

СЗУУ.15

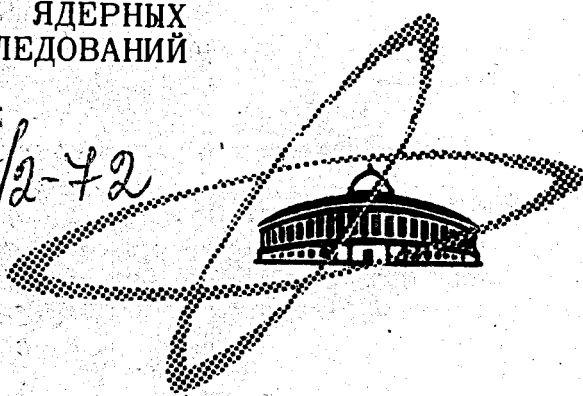
7-86

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 6380

2378/2-72



М.Турала

ЭЛЕКТРОНИКА
ДЛЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР
(Обзор)

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1972

re - 2
1972

С 344.15
Т. - 86

P13 - 6380

2378/e-72

М.Турала

ЭЛЕКТРОНИКА
ДЛЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР
(Обзор)

Б-ка ОИИИ.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Введение

Развитие методики "пропорциональных камер" начинается с 1968 г., когда Ж. Шарпаком /1/, И. Фишером /2/ и В.Г. Зиновым /3/ было доказано, что набор проволок, расположенных на близком расстоянии друг от друга, может работать как годоскоп из ряда независимых пропорциональных счетчиков.

Одновременно стало очевидным, что использование всех возможностей пропорциональных камер и их широкое применение жестко связаны с развитием и стоимостью электроники, особенно быстрых интегральных схем.

В настоящий момент над развитием пропорциональных камер и соответствующей электроники работают во многих лабораториях мира. Пропорциональная камера является очень перспективным детектором /4,5/, обладающим отличным временным и пространственным разрешением при сравнительно простой конструкции и приемлемой стоимости.

Кроме методических исследований, в течение последних лет было проведено несколько экспериментов с применением пропорциональных камер, были получены первые физические результаты /6,7/.

1. Образование импульса в пропорциональной камере

Принцип действия пропорциональной камеры, развитие электрического импульса, влияние разных газовых смесей и конструкции на параметры очень хорошо описаны в обзоре Шарпака /8/.

Пропорциональную камеру можно схематически изобразить как ряд параллельных проволок на равном расстоянии между двумя плоскими электродами.

На небольшом расстоянии от проволоки электрическое поле меняется как $1/r$, независимо от направления. В этом районе, порядка диаметра проволоки, возникает газовое усиление (рис. 1).

Электрический сигнал, возникающий на проволоке, связан с индукцией заряда $Q(t)$ под действием положительных ионов, движущихся во внешнем электрическом поле вблизи проволоки. Импульс тока $i(t)$, который генерирует заряд $N e$, передвигающийся от проволоки, можно подсчитать по приближенной формуле /8/

$$i(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{q N e}{V_0} \frac{t_0}{t + t_0}, \quad (1)$$

справедливой для времен порядка микросекунды, где

$$q = \frac{V_0}{2[\pi L / s - \ln(\pi d / s)]}$$

$$t_0 = \frac{s^2}{2q\pi^2 w} \ln \cosh \frac{\pi d}{s}$$

V_0 - напряжение питания камеры, w - подвижность ионов, s - расстояние между проволоками, d - диаметр проволоки, L - расстояние проволок от внешних электродов.

Форма импульса напряжения на проволоке зависит от ее емкости и разрядного сопротивления. Описывает ее формула /9/:

$$u(t) = \frac{q N e}{V_0 C} e^{-(t+t_0)/RC} \left\{ \log \left(1 + \frac{t}{t_0} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n n!} \left(\frac{t_0}{RC} \right)^n \left[\left(1 + \frac{t}{t_0} \right)^n - 1 \right] \right\}. \quad (2)$$

На рис. 2 изображена форма импульса тока и напряжения, определенная по формулам (1) и (2).

На самом деле процесс образования импульса является более сложным и при протяженном треке равен сумме сигналов от отдельных проволок /9/.

Из рис. 2 видно, что передний фронт импульса крутой и равен $(5 + 10) \times t_0$, что для типичной камеры ($s = 2$ мм, $d = 0,02$ мм, $L = 8$ мм, $V_0 = 3$ кв, w (аргон) = $1,3$ см сек $^{-1}$. в.см $^{-1}$, $t_0 = 1,8$ нсек: /8/) дает $(10 + 20)$ нсек.

Амплитуда импульса пропорциональна количеству образованного в лавине заряда Ne , которое, в свою очередь, зависит от количества первичных пар и газового усиления A . Величина ионизационных потерь в аргоне равна около 1 кэв/см, при затрате 25 эв на образование одной пары ионов возникает 40 пар/см.

Коэффициент газового усиления при устойчивом режиме работы камеры достигает $10^5 + 10^6$. Ограничение возникает из-за положительного пространственного заряда вокруг проволоки. Применяя специальные добавки (фреон), можно добиться усиления порядка 10^8 /8/, но такой режим работы еще недостаточно исследован и не очень стабилен.

Факт, что сигнал возникает вследствие продвижения положительных ионов, приводит к тому, что на окружающих проволоках и электродах образуются положительные сигналы.

Однако в некоторых случаях при небольшой паразитной емкости проволоки и большом основном сигнале на соседней проволоке наблюдается импульс с коротким отрицательным выбросом, являющийся суммой отрицательного емкостного "пролаза" и возбуждаемого положительного заряда. Избавиться от него можно увеличивая емкости проволок /10/.

Типичные импульсы показаны на рис. 3.

2. Требования к регистрирующей электронике

Из амплитудного спектра для релятивистских частиц /1/ видно, что для получения эффективности регистрации, близкой к 100%, нужно иметь электронику с порогом, соответствующим ионизационным потерям около 100 эв, что эквивалентно нескольким парам ионов.

Амплитуду импульса, образованного от одного электрона, можно грубо оценить, исходя из формулы (2), которая для типичных величин

$RC = (10 + 30) t_0$ дает:

$$U_{\text{макс.}} \approx \frac{q N e}{V_0 C} = \frac{A e}{2[(\pi L / s - \ln(\pi d / s))] C}$$

В случае типичной камеры ($A_{\text{макс.}} = 10^6$, $L = 8$ мм, $s = 2$ мм, $d = 0,02$ мм, $C = 10^{-11}$ ф) получается для одного первичного электрона

$$U_{\text{макс.}} \approx 1 \text{ мв.}$$

Видно, что для получения плато в несколько сот вольт, что соответствует изменениям газового усиления примерно в 10 раз, схема регистрации должна иметь порог около 0,1 мв.

Значения неэффективности камеры в зависимости от порога регистрации указаны в таблице /8/:

Порог регистрации для числа пар ионов	1	8	10	15	18	28
Неэффективность регистрации для 2 мм аргона $\times 10^{-3}$	3	3	8	36	17	63

Из-за большого амплитудного разброса сигналов возникает вопрос об их пролезании на соседние каналы: подавление по соседнему каналу должно быть ≥ 100 .

Схема регистрации должна срабатывать только от отрицательных сигналов, возникающих в камере, положительные импульсы до $(0,5 - 1)$ в должны быть отброшены.

После эффективности вторым важным параметром пропорциональной камеры является ее разрешающее время. Временное распределение сигналов с проволоки относительно момента прохождения частицы показано схематически на рис. 4 /8/.

Из рисунка видна зависимость времени образования импульса от места происхождения первичных электронов. Длинный хвост связан с возникновением электронов вне чувствительного района исследуемой проволоки и не вносит вклада в неэффективность камеры. Для получения хорошей эффективности нужно регистрировать сигналы в области **A** и **B** (рис. 4), импульсы, соответствующие зоне **C**, надо исключать для уменьшения двойных срабатываний - в итоге находится ширина ворот для пропускания полезной информации.

Временное разрешение камеры слабо зависит от напряжения и типа газовой смеси, заполняющей камеру, и в основном является функцией расстояния проволок. Можно указать минимальную оптимальную ширину ворот для эффективности регистрации, близкой к 100% /8/: 18 нсек для $s = 1,2$ мм, 24 нсек для $s = 2$ мм и 36 нсек для $s = 3$ мм.

В некоторых случаях интерес представляют положительные сигналы, образованные на высоковольтном электроде. Их амплитудный спектр является таким же, как для сигналов с проволок, но меньшим по абсолютной величине. Во временном спектре этих сигналов не наблюдается хвоста из-за эффекта суммирования импульсов от всех проволок.

Хотя пропорциональные камеры в основном нашли применение как детекторы координат и количества проходящих частиц и в принципе не требуется их работа в пропорциональном режиме, тем не менее иногда представляет интерес именно этот режим. Амплитудное разрешение для медленных частиц равно около 10%, что не вызывает особых требований к регистрирующей электронике.

3. Способы считывания информации с пропорциональных камер

Самым очевидным способом регистрации данных с пропорциональной камеры является применение для каждой проволоки отдельной схемы, которая выделяет полезный сигнал и запоминает его. Такое решение имеет ряд преимуществ и применяется чаще всего в экспериментальных установках /6,7,11,12,13,25,26,39,41/. Способ этот простой и дает возможность полностью использовать все свойства пропорциональной камеры, однако его отрицательной стороной является сравнительно высокая стоимость, что особенно существенно для систем, содержащих много проволок. Тем не менее регистрирующая электроника развивается главным образом в этом направлении.

Из других методов надо перечислить следующие:

а) Проволоки камеры объединяются в систему электромагнитной линии задержки /14/ (рис. 5а), причем между отдельными проволоками можно получить задержку в несколько нсек. Измеряя время прихода сигналов t_A и t_B на обоих концах камеры, можно определить проволоку, которая сработала.

