Основные направления развития многоканальной электроники детектора КМД-v2.xx .

Авторы: А.Рубан, Ю.Юдин **Дата:** 12.08.02
Организация: Институт Ядреной физики СО РАН

В игре с природой нельзя выиграть. (1-е начало термодинамики)
В игре с природой нельзя даже остаться при своих. (2-е начало термодинамики)

1. Из чего мы выбираем?

а. Возможные способы оцифровки сигналов.

- **оцифровывать "заряд", содержащийся в сигнале.** Для этого необходимо устройство типа ЗЦП, и очень желательно получать сигнал первичного триггера до прихода сигналов.
- **оцифровывать амплитуду пика сигналов.** Для этого необходимо устройство типа пиковый детектор+УВХ, и очень желательно получать сигнал первичного триггера до наступления максимума сигналов.
- **циклически оцифровывать текущее значение сигналов (дискретизация сигналов),** а в качестве выходной информации от каждого канала использовать несколько значений, относящихся к интервалу времени в районе максимума сигнала. При этом способе нет необходимости получать сигнал первичного триггера до наступления максимума сигналов.

Для проволочных камер в настоящее время оптимальна оцифровка с посредством ЗЦП. Поскольку сигналы с камер приходят принципиально раньше сигнала ПТ, в каждом канале требуется задержка входного сигнала на время выработки "ворот", а также схема самосброса ЗЦП.

Для калориметров первый способ оцифровки не нужен, т.к. их сигналы достаточно медленны, чтобы применить второй или третий способы. Какой из них окажется оптимальнее, зависит от того, как будет сделано мультиплексирование. Критерии оптимальности - не только стоимость комплектующих и изготовления электроники, но и трудозатраты на её разработку и **освоение.**

б. Возможные способы сокращения количества оцифровывающей электроники.

Вообще, есть два магистральных направления:

- **сокращать число каналов, оцифровываемых в каждом событии**, т.е. предварительно отбирать сработавшие каналы с помощью дискриминаторов, и оцифровывать только сработавшие каналы. При этом, например, оцифровывающая электроника может находиться вне детектора, но наружу выдаются только сигналы сработавших каналов. Их выходы подключаются через мультиплексоры к кабелям, поэтому число кабелей и АЦП тоже сокращается. **Мультиплексирование - "по положению".**
- **оцифровывать все каналы, но мультиплексирование перенести внутрь детектора.** Выходы всех каналов поочередно подключаются через мультиплексоры ко входу АЦП (если АЦП находится вне детектора, то мультиплексированный сигнал идёт через буфер и кабель), и АЦП оцифровывает сигнал с каждого мультиплексора соответствующее число раз, поэтому число кабелей и АЦП сокращается (хотя количество сырой информации - нет). **Мультиплексирование - по времени.**

Кроме сокращения количества каналов оцифровки, мультиплексирование сигналов позволяет уменьшить число сигнальных кабелей. А это не только повышает надёжность электроники в целом, но и улучшает удобство доступа к аппаратуре, а также ощутимо удешевляет электронику и облегчает устройство кабельных трасс (наше традиционно слабое место). Поэтому **ни один из проектируемых детекторов** (проекты которых, кстати, сейчас в гораздо более проработанном состоянии, чем КМД-v2.xx) **не обходится без мультиплексирования сигналов,** как бы это ни было противно некоторым.

в. Возможные способы унификации оцифровывающей электроники.

Проще говоря, во что преобразовывать сигналы - во время или в амплитуду?

Во-первых, очевидно, что в будущем КМД-v2.xx больше всего будет амплитудных каналов - это все калориметры, катодные полоски Z-камеры, а также проволочки Дрейфовой камеры (хотя для них амплитуда является второстепенной информацией). Очевидно, что устраивать лишнюю ступень преобразования - A→t - нецелесообразно уже из соображений сохранения точности регистрации

сигналов. Во-вторых, амплитудные сигналы проще мультиплексировать (по времени), а оцифровывать смультиплексированные таким образом сигналы можно любым АЦП с памятью. В-третьих, преобразователь t→A по сложности схемы почти не отличается от A→t (чуть-чуть проще), а для ВЦП с шагом ~1нс и меньше является неотъемлемой частью, т.е. ВЦП μ-системы внутри себя всё равно преобразуют время в амплитуду. По всему по_этому ясно, что лучше в сравнительно небольшом числе каналов устроить преобразование t→A, и полученные амплитуды оцифровать АЦП.

2. Для чего мы выбираем...

В каких системах КМД-v2.xx и на каких стадиях обработки сигналов можно устроить мультиплексирование ?

