 13), включает в себя:

персональный компьютер (ПК);

интерфейс PCI-Qbus [5] (И);

разветвитель сигналов канала управления (РМТ-48);

каркас системы СУММА [3], в котором располагаются генератор калибровочных сигналов ГКС [4], блок управляемой задержки ЗУ-26, контроллер связи с компьютером ЛЭ-88С [5];

переходные платы (ПП1 – ПП6).

Блок ГКС содержит 12 идентичных каналов, генераторов прямоугольных импульсов переменной амплитуды. Диапазон амплитуд выходных сигналов 0 – 1000 мВ с шагом 1/255 В. Длительность выходных сигналов определяется длительностью сигнала в стандарте NIM, подаваемого на вход “S”. Переходные платы обеспечивают формирование токовых сигналов и подключение их к входным разъемам испытываемого модуля МТ-48.

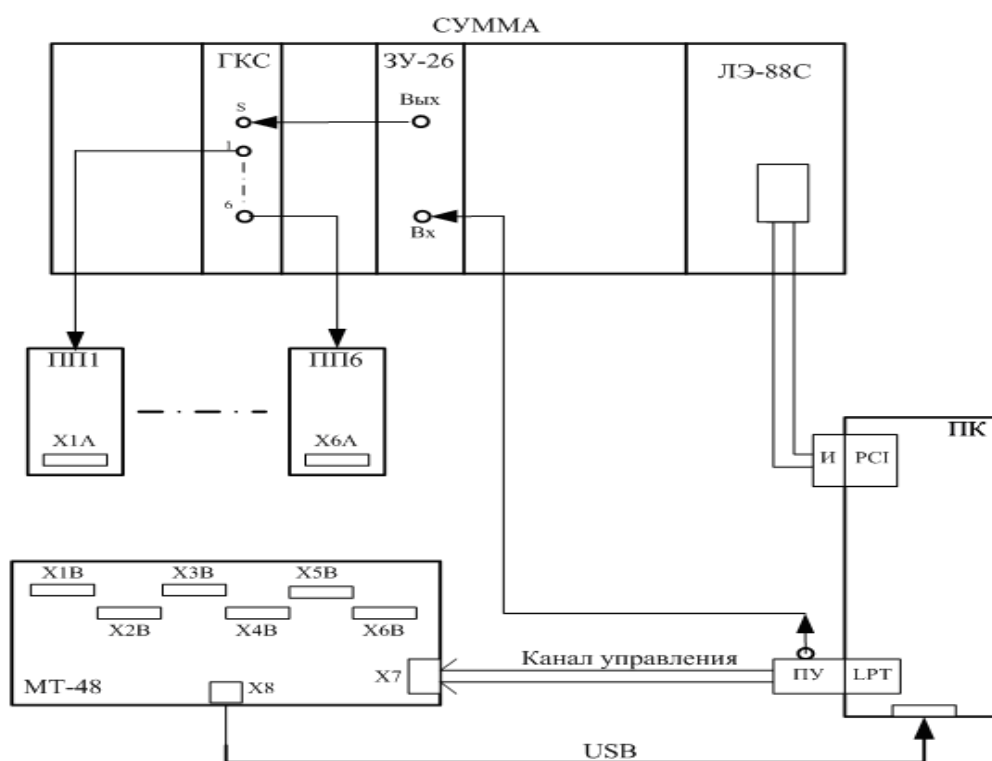


Рис. 13. Блок-схема стенда для испытания модулей МТ-48.

Разветвитель РМТ-48 служит для организации канала управления, по которому от компьютера к модулю накамерной электроники передаются сигналы управления и синхронизации.

Стенд имеет два основных режима работы: определение порогов срабатывания усилителей и определение разбросов задержек усилителей.

Определение порогов срабатывания. По командам компьютера в ГКС записывается 8-разрядный код амплитуды, после чего ГКС вырабатывает прямоугольные

сигналы с фронтом, не превышающим 2 нс, и длительностью 40 нс, определяемой внешним запускающим импульсом. Амплитуда сигналов увеличивается от 0 до 1 вольта при максимальном коде 255, что преобразуется адаптером в токовые сигналы на входе усилителя от 0 до 2,5 мкА. При каждой амплитуде выполняется многократный запуск системы и чтение проверяемого модуля. Если количество срабатываний усилителя превысило 70%, данный код амплитуды принимается за код порогового напряжения.