б) Применяется искусственная линия задержки, лежащая на проволоках /6/ (рис. 5б): сигналы проходят на линию за счет емкостных связей. Координаты определяются изменением задержки t_A и t_B между моментом срабатывания камеры (используется сигнал с высоковольтного электрода) и приходом сигнала на конец линии.

в) Используется разделение сигнала аттенюатором, образованным путем намотки камеры одной проволокой с сопротивлением порядка килоом /3/ (рис. 5в) или соединением проволок небольшими сопротивлениями /14/ (рис. 5г). Измеряя соотношение амплитуд импульсов A и B на обоих концах делителя, можно определить место образования сигнала независимо от его амплитуды.

г) Кодирование положения данной проволоки с использованием матрицы трансформаторов /14/ или усилителей с небольшим входным сопротивлением /15/ для проволок одного или больше электродов. Практическое применение нашли методы б) /19,20/ и в) /17,18/, развиваемые в основном самими авторами. Главным недостатком этих способов является

ограничение скорости срабатывания (в), регистрация только одной частицы (с), ограничение пространственной разрешающей способности для двух частиц (в), трудности в управлении регистрацией (в).

4. Электронные схемы для отдельной проволоки

Задачей электроники, подключенной к проволоке, является усиление сигнала до величины порога регистрации, обеспечение совпадений с импульсом ворот, запись информации в запоминающей ячейке и ее считывание, выдача некоторых логических сигналов для других схем.

На рис. 6 приведена функциональная схема одного канала и соответствующие временные диаграммы.

На рис. 7,8,9 и 10 в качестве примера показаны схемы и образцы плат, разработанных в **CERN** /22/ и **SLAC** /24/. Каждая плата содержит электронику для четырех проволок, так что при высоте монтажа не больше 8 мм можно их удобно монтировать прямо на камере с шагом 1 или 2 мм. Эти схемы, как и большинство других конструкций /21,23, 25,26/, построены на интегральных модулях типа **MECL II (Motorola)**, быстродействие которых достаточно высоко и не ограничивает хороших временных свойств камеры.

Входные усилители-дискриминаторы построены на модулях типа **MC 1035** (рис. 7) или **MC 1020** (рис. 8), принципиальные схемы которых даны на рис. 11 /27/. Дифференциальная пара имеет усиление порядка $6 + 7$ и полосу пропускания $(40 + 70)$ МГц. Эти модули применяются во входных цепях почти всех других разработок.

Входное сопротивление (нагрузка проволоки) выбирается исходя из компромисса между величиной сигнала на входе (влияет на ширину плато) и длительностью его спада (влияет на мертвое время), обычно оно равно $(1+2)$ ком. Для защиты усилителя в случае искры в камере на входе помещают диодную цепочку.

Формирование сигнала происходит на одновибраторе, порог которого подбирается таким образом, чтобы чувствительность по входу составляла $(0,2 + 1)$ мв.

Схема усилителя-формирователя должна обладать тоже свойством подавления положительных сигналов. Для этого либо используется связь по постоянному току (рис. 9), либо при запуске одновибратора через дифференцирующую цепочку ограничивается положительный импульс (рис. 7).

Иногда для того, чтобы сэкономить место, на камере помещают только усилитель, а дискриминатор выносится в отдельном блоке на небольшое расстояние и соединяется кабелем /10,30/.

Одной из основных проблем электроники для пропорциональных камер является необходимость задержки сигнала с камеры для получения совпадений с импульсом ворот (надо компенсировать задержку ФЭУ, наносекундной электроники и время пролета частицы). Величина этой задержки равна в большинстве случаев 200 ± 500 нсек. Если система содержит немного проволочек, как задержку можно использовать высокочастотные кабели /12,23,38/, но по мере увеличения числа каналов количество кабеля и его стоимость становятся неприемлемыми.

Значительный выигрыш дает применение плоского многожильного кабеля (несколько десятков жил) небольшой стоимости /26/. Две сигнальные жилы находятся между земляными, что создает линию с довольно хорошими параметрами. Пролозы на одну сигнальную проволоку, даже при всех остальных сработавших, не превышают 5%.

Оригинальным решением является применение как задержки регистра сдвига, в котором информация перемещается на одну позицию со скоростью $1/f$ (где f - частота генератора) /37/.

Однако в большинстве новых разработок как элемент задержки применяется одновибратор (рис. 7,9). Требования к такой схеме очень высокие: одинаковая задержка для всех каналов с точностью нескольких процентов, высокая стабильность, возможность регулировки длительности в пределах ± 50 нсек. В используемых схемах задержку приходится подбирать в процессе настройки, регулировать ее можно напряжением с точностью $(1 \pm 2)\%$ /22/; ее температурная стабильность равна около $0,15\%^\circ\text{C}$ /21,24/.

В дальнейшем требования являются сравнительно простыми. Задержанный сигнал проходит через ворота и запоминается триггером. Считывание происходит через выходные ворота.

В случае использования пропорциональной камеры для запуска всей установки с платы выводятся также быстрые логические сигналы без задержки /24,26/. Для некоторых целей интерес представляет схема без задержки в каждом канале. Здесь сигналы проходят через открытые ворота, которые после этого закрываются на время, требуемое для выработки решения /31/. Однако недостатком этой схемы является то, что от одной сработавшей проволоки блокируются все каналы, а не один, как в обычном варианте.

Стоимость схем для одной проволоки пропорциональной камеры равна 10 - 20 долларам /8,26,28,29/.

5. Специальные интегральные схемы для пропорциональных камер

Вопрос создания специальных интегральных схем, содержащих все электронные схемы для одной или нескольких проволок, обсуждался в европейских и американских лабораториях в течение последних 2 - 3 лет, и только необходимость большого первоначального вклада на разработку микросхемы задерживала решение этой проблемы /8,30/.

В настоящее время в Европе (**CERN**) и США (**SLAC** и другие лаборатории) имеются первые образцы гибридных модулей и ожидается их выпуск в 1972 г. в большом количестве /32,33,34,35/. Стоимость разработки гибридной схемы оказалась не очень большой (4 + 5 тысяч долларов), а ожидаемая цена одного канала должна быть в пределах 3 + 8 долларов для партии 50 тысяч штук /33,35/. Дальнейший этап - это получение монолитной схемы, но финансовые затраты при этом будут значительно больше.

По своей логике интегральная схема является почти точной копией электроники, построенной на отдельных модулях (рис. 12). Во многих случаях подготовка к изготовлению схемы ведется при моделировании всего тракта на отдельных модулях, причем параметры макета совпадают с параметрами гибридной схемы /32/.

Большинство решений идет по пути "горизонтальной" интеграции (все схемы для канала в одной упаковке), хотя допускается и "вертикальная" (отдельно усилители, отдельно логика).

Требования к схемам, которые можно принять как общие, показаны в таблице и на рис. 13 /35/. В них были внесены некоторые изменения и дополнения, повышены чувствительность до 1 мв (что соответствует работе камеры, наполненной $Ar + Co_2$), а также нечувствительность - к положительным сигналам и отрицательным по соседнему каналу до 500 мв.

В основном разработки ведут две фирмы: *Fairchild* и *Texas Instr.*, заинтересовано и несколько других /35/. Схемы базируются на логике TTL, которая оказывается в 2 + 3 раза дешевле ECL. Фирма *Fairchild* помещает электронику для четырех каналов в двух модулях размером 0,9 x 1,44 дюйма, *Texas Instr.* - в одном (1 x 2 дюйма).

Логические схемы модулей, предлагаемые этими фирмами, показаны на рис. 14, 15, 16, причем они не являются окончательными, поскольку образцы проходят испытания и с учетом результатов испытаний изготавливаются новые варианты.

Предлагается исследовать следующие характеристики образцов /35/:

- а) порог от ширины входного импульса;
- б) задержку быстрого выхода от амплитуды входного импульса;
- в) изменения задержки относительно питания, температуры и частоты;
- г) кривую совпадения для минимальной ширины ворот;
- д) пролазы для импульсов в 100 раз больше порога;
- ж) работу в магнитном поле до 20 кгс;
- з) работу с камерой (разрешающее время для смеси $Ar + CO_2$).

Оказывается, что основную трудность представляет усилитель-формирователь с порогом 1 мв. Последний вариант входной схемы, изготовленной фирмой *Fairchild* на основе микросхемы $\mu 760$, работает стабильно от 0,1 мв с подавлением положительных сигналов до 3в /35/. Входная часть образца *Texas Instr.* показывает результаты немного хуже.

Одновибраторы, применяемые как задержка, обладают удовлетворительными характеристиками /33/.

На рис. 17 представлена схема гибридного модуля, изготовленного в *CERN* на основе логики *MECL* /32/. Порог чувствительности равен

2,8 мв, быстродействие очень высокое. Схема была испытана от генератора и с пропорциональной камерой и показывает хорошие результаты.

При плотной упаковке быстрых схем возникает вопрос о рассеиваемой мощности и питании. Получаемые величины достигают 400вт/1000 проволочек, и для того, чтобы аппаратура могла работать без дополнительного обдува, требуется изменение в схемах с целью уменьшения потерь /35/.

Надо напомнить также о возможности применения больших интегральных схем на десятки или сотни каналов, изготовленных на основе технологии MOS /36/. В настоящий момент существуют уже промышленные схемы, которые можно адаптировать для детекторов ядерных частиц. Схемы являются не очень быстрыми, но ожидаемая их стоимость всего 0,3 доллара на канал.

6. Передача данных на ЭВМ

Для некоторых простых задач (типа измерений профиля пучка) информация с пропорциональных камер может быть зарегистрирована с помощью пересчетных схем /11/, либо анализатора (координата преобразуется в напряжение) /12/. Однако в большинстве случаев данные передаются на ЭВМ.

В небольших системах, с количеством проволочек порядка ста, когда регистрирующая электроника находится в одном месте, и в случае регистрации небольшого количества событий в секунду, проблема передачи данных на ЭВМ является простой, поскольку не требует большого времени и объема памяти. На машину можно передавать информацию со всех проволочек, сканируя их в группах, соответствующих длине машинного слова /38/.