Функциональная схема электроники, производящей аналоговую обработку и оцифровку сигналов детектора, представлена на рис.1 . Сигналы ДК, BGO и CSI участвуют в триггере, поэтому в этих системах так или иначе обязательно придётся сначала каждый сигнал подготовить для использования в триггере (усилить, сформировать) и свести определённые группы сигналов вместе, чтобы можно было устроить их аналоговое или логическое суммирование для триггера. В связи с этим, очевидно, что мультиплексирование сигналов для подачи на АЦП целесообразно делать в тех же блоках, в которых выполняется суммирование сигналов для триггера, т.к. именно при таком расположении функциональных узлов получается наименьшее число междублочных сигнальных кабелей. Следовательно, электроника ДК, BGO и CsI должна быть устроена примерно так : каждый сигнал усиливается "своим" предусилителем и выводится из детектора по "своему" кабелю ; кабели сходятся в многоканальные блоки, производящие окончательное усиление и формирование сигналов, после чего каждый сигнал готов к использованию в триггере и к оцифровке. В этих же блоках должны размещаться аналоговые мультиплексоры (а может быть, и АЦП), а также узлы, выполняющие суммирование (аналоговое или логическое) сигналов для триггера. Таким образом, индивидуальные сигнальные линии используются только 1 раз - между детектором и блоками обработки аналоговых сигналов, а из них выходит уже **в несколько раз меньше кабелей.**

Сигналы координатной части LXe и катодных полосок ZK не участвуют в триггере, поэтому в этих системах сигналы можно мультиплексировать сразу после усиления. Для координатной части LXe это особенно выгодно, т.к. эти сигналы выводятся через 44 разъёма по 48 штук в одном разъёме, и есть возможность разместить усилители и формирователи внутри детектора в виде 44 конструктивно законченных 48-канальных блоков. Добавив в каждый блок мультиплексоры и АЦП, получим вместо 48 аналоговых выходных сигналов 3 цифровых сигнала в последовательном коде.

3. Мы выбираем для амплитудных каналов...

Координатная часть LXe-калориметра - вторая из систем детектора по числу измерительных каналов. Как уже было сказано выше, при проектировании её (координатной части) электроники наиболее **целесообразно** сократить количество кабельных трасс и оцифровывающей аппаратуры. Более того, чтобы процесс запуска LXe-калориметра вообще **сходился**, и чтобы калориметр можно было поддерживать в рабочем состоянии, такое сокращение просто **необходимо**.

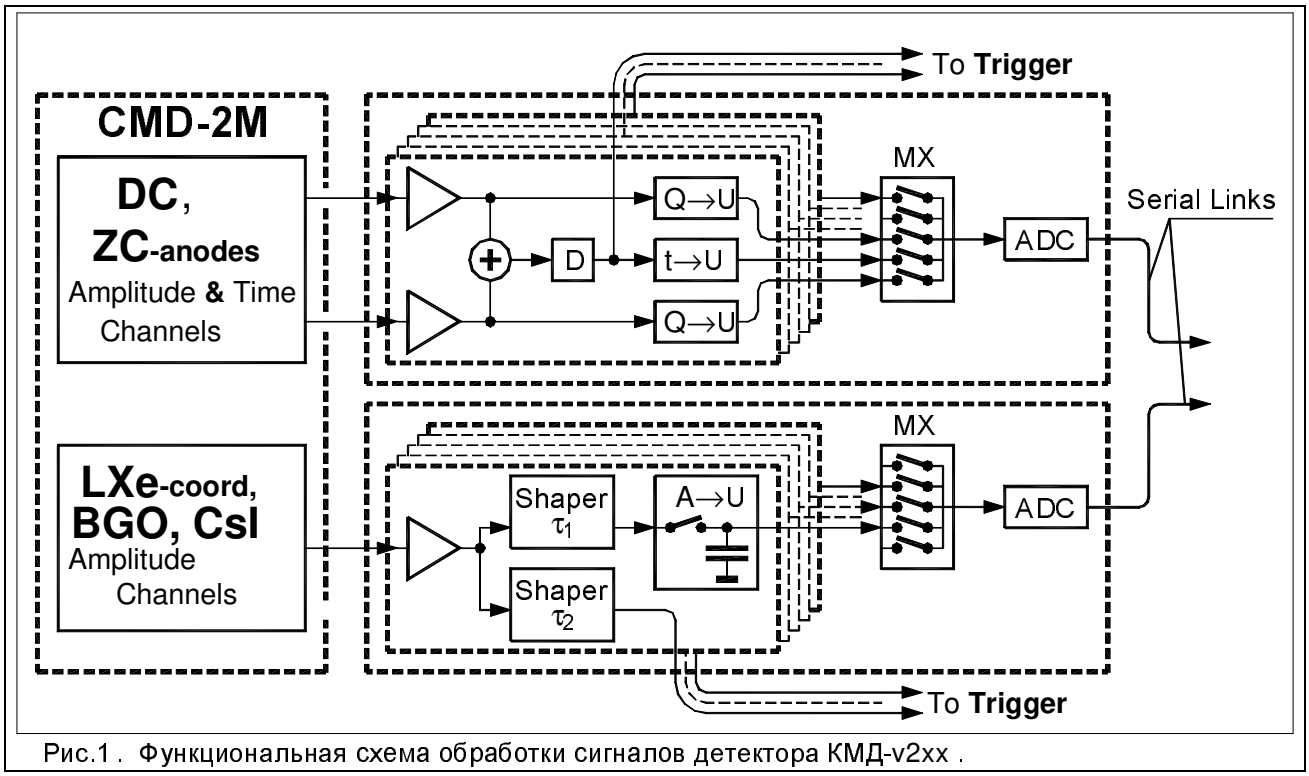

Рис.1 . Функциональная схема обработки сигналов детектора КМД-v2xx .

Итак, рассмотрим несколько вариантов построения (оцифровывающей) электроники на примере координатной части LXe-калориметра. Она состоит из 2162 каналов, front-end-электроника которых расположена внутри детектора следующим образом: 44 группы по 3 платы = 132 платы, по 16 каналов на плате.

