

61111-72

Б-202

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

720/2-72

13 - 6207



Б.Ю.Балдин, А.Костюк, А.И.Ронжин, З.Цисек,  
М.Шавловски

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ  
КРИВЫХ ЗАДЕРЖАННЫХ СОВПАДЕНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

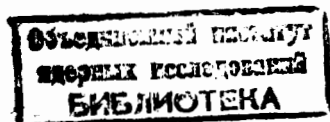
1971

13 - 6207

Б.Ю.Балдин, А.Костюк, А.И.Ронжин, З.Цисек,  
М.Шавловски

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ  
КРИВЫХ ЗАДЕРЖАННЫХ СОВПАДЕНИЙ

*Направлено в Nuclear Instruments  
and Methods*



Современные экспериментальные установки /1,2/ содержат большое число детекторов заряженных частиц, включенных на совпадения. При этом процесс подбора и установки необходимых задержек в каналах детекторов занимает много времени. Автоматизация этого процесса позволяет сократить затраты времени и поэтому особенно важна при работе на больших циклических ускорителях, где за время одной посылки интенсивности классическим способом можно снять одну точку кривой совпадений.

Описанные в литературе системы, позволяющие решать эту задачу, или очень сложны /3,4/ и дорогостоящи, или не приспособлены для работы при больших интенсивностях пучков заряженных частиц /5/.

В настоящей работе дано описание простого устройства, обладающего высоким быстродействием, позволяющего с помощью широко распространенных в лабораторной практике блоков электроники автоматизировать процесс съема кривых задержанных совпадений, подбор необходимых задержек в каналах счетчиков и осуществлять оперативный контроль в ходе эксперимента.

Автоматическую запись и снятие кривых задержанных совпадений можно реализовать посредством блок-схемы, представленной на рис. 1. Импульсы с формирователей ( *Shaper* ) поступают через магазин задержек ( *Delay* ) и блок управляемой задержки ( *Delay unit* ) на вход схемы совпадений ( *Coincidence unit* ). Изменение в заданном диапазоне задержки выходного импульса блока управляемой задержки осуществляется с помощью сигнала, подаваемого от генератора пилообразного напряжения ( *Ramp generator* ). Одновременно пилообразное напряжение подается на вход линейных ворот ( *Linear gate* ) /8/, где оно строится по управлению "растянутым" с помощью удлинителя ( *Stretcher* ) импульсом с выхода схемы совпадений. Сигнал с выхода ворот поступает на вход кодировщика ( *ADC* ). Пересчет ( *Scaler* ) в схеме используется для исключения искажений, вызываемых перегрузками усилителя кодировщика. Запуск генератора пилообразного напряжения осуществляется с помощью специально сформированных импульсов, синхронизированных с циклами работы ускорителя /7/.

Рис. 2 иллюстрирует принцип работы описываемого устройства. При некотором значении переменной задержки импульсы формирователей будут поступать на входы схемы совпадений одновременно (в пределах разрешающего времени). Это приведет к увеличению скорости счета на выходе схемы совпадений, т.е. к увеличению частоты поступления сигналов на вход управления линейных ворот.

Величина переменной задержки в каждый момент времени однозначно определяется амплитудой управляющего пилообразного напряжения. Таким образом, на выходе линейных ворот образуется серия импульсов с амплитудой, пропорциональной величине переменной задержки, и частотой следования, определяемой скоростью счета схемы совпадений.

В данном устройстве в качестве управляемого элемента задержки используется диод с накоплением заряда (ДНЗ) типа Д312. При отпи-

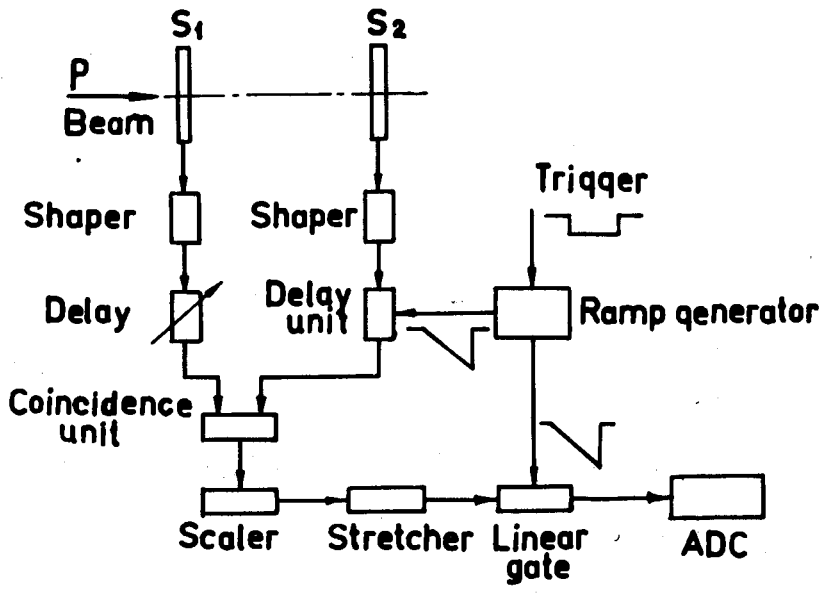


Рис. 1. Блок-схема установки для снятия кривых задержанных совпадений.