В общем решении по созданию электроники связи с ЭВМ идут в направлении получения максимальной скорости передачи и плотности упаковки данных.

В большинстве установок имеется один центральный блок управления, с которого выдаются сканирующие сигналы и в котором происходит проверка содержания входящих данных, их кодировка и передача на ЭВМ /22,23,26,39/. Такое решение является естественным, если схемы запоминания находятся в одном месте /23,26/, но если они расположены

прямо на камерах, более быстрым является способ с передачей в центральную логику уже отобранной, только полезной информации. Этот вариант требует специальных схем для каждой камеры, однако его надо иметь в виду, особенно при создании установок с большим количеством камер, расположенных на больших расстояниях, учитывая факт, что интегральная электроника будет находиться прямо на камерах. Типичную организацию системы пропорциональных камер на линии с ЭВМ демонстрирует рис.18, а соответствующую блок-схему электроники считывания - рис. 19 /39/. Связь с ЭВМ осуществляется по каналу прямого доступа в память (DMA). Регистрация данных проходит синхронно с ускорителем, ею можно управлять вручную или через программу.

Данные с пропорциональных камер считываются стробирующим сигналом (**PLANE ADDRESS**) и заносятся в регистр (32 **BIT REG.**). Разряды этого регистра проверяются по очереди на содержание (**SEARCH LOGIC**), и в случае обнаружения единицы данные кодируются (**WORD FORMAT REGISTER**) и передаются на ЭВМ - слово содержит № группы (**PLANE ADDRESS**) и № проволоки в группе. После передачи всех данных из регистра (теоретически возможны 32 разряда) в него заносятся следующие группы проволок и весь процесс повторяется.

Когда вся информация находится в ЭВМ, запоминающие триггеры на камерах "обнуляются" (**RESET**) - и система готова принять следующие события.

Для уменьшения потерь полезных событий из-за мертвого времени системы регистрации иногда строятся буфера, в которые записываются быстро очередные события и с которых производится передача данных на ЭВМ, - такое решение дает выигрыш особенно в случае интенсивного и короткого сброса ускорителя (**SLAC**) /23,26/.

В настоящий момент существует несколько установок, в которых регистрация и передача данных на ЭВМ происходит в стандарте **SAMAC** /23/. Видимо, что в будущем такое решение будет применяться только для небольших систем, однако считывание данных с электроники, находящейся на камерах, должно осуществляться с помощью специального блока **SAMAC**.

7. Решающая электроника

В установках с пропорциональными камерами, которые можно запускать несколько раз в мксек, фактором, определяющим мертвое время системы, является время передачи данных на ЭВМ. Для увеличения скорости набора статистики важным становится эффективный отбор полезных событий для записи в памяти ЭВМ. Время выработки решения выборочной электроникой не является очень существенным, но оно сказывается на скорости работы установки, и желательно свести его к минимуму.

Пропорциональные камеры применяются часто для создания выборочного запуска для других, более медленных устройств, в частности искровых камер. Это позволяет сочетать хорошие временные свойства пропорциональной камеры и пространственное разрешение искровой камеры. В этом случае время выработки решения должно быть порядка мксек.

Самым простым условием является требование срабатывания пропорциональной камеры. Это предусмотрено в большинстве схем, и быстрые или медленные логические сигналы выводятся через схемы ИЛИ /22, 24,32,35/.

Относительно простым является требование определенного количества частиц, прошедших через пропорциональную камеру. При небольшом количестве проволок можно его осуществить с помощью соответствующей логики, при больших системах используется аналоговая схема, в которой получается сумма токов со всех сработавших проволок и отбор событий производится с помощью дискриминатора /12,26,29,41/. При обычно требуемом количестве частиц 1 + 5 требования к аналоговой схеме становятся не очень высокими. Эффективность отбора ограничивается тем свойством пропорциональной камеры, что в нескольких процентах случаев возникают сигналы на двух проволоках. От этого можно избавиться, заводя соседние каналы на антисовпадения и стробируя решение с некоторой задержкой /12,29,41/; при этом, однако, может теряться и часть полезных событий.

Более сложной задачей является требование определенного угла рассеяния либо отклонения частицы. Система содержит пропорциональные

камеры для определения входной и выходной траектории частицы в одной или обеих плоскостях (рис. 20). Задача сводится к решению уравнения

$$|(X_4 - X_3) - (X_2 - X_1)| \geq \theta,$$

которое при объединении функций камеры X_2 и X_3 принимает более простой вид:

$$|X_1 - 2X_2 + X_4| \geq \theta.$$

Решение может быть выработано с помощью матрицы схем совпадений /29/, аналоговой системы /29,30,41/ или цифрового процессора /42,43/.

Первый способ является быстрым, но требует большого количества схем совпадений, особенно если углы рассеяния сравнимы с угловой дисперсией пучка. Хлопотливой становится также перестройка системы на другие углы отбора, что приходится компенсировать дополнительными схемами.

В аналоговой системе на быстрых схемах (рис. 23) /41/ решение вырабатывается за время 300 нсек - в основном это время установления переходных процессов. Для количества проволок $X_1 = 16$, $X_2 = 16$, $X_4 = 40$ точность решения составляла ± 1 проволока при условии, что одна и только одна частица в камерах (рис. 21б).

В этом методе точность быстрых аналоговых схем ограничивает возможное разрешение системы до $\pm (0,5 + 1)\%$ от общего количества каналов.

Быстрый цифровой процессор не имеет этих недостатков, но его легко построить только для уравнения с простыми коэффициентами. На рис. 22 представлена блок-схема устройства, построенного на логике TTL, которое решало уравнение /43/:

$$|2X_1 - 3X_2 + 2X_4 + K| \geq \theta.$$

Арифметические операции выполнялись параллельно-асинхронным способом - время решения составляло 0,8 мсек. В случае применения более комплексных схем, TTL или MECL..., время решения может быть значительно короче.

Литература

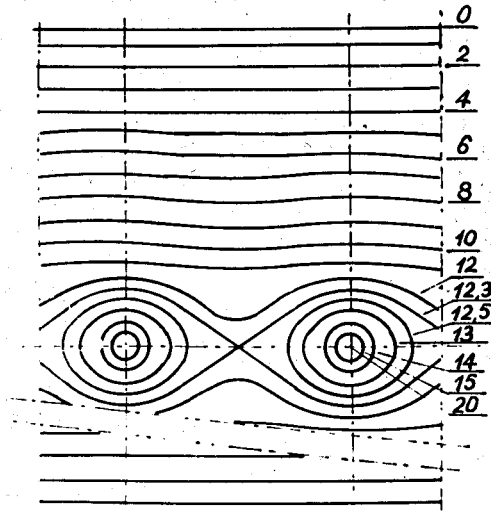
1. G.Charpak et al. The Use of Multiwire Proportional Counters to Select and Localize Charged Particles. Nucl.Instr. Meth., 62, 262 (1968).
2. J. Fisher, S. Shibata. Proportional Mode Digital Discharge Chambers. Proc.Int.Symp.Nucl.Electron., Versailles, 1968, v.3.
3. В.Г. Зинов. Авторское свидетельство № 241553, Бюлл. изобрет. № 14, 1969.
4. Б.А. Долгошеин. Тенденции в развитии трековых детекторов частиц. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, ОИЯИ, Д-5805, 852, 1970.
5. G.Charpak. Some Remarks on Instrumentation for High Energy Physics. Proc. Int.Conference on Instrumentation for High Energy Physics, Dubna, D-5805, 1970, p. 847.
6. E.Bloom et al. A Proportional Chamber System for the SLAC 20 GeV Spectrometer. SLAC - PUB - 981 (1971).
7. D.Drickey, UCLA - private communication. Multiwire Proportional Chambers in "e Experiment at 50 GeV/c.
8. G.Charpak. Evolution of the Automatic Spark Chambers. Annual Review of Nuclear Science, v. 20, 1970.
9. G.R.Ricker and J.J.Gomes. Pulse Risetime in Proportional Counters. The Rev. of Sci.Instr., v. 40, 227 (1969).
10. G.Charpak et al. Some Features of Large Multiwire Proportional Chambers. Nucl.Instr.Meth., v.97, 377 (1971).
11. G.Amato and G.Petrucci. A Beam Profile Analyzer Using "Proportional Multiwire Chamber". CERN Rep. 68-33.

12. Yu.V.Zanevsky et al. A System of Proportional Wire Chambers On-Line with Computer. Nucl.Instr.Meth., v. 94, 233 (1971).
13. C.Bemporad et al. Performance of a System of Proportional Wire Chambers. Nucl.Instr.Meth., v.80, 205 (1970).
14. R.Buclier et al. Some Read-Out Systems for Proportional Multiwire Chamber. Nucl.Instr.Meth., 62, 217 (1968).
15. G.C.Bonazzola et al. A Coding System for Multiwire Proportional Counters. Proc. Int.Conf. on Instr. for High Energy Physics, Dubna, D-5805, Dubna, p.265.
16. A.Rindi et al. Delay Line Readout for Proportional Chamber. Nucl.Instr.Meth., 77, 325 (1970).
17. R.Grove et al. Electromagnetic Delay Line for Proportional Wire Chambers. Nucl.Instr.Meth., 89, 257 (1970).
18. R.Grove et al. Phase Compensated Electromagnetic Delay Lines for Wire Chamber Readout. UCRL-20255, Preprint, 1971.
19. В.А. Бирюков и др. Определение координат частиц в пропорциональной камере. ПТЭ, №5, 65 (1971).
20. В.А. Бирюков и др. Измерение координат центра тяжести пучка заряженных частиц при помощи пропорциональной камеры. ПТЭ, №2, 36 (1971).
21. J.C.Tarle and H.Verweij. An Amplifier, Trigger and Memory for Signals from Proportional Wire Chambers. Nucl.Instr. and Meth., 78, 93 (1970).
22. G.Amato et al. Some Developments and Test Results of Multiwire Proportional Chambers (MWPC), Proc. Int.Conf.on Instr. for High Energy Phys., Dubna, D-5805, 1970, p.257.