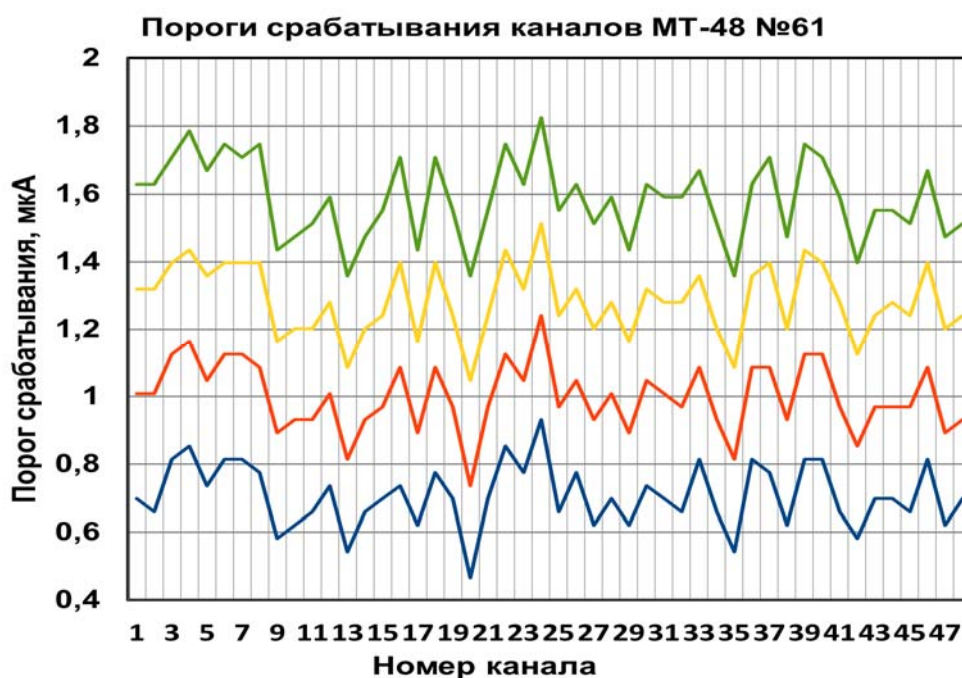


Рис. 14. Пороги в каналах при четырёх пороговых напряжениях для платы № 61.

Определение разбросов задержек усилителей. На вход усилителей подаётся сигнал максимальной амплитуды 10 мкА (используются другие адаптерные платы). Компьютер вырабатывает сигнал, который разветвляется на два: один передается по каналу управления в модуль МТ-48 и регистрируется дополнительным 49-м каналом, а другой проходит через модули регулируемой задержки и запускает ГКС, сигналы с которого поступают на 48 проверяемых усилителей. После чтения МТ-48 вычисляется разница времен срабатывания проверяемых усилителей относительно сигнала, передаваемого по каналу управления.