а. Путь первый - оцифровывать только “сработавшие” каналы.

Учитывая, что в одном событии может сработать не более нескольких процентов от общего числа каналов, этот путь кажется самым разумным: просто количество АЦП становится в разы меньше, чем сейчас, а их быстродействие не меняется, т.к. каждый канал АЦП оцифровывает по-прежнему по одному сигналу. При таком подходе электроника работает следующим образом: наличие сигнала в канале определяется дискриминатором, **после чего** выделенные таким образом каналы подключаются через мультиплексор к АЦП. Но на этом пути есть две **принципиальные** трудности, и третья, непринципиальная.

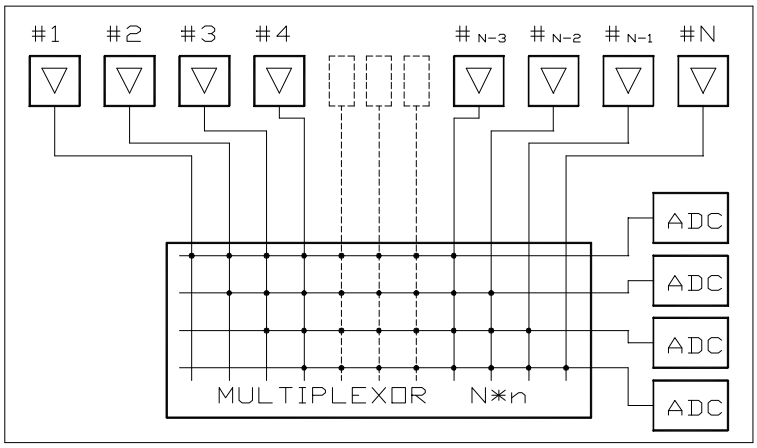

Рис.1 Структура мультиплексора “по положению”.

- поскольку оцифровщиков меньше, чем каналов, а сработать может **любой** набор каналов, **невозможно** объединить каналы в группы так, чтобы в группе срабатывал только 1 канал в каждом событии. С достаточной вероятностью можно утверждать только то, что из группы N каналов в каждом событии сработает не более n каналов. Тогда, действительно, можно обслуживать группу из N каналов с помощью n АЦП, но необходимо обеспечить возможность подключения **каждого** канала к **любому** АЦП. Для этого мультиплексор должен представ-лять собой **матрицу N*n** ключей (рис.1); строго говоря, число ключей может быть немного меньше, но суть дела это не меняет.
- в зависимости от набора сработавших каналов, каждый канал группы может быть подсоединён к различному АЦП (одному из n). Поэтому в процессе работы установки должно отслеживаться, **какой канал каким АЦП был оцифрован в каждом событии.** Кроме того, при калибровке (и обработке!) нужно **разделять переменные:** измерять параметры отдельно аналоговых каналов и отдельно АЦП.
- В соответствии с вышесказанным, алгоритм работы электроники получается такой: по сигналу ПТ нужно отобрать каналы для оцифровки с помощью дискриминаторов, переключить матрицу нужным образом, и только после этого начинать оцифровку. Параллельно с оцифровкой можно передавать данные о том, какой канал к какому АЦП подключен. Видно, что алгоритм зависит от наличия сигналов и, следовательно, непостоянен во времени, а это неизбежно приводит к усложнению управляющей части.

Ну, поскольку настоящих учёных не останавливают какие-то там принципиальные трудности, специально для них рассмотрим варианты построения электроники в соответствии с этим путём.

Вариант 1. Конкретно, для LXe-калориметра для сокращения каналов АЦП в 8 раз нужны матричные мультиплексоры размером 64*8 ключей, в 16 раз - размером 256*16 ключей. Собирать матричную структуру из коммутаторов 8-в-1 или 16-в-1 очевидно нерентабельно (по сравнению с Вариантом 4 - см. ниже) и технически трудно. В принципе, есть интегральный коммутатор AD7510JP 16*16 ключей, стоит $21, но он программируется по последо-вательному входу,