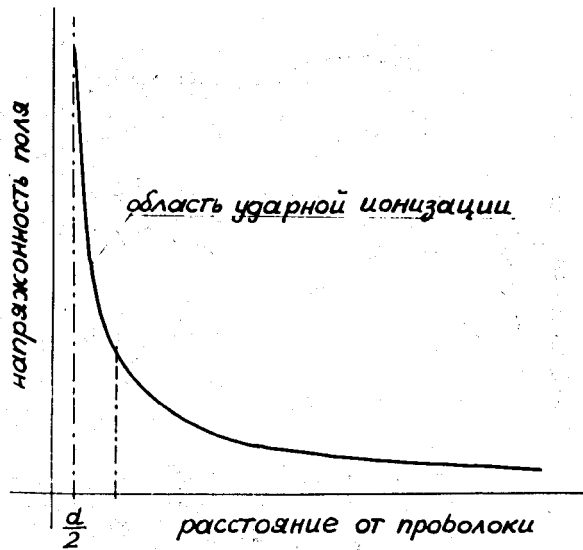
23. B.Bertolucci et al. A Proportional Wire Chamber Electronics System Utilizing CAMAC. IEEE Trans. NS-18, No. 2 (1971).
24. J.L.Pellegrin. Threshold and Delay Circuit for Proportional Wire Chamber Electronics. SLAC - TH - 70 - 22 (1970).
25. L.J.Koester et al. Measurements of Efficiency and Time Resolution of Multiwire Proportional Counters. Nucl.Instr. and Meth., 91, 211 (1971).
26. H.Cunitz et al. A 5000 Wire Proportional Chamber Readout System for a Large-Aperture Spectrometer. Nucl.Instr. and Meth., 91, 211 (1971).
27. Motorola Catalog. MC-1020, MC-1035.
28. R.Larsen. SLAC, private communication.
29. G.Amato. CERN, private communication.
30. H.Stainer. UCRL, private communication.
31. R.A.Pages. Electronic Circuit Associated to Multiwire Proportional Chambers. Nucl.Instr. and Meth., 85, 211 (1970).
32. J.C.Tarle, H.Verweij. A Circuit for Processing Signals from Multiwire Proportional Chambers Constructed in Thick Film Hybrid Form. Nucl.Instr. and Meth. (to be published).
33. J.C.Sautiard and F.Sauli. Preliminary Test of a Four-Channel TTL Hybrid Integrated Circuit for Multiwire Proportional Chambers. CERN Int.Rep., 71-2.
34. R.Larsen. Status of Inter-Laboratory Development of a Wire Chamber Integrated Circuit. SLAC - PUB - 946 (EXPl), aug. 1971.

35. R.S.Larsen. Interlaboratory Development of an Integrated Circuit for Multiwire Proportional Chambers. SLAC - PUB - 986 (EXPl), Nov. 1971.
36. H.Zaklad. Integrated Circuit Readout for Closely Spaced Wire Arrays. UCRL - 20123, Reprint, 1970.
37. E.Platner. A Synchronous Delay-Binary Search Proportional Chamber Readout System. BNL-15260 (1970).
38. Z.Guzik et al. Readout Electronic for π^- Experiment at 50 GeV, JINR, E1-5818, Dubna, 1971.
39. J.B.Lindsay et al. An Array of Multiwire Proportional Chambers for Alignment of High Energy Particle Beams. 6th Int.Symp.Nucl.Electron., Warsaw, 1971.
40. L.Hand. NAL, private communication.
41. Z.Guzik et al. The Selective Triggering System with Proportional Chambers for the Small Angle π^-p Scattering Experiment at 40 and 50 GeV. Preprint, E13-6194, Dubna, 1971.
42. L.S.Koester et al. Wire Proportional Arrays with Fast Digital Arithmetic for Decision Making. Proc.Int. Conf.Nucl.Electron., Ispra, 1969.
43. Ф.К. Алиев и др. Быстрый цифровой процессор для отбора событий рассеяния при высоких энергиях. Сообщение ОИЯИ, 13-6065, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 апреля 1972 года.



а.



б.

Рис. 1. а) Распределение электрического поля в пропорциональной камере.
 б) Напряженность электрического поля вблизи проволоки.

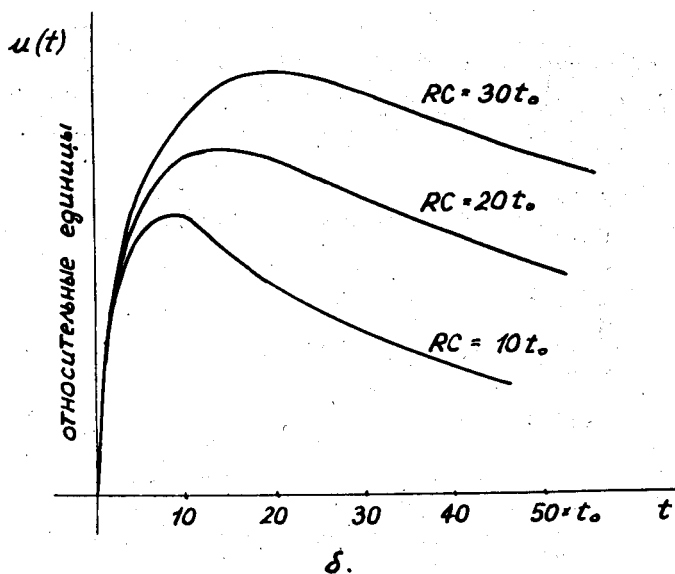
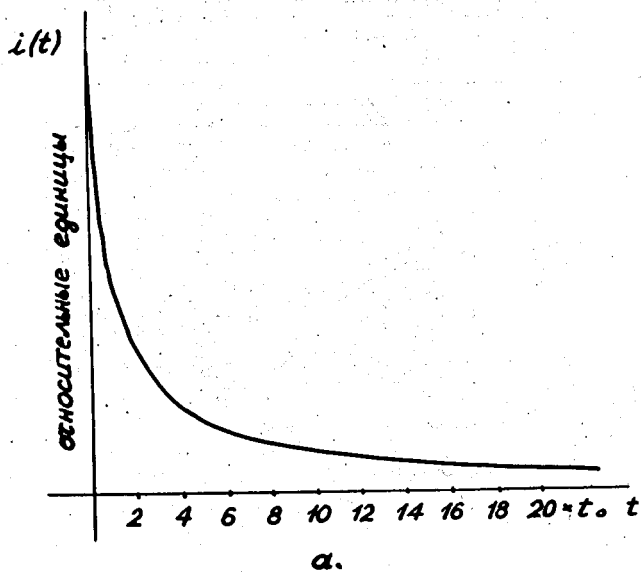


Рис. 2. а) Форма импульса тока в пропорциональной камере рассчитана по формуле (1). б) Форма импульса напряжения на активной нагрузке рассчитана по формуле (2).

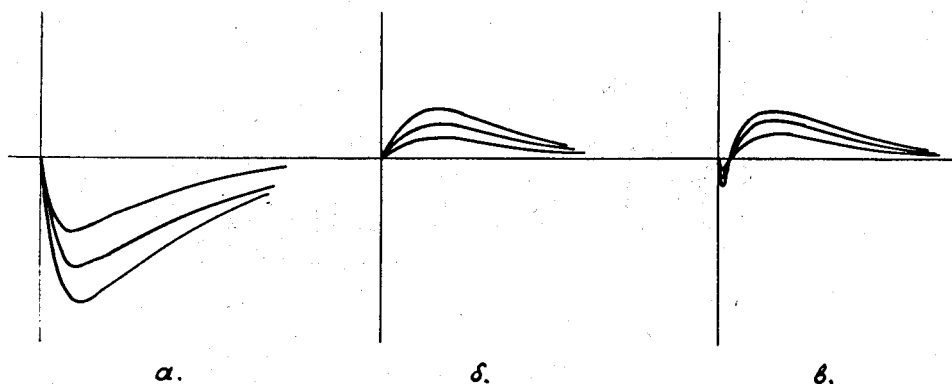


Рис. 3. Импульсы напряжения: а) на рабочей проволоке, б) на соседней проволоке в случае емкостного пролаза.

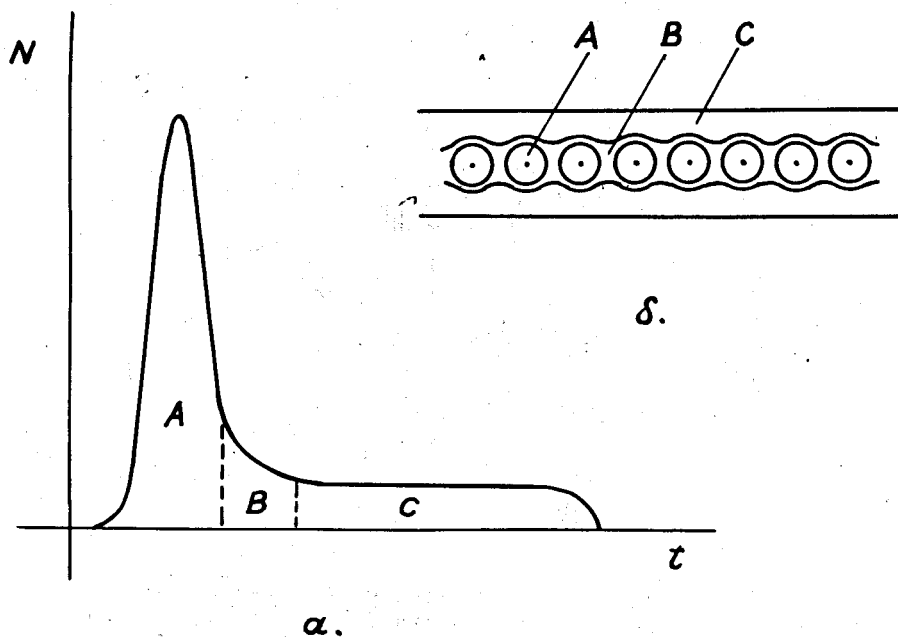


Рис. 4. а) Временное распределение сигналов с одной проволоки пропорциональной камеры относительно момента прохождения частицы. б) Зоны образования первичных электронов, дающих вклад во временное распределение.