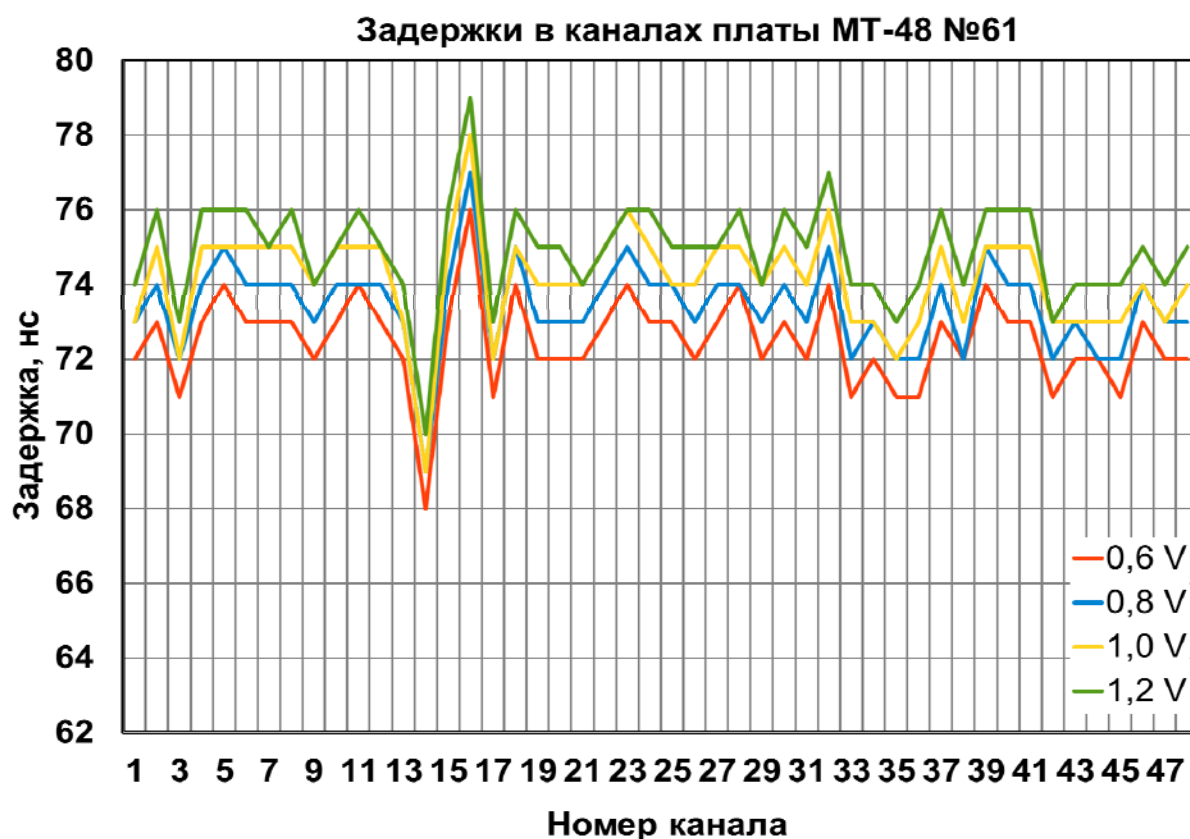


Рис. 15. Задержки в каналах при четырёх пороговых напряжениях для платы № 61.

5. Построение системы сбора данных на основе модулей МТ-48

Структурная схема системы сбора данных мюонного томографа дана на рис. 16. Она содержит 48 плат МТ-48, которые с помощью USB-хабов 12→1 связаны с компьютером. В качестве компьютера, работающего с блоками МТ-48, используется компьютер в ITX форм-факторе. Вторая ступень – USB входы компьютера. Для выработки сигналов управления используется блок РМТ-48, подключаемый к LPT-порту компьютера. Связь компьютера с внешним миром происходит по каналу Ethernet.