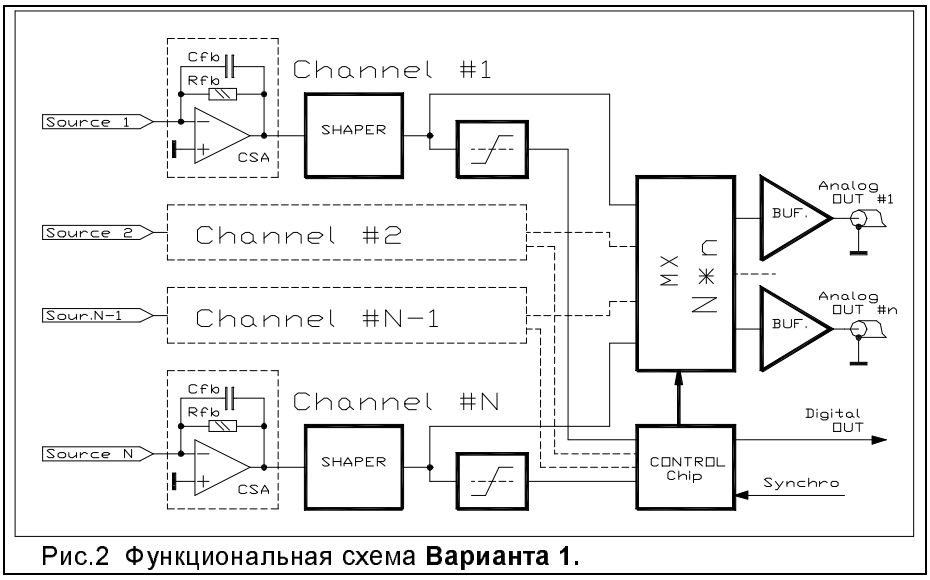

Рис.2 Функциональная схема **Варианта 1.**

и это занимает ~55мкс - слишком долго. Итак, собираем матрицу из коммутаторов 8-в-1. Ставим дискриминатор в каждый канал (рис.2). Пусть управляющий чип вырабатывает сигналы управления мультиплексором за 20нс, а время переключения коммутаторов ~500-600нс. Тогда нужно смотреть на состояние дискриминаторов за 520-620нс до max сигналов, чтобы по сигналам управляющего чипа коммутаторы успели переключиться. Всё это вполне осуществимо и технически элегантно, только дорого.

Добавочная стоимость* по "Варианту 1": минимальное N=64, оцифровываем не больше 8 каналов из 64, тогда нужно ((N-n)/число входов коммутатора)*n = 56 коммутаторов 8-в-1 на группу, * 33 групп = 1840 корпусов по $1.1=2033$; управляющий чип Altera ~$50*33= 1650$; буферные усилители 8 на группу *33*$3.50 =924$; дискриминаторы в каждый канал (сдвоенные) 1061 корпусов *4$=4244$; плюс резисторы, конденсаторы, и т.п. ???$; оцифровываем 9-ю платами A32. **Итого 8851$+**??, и вариант на грани фола - работоспособность его под большим вопросом, если даже не вспоминать об **эксплуатации** крейта "Клюквы".

~~Вариант 2.~~ ~~Ставим один дискриминатор на группу каналов (за мультиплексором). При этом нужно опрашивать каналы группы достаточно быстро (рис.3). В этом случае методика восстановления амплитуды сигнала значительно усложняется, т.к. нужно учитывать, в какой момент был оцифрован (или запомнен в УВХ) конкретный канал. Кроме того, нет выигрыша по медленности (допустимому времени переключения) коммутаторов по сравнению с 1-м вариантом.~~

Рис.3 Функциональная схема **Варианта 2.**

Вообще, в нашем случае особого смысла идти этим "первым" путём нет - т.к. экономически выгодно уменьшать не скорость оцифровки, а только число кабелей.

б. Путь второй - оцифровывать все каналы, но мультиплексировать их по времени.

При таком подходе могут быть применены оба (второй и третий) способы оцифровки.

Вариант 3. Большим достоинством определения амплитуды сигналов путем их дискретизации (с последующей обработкой) является то, что при этом способе алгоритм работы аналоговой части (циклический опрос всех каналов группы) не меняется в течение всего времени работы и не зависит от наличия/отсутствия сигнала в канале (рис.4). Для дискретизации сигналов LXe-калориметра потребуется примерно 2 отсчета за 1 мкс в каждом канале. Если взять сравнительно дешёвый АЦП, обеспечивающий скорость оцифровки ~50 MSps, то с некоторым запасом можно одним таким АЦП дискретизовать 16 каналов. Для обеспечения этого требуется 2*16=32 переключения коммутатора за 1мкс. Чтобы максимально снизить требования к быстродействию коммутаторов, нужно организовать мультиплексор из двух ступеней коммутаторов: 4 "медленных" коммутатора 4-в-1 коммутируются второй, быстрой ступенью 4-в-1. Даже при такой организации время переключения "медленных" коммутаторов должно быть не хуже 100-150 нс, а время переключения коммутаторов второй ступени остаётся ~10-15 нс. Это достаточно высокие требования - выбор интегральных коммутаторов с такими параметрами очень узок, и они дорогие. Кроме того, при такой скорости переключения каналов могут вылезти проблемы с расплыванием выходного сигнала в кабеле. Поэтому АЦП пришлось бы разместить вместе с аналоговыми каналами и мультиплексорами внутри детектора, что неприемлемо по тепловыделению.