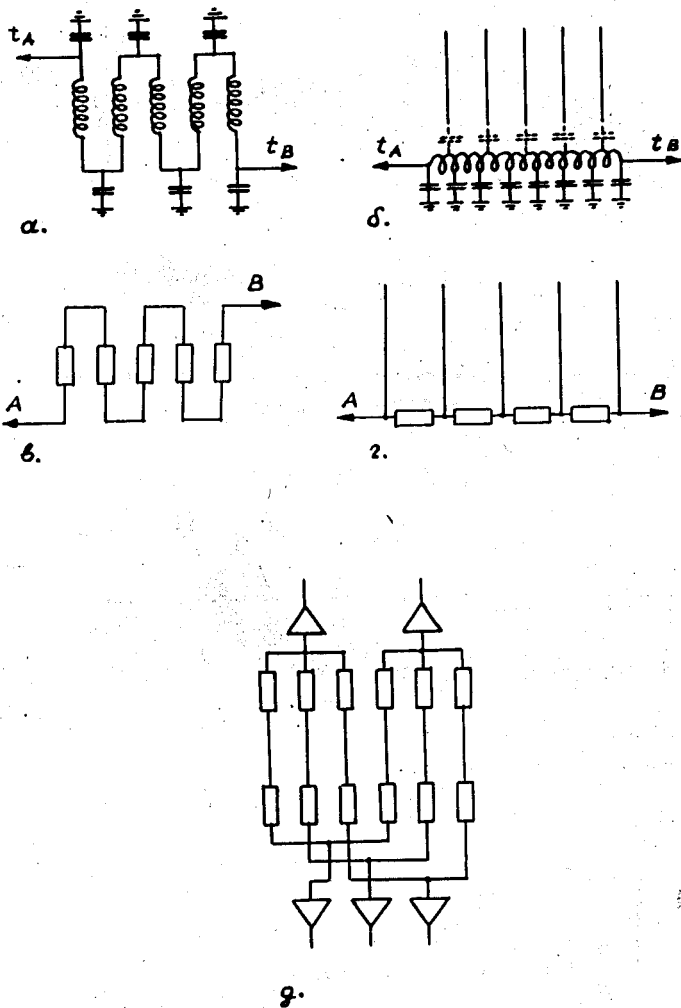


Рис. 5. Некоторые способы считывания информации с пропорциональной камеры: а) использование собственной задержки распространения сигнала вдоль проволоки, б) применение искусственной линии задержки, в) использование свойства распределения заряда обратно пропорционально длине проволоки, г) использование свойства распределения заряда в искусственном делителе, д) кодировка на усилителях тока.

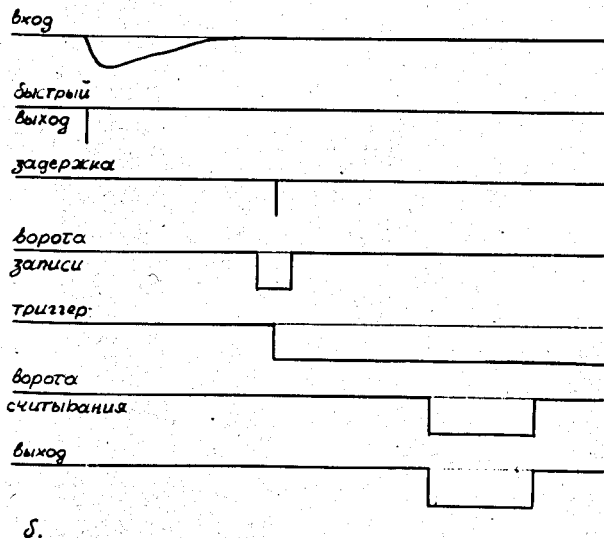
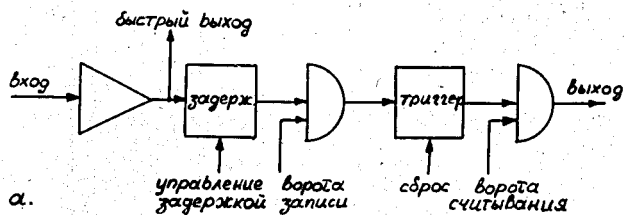
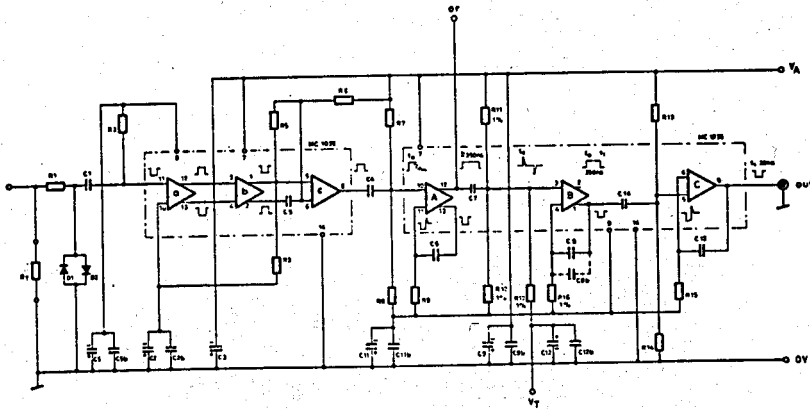
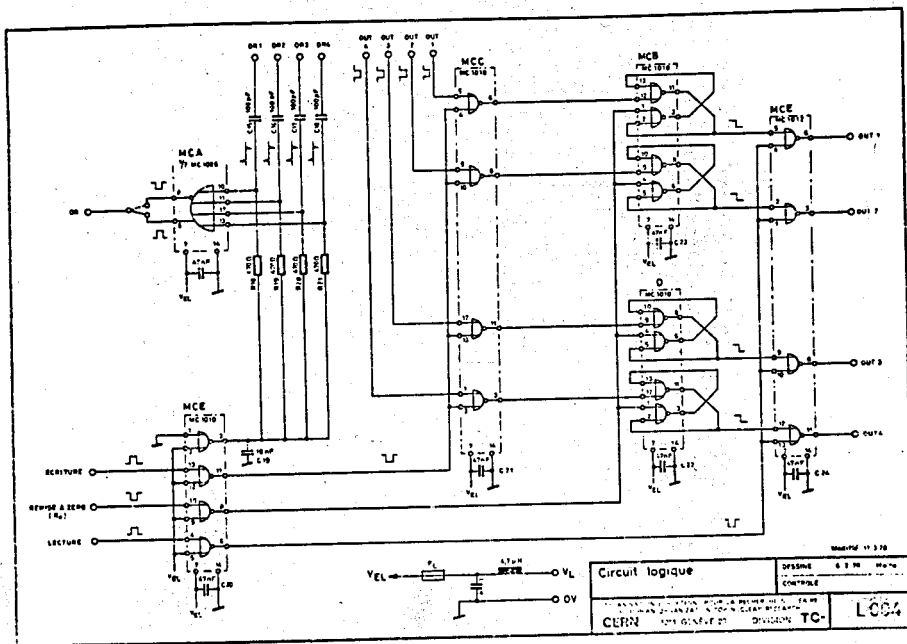


Рис. 6. Регистрирующая электроника для отдельной проволоки: а) блок-схема, б) временные диаграммы.



a)

CERN - GENEVE		ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH	Page
Doc. No.	Lab. El. Div. TC	Titre	Date: 12.1.70
Support		AMPLI.	



b)

Рис. 7. Схема для регистрации данных с пропорциональных камер, построенная в CERN /22/: а) усилитель-ограничитель, задержка и формирователь, б) логика запоминания и считывания.

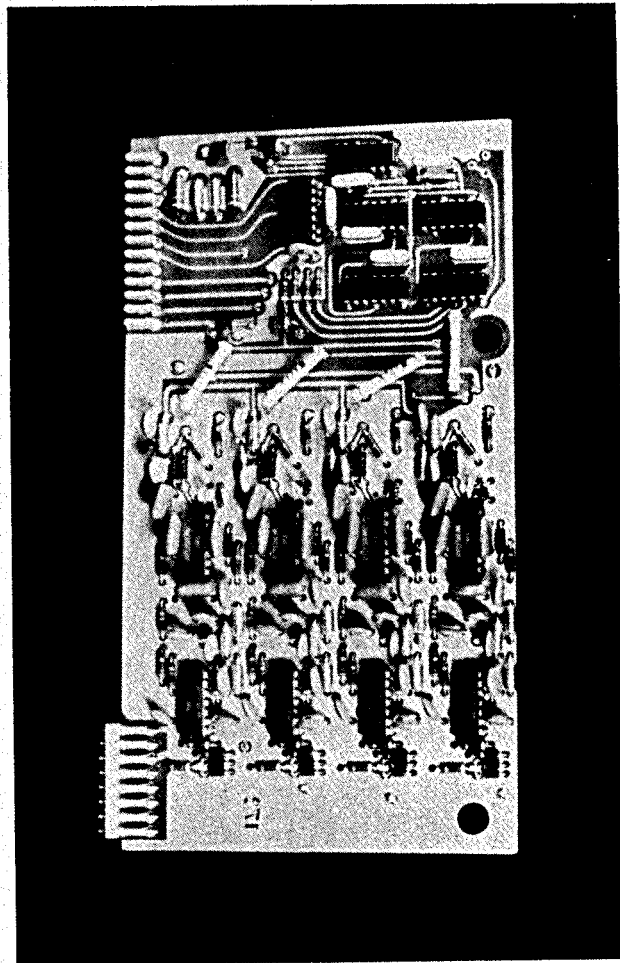
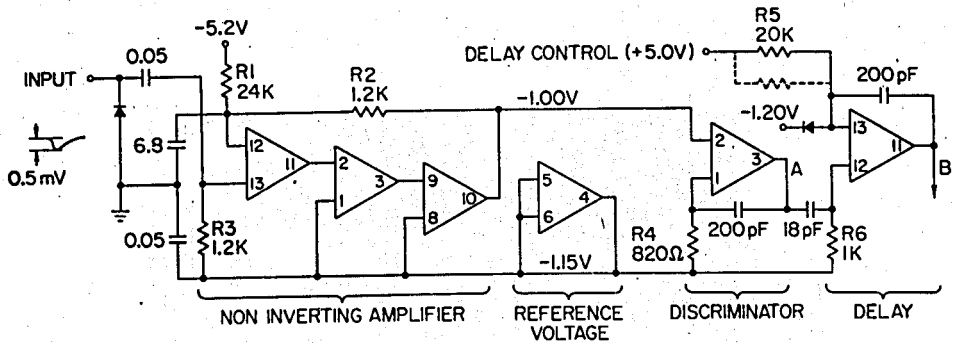
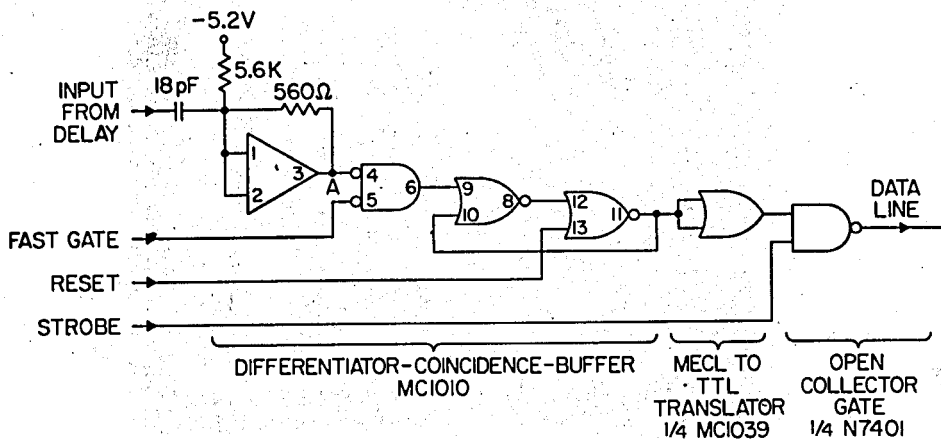