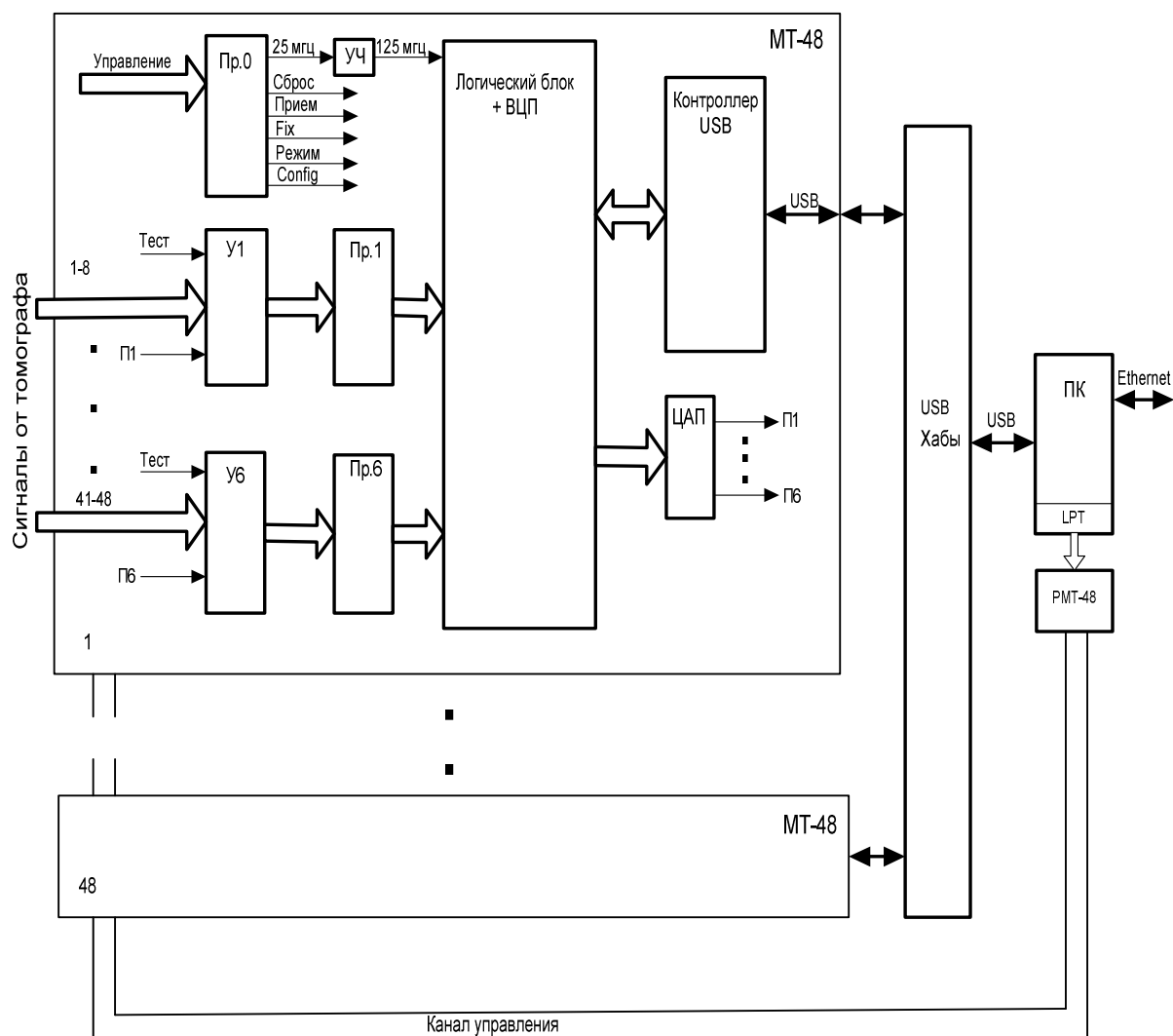


Рис. 16. Структурная схема системы сбора данных мюонного томографа.

Заключение

В рамках контракта с государственной корпорацией «Росатом» была разработана намерная электроника для мюонного томографа: модуль МТ-48 для регистрации и оцифровки сигналов, принимаемых от томографа, и разветвитель сигналов канала управления РМТ-48. К настоящему времени изготовлено, настроено, проверено на стенде 50 модулей МТ-48, из которых 48 установлено на томографе. На основе представленной электроники создана система сбора данных томографа с соответствующим программным обеспечением [7], которая позволяет достичь эффективности сбора данных 93%.

Работа выполнена по контракту с государственной корпорацией «Росатом» от 31.05.2013 №4х44.90.13.1120.

Список литературы

- [1] А.А. Борисов и др. Установка «Мюонный томограф с площадью перекрытия 3 х 3 кв.м». // Приборы и техника эксперимента, 2012, № 2, с. 5-14.
- [2] CY7C68001 EZ-USB SX2 High-Speed USB Interface Device, Cypress Semiconductor Corporation, Document #:38-08013 Rev.D.
- [3] О.И. Алферова, Ю.Б. Бушнин, А.А. Денисенко и др. Препринт ИФВЭ 74-122, Серпухов, 1974.
- [4] Л.Л. Курчанинов, М.В. Васильев, А.М. Моисеев и др. Препринт ИФВЭ 2002-20, Протвино, 2002.
- [5] В.С. Петров, В.И. Якимчук. Препринт ИФВЭ 2011-21, Протвино, 2002.
- [6] CAMAC. A Modular Instrumentation System for Data Handling. EUROATOM Report EUR 4100e, 1972.
- [7] И.С. Плотников, А.А. Борисов, Н.И. Божко и др. Система сбора данных мюонного томографа на базе накамерной электроники МТ-48. Препринт ИФВЭ 2015-14, Протвино, 2015.

Рукопись поступила 18 сентября 2015 г.

Н.И. Божко и др.

Система накамерной электроники на основе модуля МТ-48 для бестриггерного режима работы томографа на космических мюонах.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати	27.07.2015.	Формат 60 × 84/16.	Цифровая печать.
--------------------	-------------	--------------------	------------------

Печ.л. 1,5.	Уч.– изд.л. 2,016.	Тираж 80.	Заказ 17.	Индекс 3649.
-------------	--------------------	-----------	-----------	--------------

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт»

142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2015-13,
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт», 2015