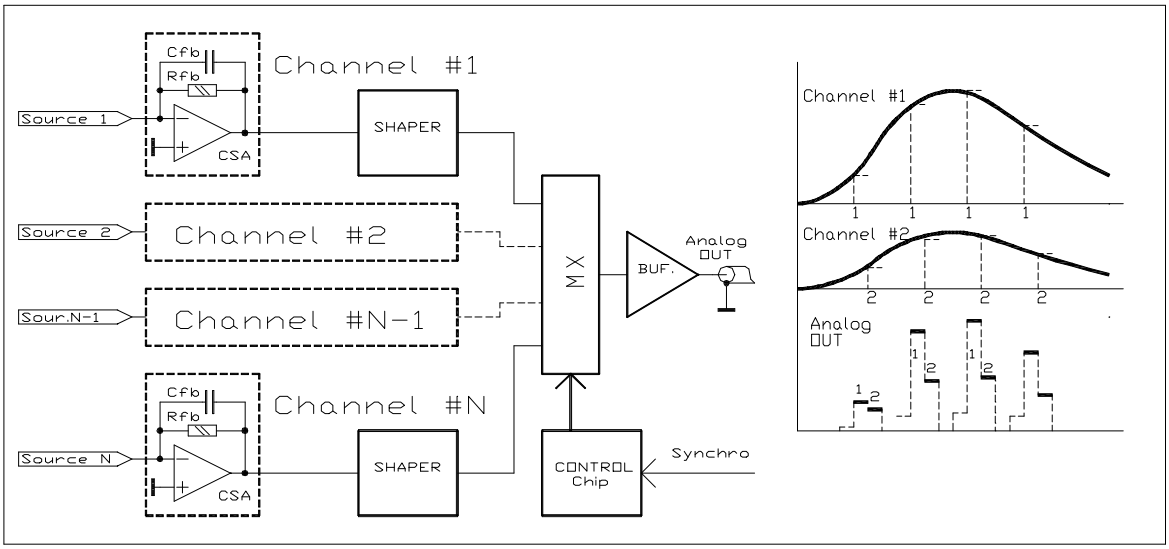

Рис.4 Функциональная схема **Варианта 3.**

Добавочная стоимость* по “Варианту 3”: не имеет смысла считать.

Вариант 4. Поскольку координатные каналы калориметра не участвуют в триггере, и поскольку их сигналы достигают max значительно позже сигнала первичного триггера (через ~3мкс после), вполне возможно поставить в каждый канал УВХ, защёлкивать в них сформированные сигналы по сигналу первичного триггера, а потом спокойно оцифровывать их поочерёдно (рис.5). Это аналогично тому, как сейчас работают платы А32, только мультиплексоры и АЦП переносятся внутрь детектора, а значит, сокращается число кабелей и разъёмов. Предположим, что будем оцифровывать одним АЦП по 16 каналов, и время оцифровки всех каналов группы будет 20 мкс (на порядок меньше, чем сейчас). Для этого понадобятся АЦП со скоростью ~1 MSps, и коммутаторы с временем переключения 500-600 нс. Таких АЦП и коммутаторов навалом, и можно выбрать дешёвые.

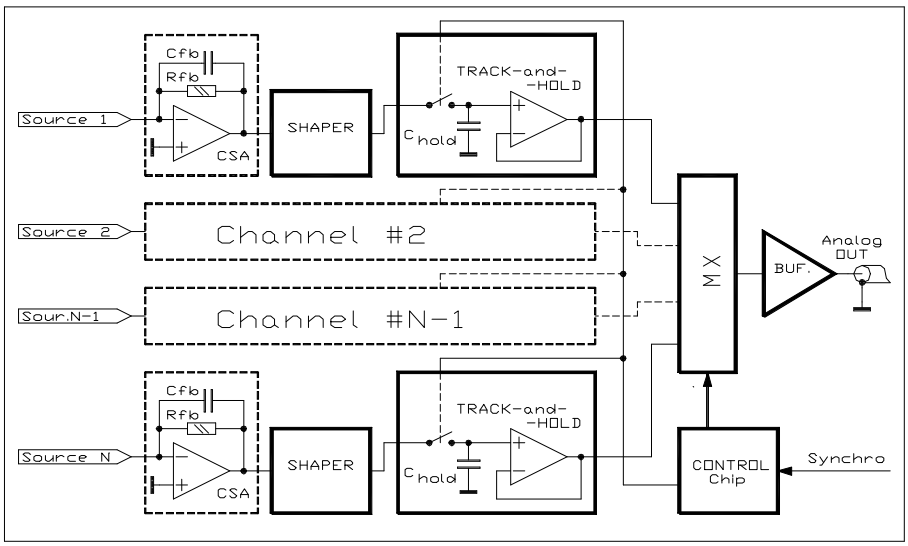

Рис.5 Функциональная схема **Варианта 4.**

Добавочная стоимость* по “Варианту 4”: УВХ в каждом канале совмещено с интегрирующей частью формирователя, дополнительно нужен 1 ключ, итого 528 корпусов (по 4 ключа) по 1.1$=581$; коммутаторы 8-в-1, 2 корпуса HC4051 на плату * 1.1$ * 132 платы = 290$; АЦП AD7495 * ~20$ * * 132 платы * = 2640$; чип управления - самая слабенькая Altera, * ~10$ * 132 платы =1320$; плюс резисторы, конденсаторы и т.п. ???$; 3 Блока приёма-передачи данных: управляющий чип Altera + + память ~80$ * 3 блока = 240$; стоимость одной позиции в VME-крейте ~300$ * 3 платы = 900$. **Итого 5971$+**??, и работоспособность варианта не вызывает сомнений, плюс сбрасываем с себя гирю **эксплуатации** “Клюквы”.

4. Мы выбрали структуру амплитудных каналов !

Для начала, обозрим параметры предлагаемых вариантов построения оцифровывающей электроники LXe-калориметра.