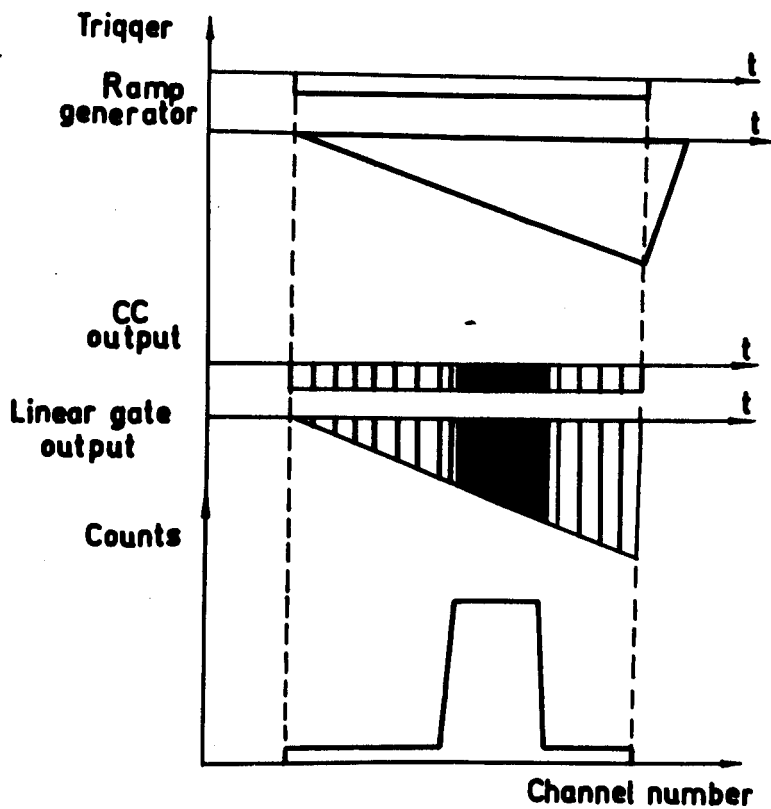


Рис. 2. Принцип работы устройства для снятия кривых задержанных совпадений.

рации ДНЗ импульсом прямого тока время восстановления обратного сопротивления ДНЗ определяется параметрами диода, величиной обратного напряжения и количеством заряда, накопленного в базе диода. Регулируя величину заряда, поступающего в базу диода, можно в широких пределах изменять время восстановления обратного сопротивления ДНЗ.

Принципиальной особенностью ДНЗ является отсутствие мертвого времени, так как длительность второй фазы восстановления обратного сопротивления для большинства диодов не превышает  $0,5 - 1,5 \text{ нсек}^{18/}$ . Это свойство выгодно отличает ДНЗ как элемент электронной задержки от аналогичных устройств на индуктивностях и емкостях.

Принципиальная схема блока переменной управляемой задержки и генератора пилообразного напряжения представлена на рис. 3. На вход управляемой задержки поступают сигналы с формирователя импульсов. Входные сигналы запускают формирующее устройство на транзисторе  $T_1$  и туннельном диоде  $TD_1$ . Длительность импульса на  $TD_1$  определяется длиной времязадающего кабеля в эмиттере  $T_1$ . Этот импульс запускает одновибратор на туннельном диоде  $TD_2$  и транзисторе  $T_4$ . В коллекторной цепи  $T_4$  имеется сигнал, жестко сформированный как по амплитуде, так и по длительности. Такое формирование необходимо для нормальной работы ДНЗ, так как величиной заряда определяется длительность импульса на диоде  $D_6$ .

Стандартизованный сигнал поступает на базу транзистора  $T_5$ , в коллекторной цепи которого включен элемент задержки - диод  $D_6$ . Транзистор  $T_5$  нормально заперт и уровень запирания определяется потенциалом базы управляющего транзистора  $T_6$ . С коллектора транзистора  $T_5$  импульсы тока, амплитуда которых определяется потенциалом базы транзистора  $T_6$ , поступают на смещенный в обратном направлении диод  $D_6$ . На диоде  $D_6$  выделяется прямоугольный импульс с длительностью, пропорциональной количеству заряда, поступившего в диод.