Рис. 8. Вид платы, содержащей четыре канала регистрации, изготовленной в CERN /22/.



a)



b)

Рис. 9. Схема для регистрации данных с пропорциональных камер, построенная в SLAC /24/: а) усилитель, формирователь и задержка; б) логика запоминания и считывания.

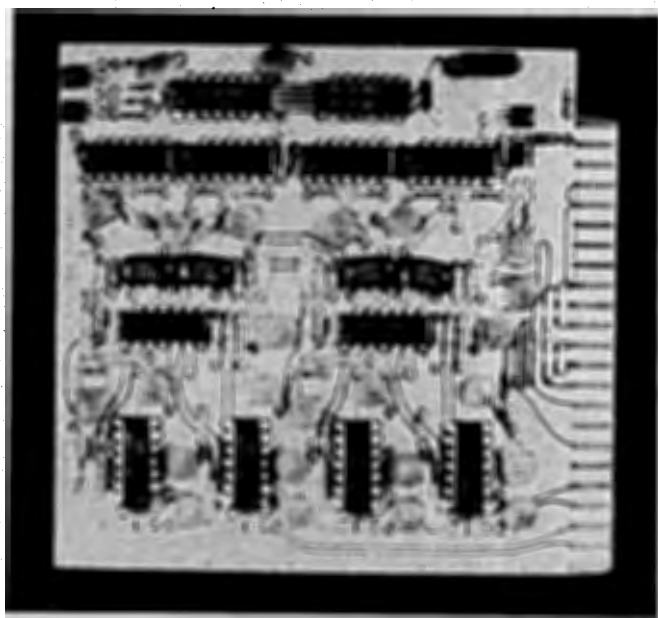
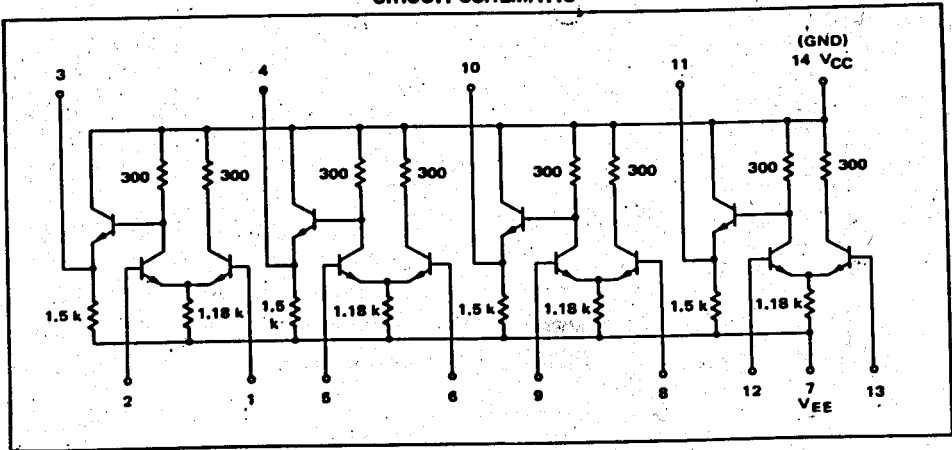


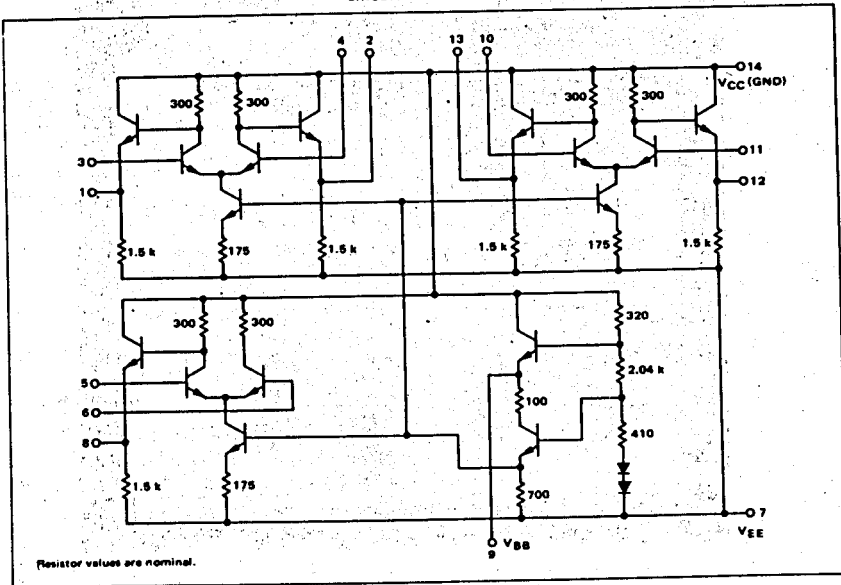
Рис. 10. Вид платы, содержащей четыре канала регистрации (изготовлена в УАС/24/).

CIRCUIT SCHEMATIC



a)

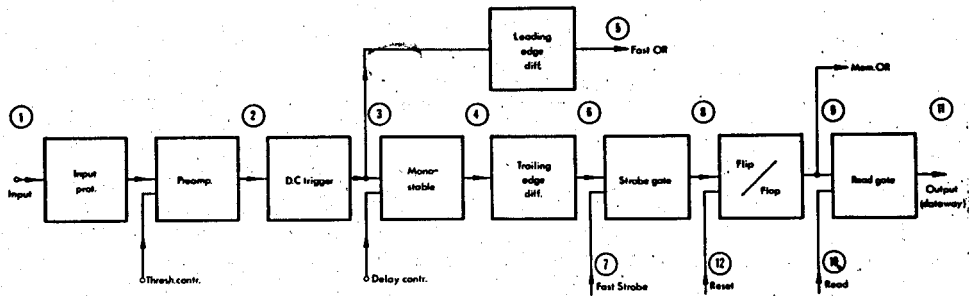
CIRCUIT SCHEMATIC



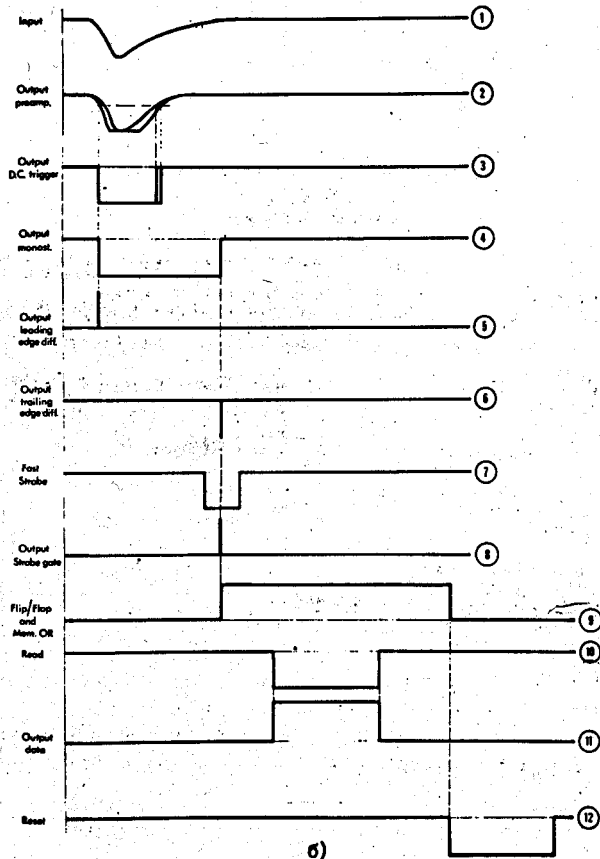
Resistor values are nominal.

б)

Рис. 11. Схемы усилителей Motorola, применяемых во входных цепях /27/:
 а) MC 1020, б) MC 1035.



a)



б)

Рис. 12. а) Типичная блок-схема электроники для пропорциональных камер, изготовленная в виде интегральной схемы /32/. б) Временные диаграммы, соответствующие разным точкам схемы.