Вариант	Тепловыд-е внутри д-ра	$K_{мультиплекс-я}$ N кабелей	Оцифровка	Добавочная стоимость комплектовки
0. То, что есть сейчас	FE+180W	NO 2112an	66 плат А32	~1500$ без Клюквы
1. Мультиплекс. По полож-ю		1>8, 284 an	9 плат А32	8851$ без Клюквы
2. Мультиплекс. По полож-ю				
3. Дискретизация	FE+~100W	1>16, 132 log		
4. УВХ+мультиплекс. По t	FE+15W	1>16, 132 log	2 платы ППД новых	5971$ с учётом VME

Поскольку выходные сигналы амплитудных каналов всех калориметров, предлагаемых для КМД-2М, близки по форме, представляется целесообразным частично унифицировать их электронику. Поэтому при выборе варианта построения (аналоговой и оцифровывающей) электроники каждого калориметра нужно стремиться не только к максимальному уменьшению стоимости электроники конкретного калориметра, но и к некоторой унификации электроники для всех калориметров. Учитывая вышесказанное, наилучшим представляется **Вариант 4.** Этот вариант подходит не только для LXe-калориметра, но и для амплитудных каналов BGO-калориметра, и для координатной части Z-камеры.

По **Варианту 4,** электроника координатной части LXe-калориметра устроена следующим образом (рис.5). Сигнал каждого канала усиливается ЗЧУ и поступает на формирователь (типа RC-CR), а затем на УВХ. Скорее всего, УВХ будет совмещено с интегрирующей частью формирователя. Выходы 16 каналов сводятся на мультиплексор 1-в-16, выход которого подключен к АЦП. Выходная информация с АЦП в последовательном коде выдаётся в кабель. Всё это будет располагаться на 132 платах, на каждой из которых будет расположено по 16 каналов, мультиплексор, АЦП, а также чип, управляющий УВХ и мультиплексором. Таким образом, сигналы 2112 каналов будут выведены по 132 кабелям. По таким же кабелям в платы будут поступать сигналы синхронизации, необходимые для управления работой УВХ и мультиплексоров (итого - не более чем по 2 кабеля с платы).

Выходные кабели будут сходиться в Блоки приёма-передачи данных (БППД). БППД выполнен в виде платы, вставляемой в шину PCI обычной PC. Каждый БППД будет иметь 16 входов (это ограничено количеством данных, которые можно реально пропихнуть по шине PCI - подробности см. В проекте системы DAQ). Таким образом, каждый БППД обслуживает 256 каналов, и для всего LXe нужно будет $8^1/_4$, т.е. не больше 9 блоков.

Для BGO-калориметра может оказаться оптимальным "промежуточный" вариант: новые предусилители **должны** быть по входу оптимизированы под новые фотоприёмники, а по выходу **могут быть** согласованы с существующими формирователями. Прямо к выходным разъёмам формирователей пристыковывать платки с УВХ, мультиплексорами и АЦП, сделанные аналогично электронике LXe. Полученные таким образом 48 кабелей пойдут в 3 Блока приёма-передачи данных.

5. Мы выбираем для Дрейфовой Камеры...

Число провлолчек в ДК ~1200 ; с каждой из них снимается по 2 сигнала (~2400 сигналов), а померить требуется 2 амплитуды и время (3600 величин). Таким образом получается, что число измерительных каналов, необходимых для ДК, наибольшее. При проектировании её (ДК) электроники очень важно сократить количество кабельных трасс и оцифровывающей электроники. Вторым фактором, который необходимо принимать в расчёт, является возможность унификации электроники ДК с электроникой других систем. Такая унификация возможна на этапах оцифровки и считывания данных.

См. монографию А.Рубана о вариантах построения электроники ДК (dc_var.doc)

6. Мы выбрали структуру канала ДК !

Для начала, обозрим параметры предлагаемых вариантов построения оцифровывающей электроники ДК.

Вариант		$K_{мультиплекс-я}$ N кабелей	Оцифровка	Добавочная стоимость комплектовки
0. То, что есть сейчас		NO 2560 an	300 платы T2A	
1. (T2A→6t)→TDC		1•3→1, 1280 dig	14 блоков MHiTDC	106,000 $ только VME
2. (T2A→3U)→ADC		12•3→1, 104 dig	104 бл. БОС_ДК+7БППД	33,000 $ + ~1500 $

Сразу же после рассмотрения всё становится ясно.

7. Мы выбираем для Системы Сбора Данных...

Требования по производительности : Предполагаемое число каналов информации (аналоговые сигналы) в детекторе КМД-2М будет около 10 тысяч. Сигнал в каждом из этих каналов должен быть оцифрован с точностью 10..12 разрядов. В "хорошем" событии (в котором невелико число каналов, сработавших от фона и помех) бывает не более 10% "сработавших" каналов, несущих полезную ненулевую информацию. Таким образом, объём полезной информации, относящейся к одному событию, получается ~1К слов, каждое из которых должно включать в себя адрес канала и данные с него. С учётом требуемого адресного пространства (не менее 13 бит) и разрядности данных (12 бит), разумно использовать стандартный размер слова 32 разряда.

Ожидаемая средняя частота срабатывания первичного триггера (ПТ) ~1 КГц (см. раздел "Триггер"). Соответственно, система сбора данных (ССД) должна обеспечивать среднюю скорость считывания данных 4 МБ/сек. В то же время при указанной частоте срабатывания ПТ мёртвое время системы должно быть не более 10%, поэтому длительность оцифровки сигналов и передачи данных от АЦП в буферную память должно быть не более 100 мкс.

Функциональная схема предложенной ССД приведена на рис.6 .

Электронный тракт каждой системы начинается с устройств, подготавливающих сигналы этой системы к оцифровке и, если нужно, к использованию в триггере (усилители, формирователи, дискриминаторы). Основной особенностью новой электроники является то, что сигналы всех систем преобразуются в одинаковую форму (напряжение), после чего через однотипные мультиплексоры подаются на однотипные АЦП. Оцифровка сигналов будет производиться с помощью АЦП

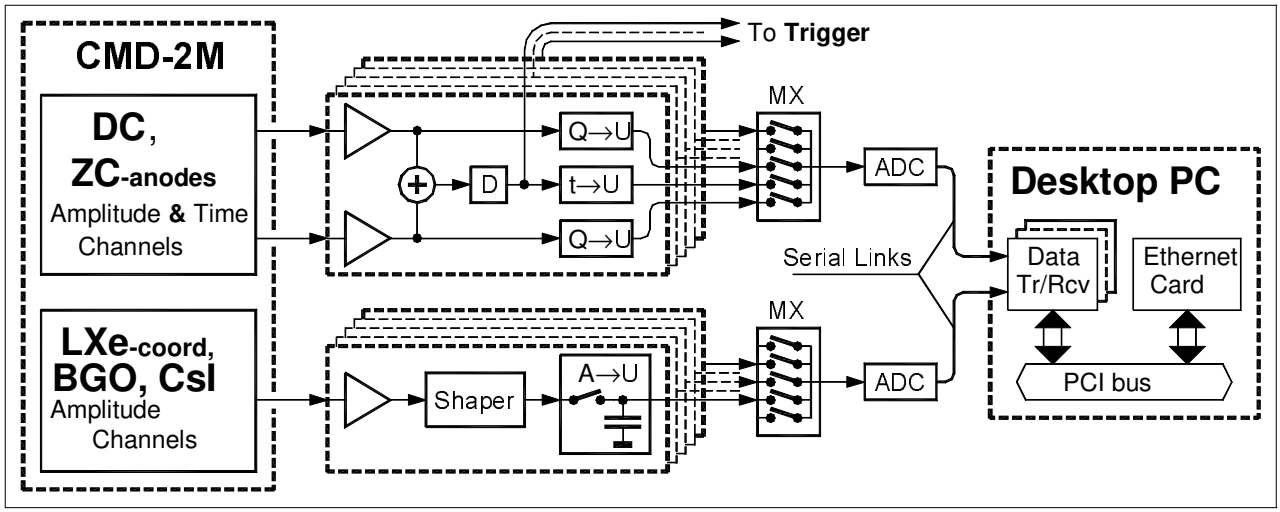

Рис.6 Функциональная схема ССД.

последовательного приближения, выдающих результат в последовательном коде по мере процесса преобразования. Цифровой выходной сигнал с каждого АЦП сразу же передаётся по последовательной связи в Блок приёма/передачи данных, в котором имеется буферное ОЗУ. Таким образом, процессы аналого-цифрового преобразования и передачи данных от АЦП в буферную память совмещены во времени. Если применить сравнительно дешёвые АЦП, имеющие скорость преобразования 1 MSps, то одним АЦП можно оцифровать, например, до 48 каналов, и останется запас ~2 по мёртвому времени. Блоки приёма/передачи данных (БППД) будут выполнены в виде плат, вставляемых в шину PCI стандартной PC. Скорость передачи данных по шине PCI при блочной передаче составляет порядка 100 МБ/сек, что заведомо удовлетворяет требованию по скорости.

8. ЧТО нужно разработать.

Необходимыми частями новой электроники являются узел АЦП с мультиплексором на входе и Блок приёма/передачи данных. Чтобы максимально унифицировать аппаратуру оцифровки и сбора данных, желательно разработать блоки преобразования сигналов в напряжение для всех систем детектора. Однако, поскольку силы разработчиков ограничены, эту работу придётся делать в несколько стадий. Жидкоксеноновый калориметр является совершенно новой системой, а дрейфовая камера подверглась наиболее сильной модернизации по сравнению с детектором КМД-2. С точки зрения трудозатрат, необходимых для запуска детектора в работу, наиболее рационально в первую очередь разработать полные комплекты новой электроники для этих двух систем. В составе электроники остальных систем детектора могут быть использованы уже имеющиеся блоки. Состав первой очереди электроники детектора КМД-2М представлен в виде следующей таблицы.

Вариант с минимальными **начальными** трудозатратами команды КМД-2.

Система	Состав аппаратуры **Новые разработки**	Расположение и объём аппаратуры	Нормо-часы	Стоимость комплектовки
1. DC	ПУ, **Блоки Преобр-я и Оцифр.**	2 кр. CAMAC на дет. 6 кр. "Big-CAMAC"	2400 4800	4800$ 40000$
2. ZC	ПУ ЗЧУ Оцифровка	2 бл. 16 бл. } 2кр. CAMAC на дет. 2 кр. "КЛЮКВА"	120 960 восст-е	240$ 2300$
3. LXe	**ЗЧУ+Дискр.** **ЗЧУ+Преобр-е и Оцифр.** Оцифровка башен	На LXe (44 платы) На LXe (132 платы) 1 кр. "КЛЮКВА"	880 3900 восст-е	есть 6000$
4. CSI	**ЗЧУ** **УФ32** и **Триггер** Оцифровка	На CsI 4 кр. "Big-CAMAC" 3 кр. "КЛЮКВА"	2300 6000 восст-е	5000$ 9600$
5. BGO	**ЗЧУ** УФ-30 (или **УФ32**) и Триггер Оцифровка	Внутри 2 кр. "Big-CAMAC" 2 кр. "КЛЮКВА"	1400 0 (3600) восст-е	3200$ 0 (5600$)
6. DAQ	**Блоки ППД**	12 бл. PCI в 3 PC-корпусах	720	1600$
6. Trigger	**Всё**	1 кр. "CAMAC"	~1000	~1000$

7. Как нам обустроить электронику КМД-v2.xx в целом.