TABLE I
SPECIFICATION SUMMARY

I. <u>Amplifier</u>	
Input	-5 mV to -500 mV, negative; $T_F \sim 20$ ns, $T_R \sim 200$ ns
V _T	-5 mV to -100 mV ± 2 mV or $\pm 10\%$; T.C. $1\%/^{\circ}\text{C}$ 0° to 70°C
Positive signals	Insensitive to +500 mV signals
Protection	No damage for 100 pF at ± 5 kV through $2,000 \Omega$
Gain	4 mV change gives full output
Fast out	Width 30 ± 10 ns, < 10 ns T_R , T_F delay ≤ 40 ns $\pm 20\%$
II. <u>Monostable Delay</u>	
Output pulse	Adjustable 100 ns to 10 μ s; T_R , $T_F \leq 10$ ns
Propagation delay	$T_{PD} \leq 40$ ns $\pm 20\%$ from FAST out
Temp. coeff. of width	$< \pm .05\%/^{\circ}\text{C}$
External R C trim	Required
Power supply coeff. of width	$\leq \pm 1\%$ for $\pm 10\%$ change
Duty Cycle	$\leq 50\%$
III. <u>Gated Latch</u>	
Minimum write gate width	≤ 20 ns
Minimum coincidence curve	≤ 40 ns
IV. <u>General</u>	
Outputs must be wire OR-able	
No unusual cooling requirements	
Direct out and gated out must be TTL compatible	
Operating range 0° to 70°C	

Рис. 13. Требования к интегральной схеме для пропорциональных камер, разрабатываемых в США/35/.

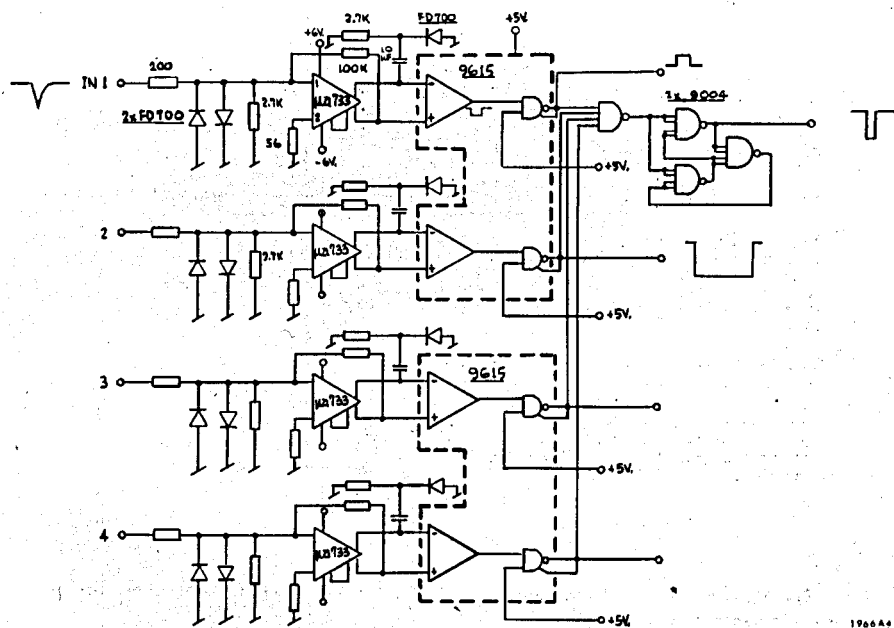
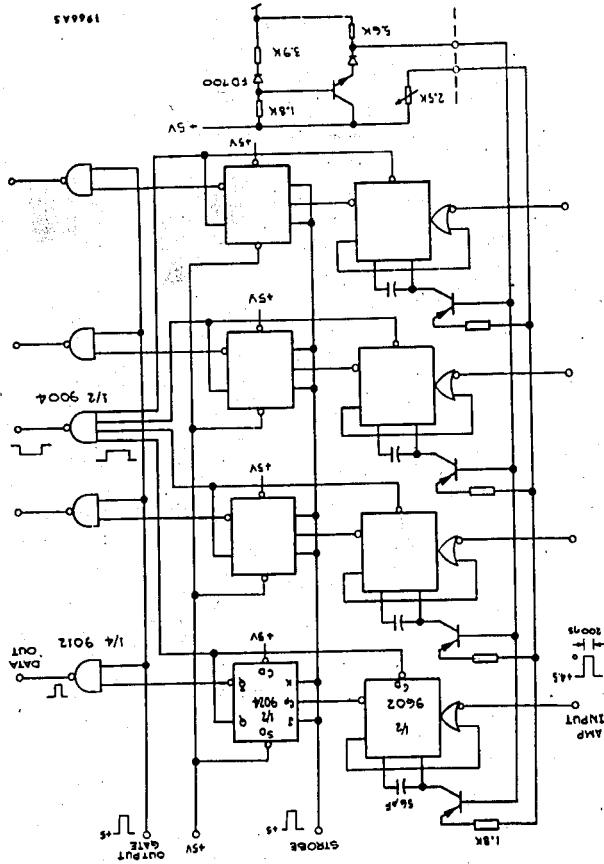
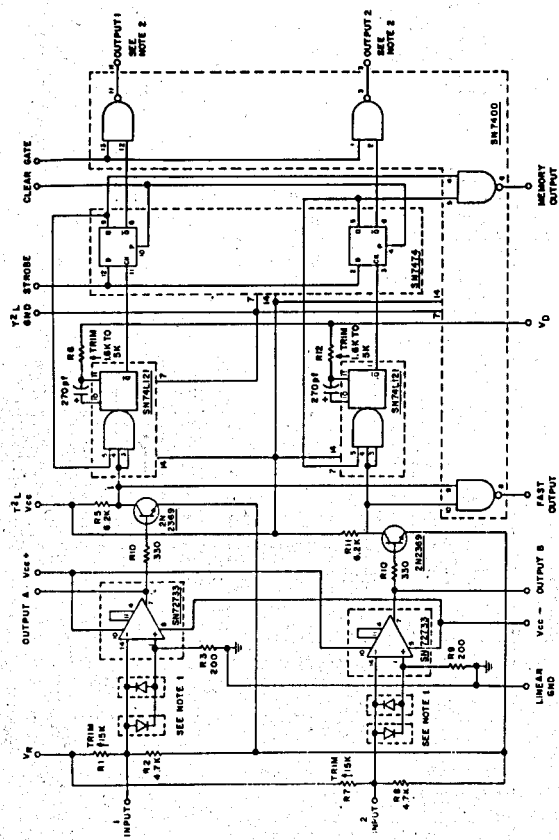


Рис. 14. Схема входной части гибридного интегрального модуля, разработанного фирмой Fairchild /35/.

Рис. 15. Схема логической части модуля, разработанного фирмой Fairchild /35/.

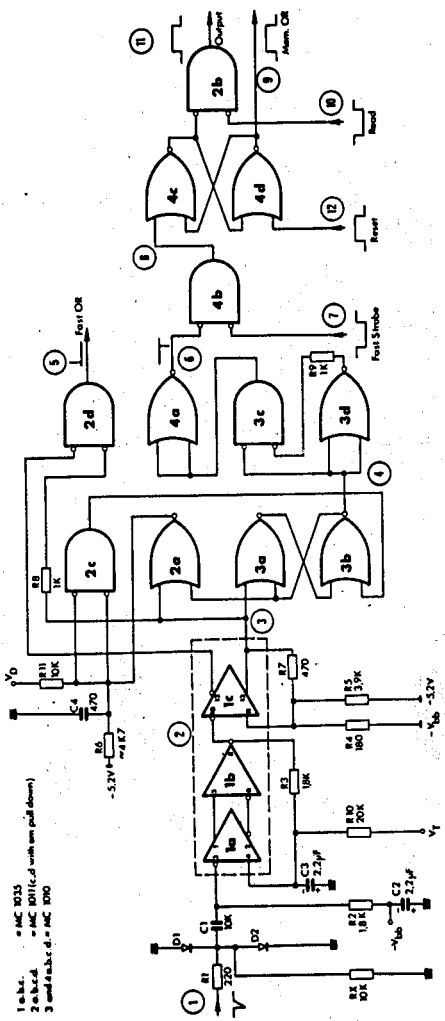




NOTES:
 1. INPUT PROTECTION DIODES ARE BASE EMITTER JUNCTIONS OF 2N4339 WITH COLLECTORS OPEN.
 2. OUTPUT 1 AND OUTPUT 2 ARE FLOATING COLLECTOR OUTPUTS.

TEXAS INSTRUMENTS
 MODEL N1C 158 10/13/71

Рис. 16. Схема гибридного интегрального модуля, разработанного фирмой Texas Instr. /95/.



- 1 a.b.c. - MC 1015
- 2 a.b.c.d. - MC 1015 (with one pull down)
- 3 a.b.c.d. - MC 1010

- R4, R5, R7 trimmed to 5% tolerance.
- All other resistors - 20% without trimming
- Delay trimmed through R6.
- C4 chosen to obtain required delay is 470 pF for 250 ns.
- D1, D2 are IN3002 or equivalent.

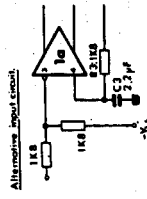


Рис. 17. Схема гибридного интегрального модуля, разработанного в CERN на основе схем MESL II /32/.

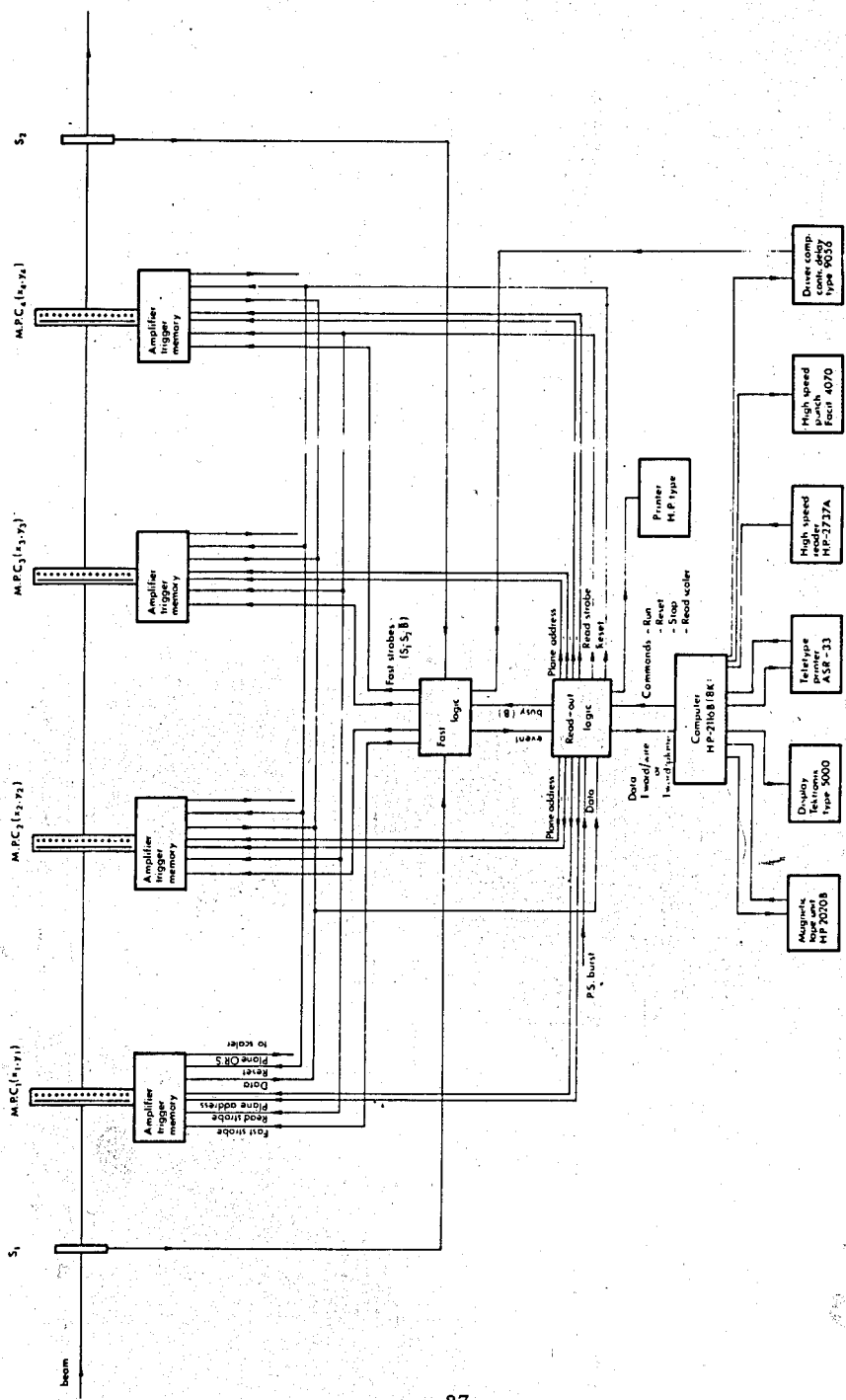


Рис. 18. Организация логики считывания информации с пропорциональных камер/39/.

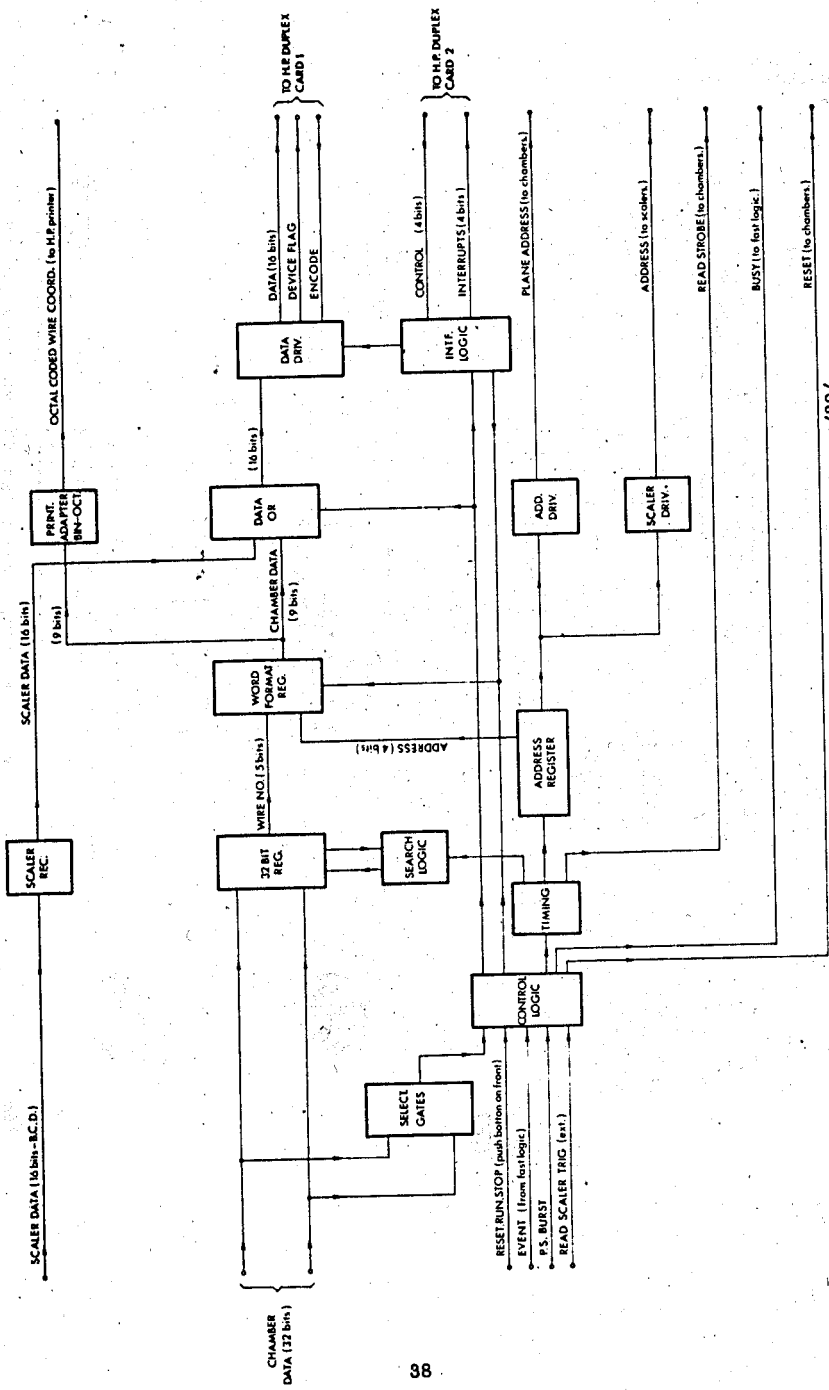


Рис. 19. Блок-схема электроники считывания и передачи данных на ЗЕМ/30/.

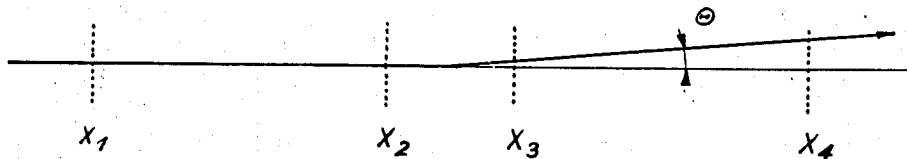


Рис. 20. Годоскопическая система для регистрации событий рассеяния.

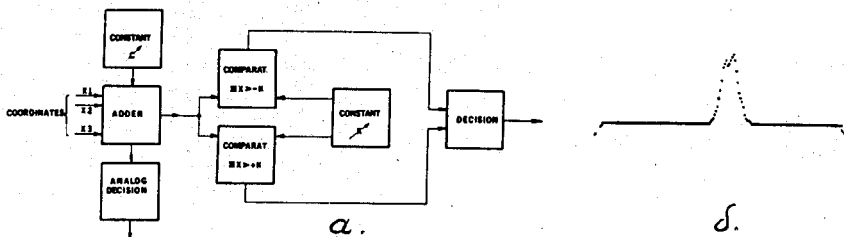


Рис. 21. а) Блок-схема аналоговой решающей электроники /41/. б) Точность аналогового решения.

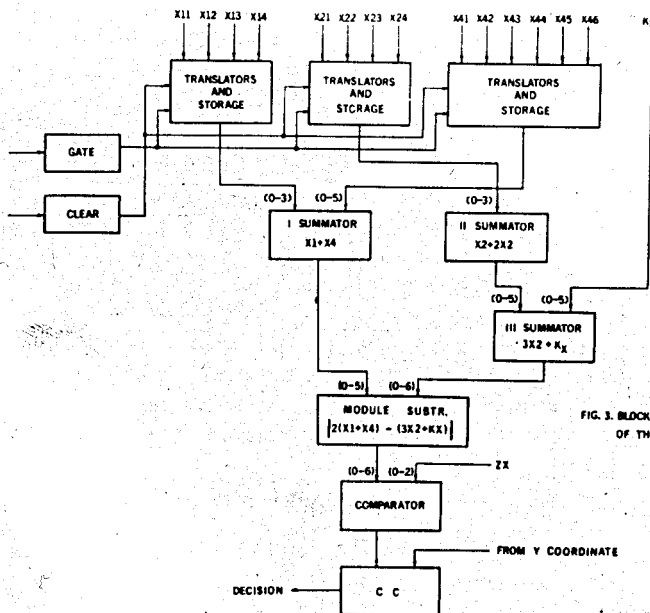


FIG. 3. BLOCK DIAGRAM OF THE PROCESSOR

Рис. 22. Блок-схема цифрового процессора для отбора событий рассеяния /43/.