Очевидно, что разработать всю электронику в соответствии с вышесделанными выборами, красиво и элегантно сразу не удастся - не хватает рабочей силы разработчиков. Поэтому первая очередь электроники детектора - КМД-v2.01 - будет адаптирована так, чтобы в значительной степени использовать имеющуюся аппаратуру (там, где это позволяет снизить трудозатраты всё тех же разработчиков, когда они используются в качестве запускальщиков и эксплуатационщиков). Блок-схема первой очереди электроники изображена на рис.6 .

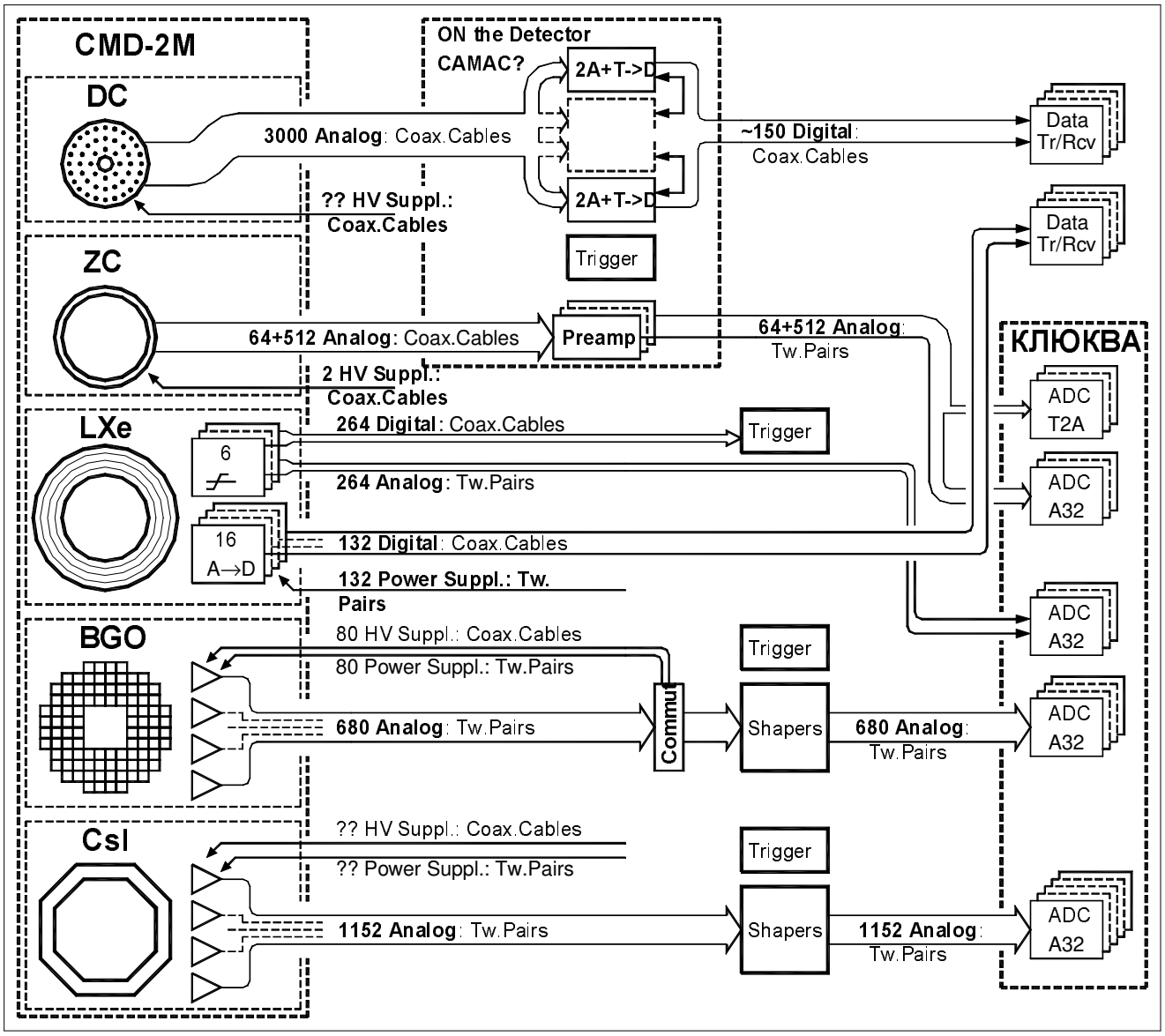

Рис.6 Структура электроники КМД-v2.01

8. Ударим мультиплексированием и унификацией по трудоёмкости разработки !