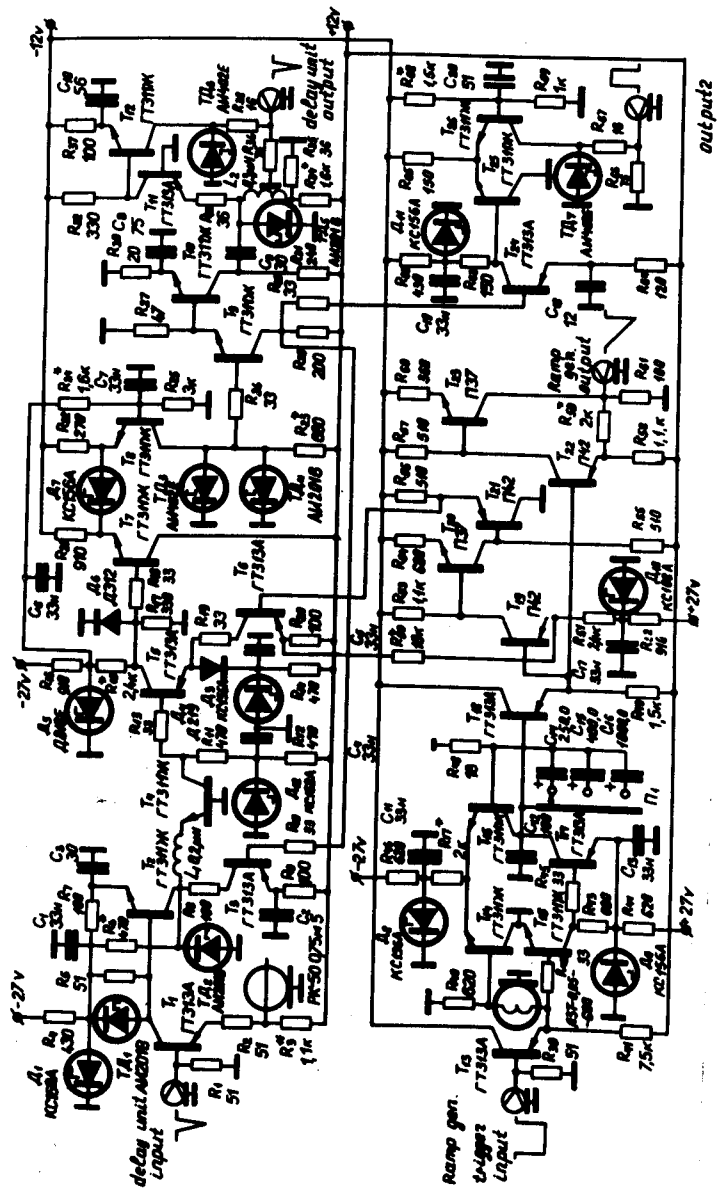


Рис. 3. Принципиальная схема блока электронной задержки и генератора пилообразного напряжения.

Таким образом, регулировка потенциала базы транзистора  $T_6$  позволяет получить плавное изменение длительности сигнала на диоде  $D_8$ . Сигнал с диода  $D_8$  формируется триггером Шмитта на туннельных диодах  $TД_3$ ,  $TД_4$  и поступает на базу транзистора  $T_9$ . С коллектора транзистора  $T_9$  снимается сигнал блокировки срабатывания  $TД_2$  на время задержки. Задний фронт импульса выделяется транзистором  $T_{10}$ , формируется одновибратором  $TД_5$  и поступает на выход блока управляемой задержки.

Для ряда случаев оказывается удобным использовать сигнал с выхода 2 блока управляемой задержки. Этот положительный импульс на уровне  $-0,8$  в имеет длительность, равную величине задержки в данный момент времени.

Генератор пилообразного напряжения выполнен по обычной схеме с разрядом емкости через транзистор. Генератор запускается входным импульсом амплитудой  $-0,8$  в отрицательной полярности. Заряд времязадающих емкостей  $C_{14} - C_{16}$  осуществляется через транзистор  $T_{17}$ , а линейный разряд - через транзистор  $T_{15}$ . Для улучшения линейности введена отрицательная обратная связь по току разряда через резистор  $R_{48}$ .

На выходе эмиттерного повторителя  $T_{18}$  имеется линейно падающее напряжение амплитудой 6 в. Через усилитель на транзисторах  $T_{19}$ ,  $T_{20}$ ,  $T_{21}$ ,  $T_6$  охваченный глубокой обратной связью, пилообразное напряжение передается в эмиттер транзистора  $T_5$ . Диод  $D_4$  типа Д219 компенсирует нелинейность характеристики ДНЗ. Усилительная секция ( $T_{22}$ ,  $T_{23}$ ) передает пилообразное напряжение на выход генератора на нулевом уровне.



Устройство испытывалось на пучке протонов синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ по блок-схеме, представленной на рис. 1.

Загрузка счетчиков пучковыми частицами составляла в среднем  $1,6 \times 10^4 \times 70$  имп/сек (70 - скважность работы ускорителя в протонном режиме). Кривые задержанных совпадений, полученные с помощью блока управляемой задержки и по точкам, представлены на рис. 4.

Линейность устройства измерялась с помощью набора калиброванных по длинам с точностью 0,5% двухметровых отрезков кабеля. Постоянная задержка в одном из каналов схемы совпадений (рис. 1) менялась с шагом в 10 нсек. На шкале анализатора при этом получалось десять кривых задержанных совпадений со сдвигом в 10 нсек. Через вычисленные значения центров тяжести полученных кривых методом наименьших квадратов проводилась прямая линия и вычислялись отклонения точек от этой прямой. Интегральная нелинейность оказалась не хуже 0,5% (рис. 5).

Исследование температурной стабильности блока задержки и генератора пилообразного напряжения проводилось по блок-схеме, показанной на рис. 1. Сигналы счетчиков имитировались генератором наносекундных импульсов. Зависимость положения центра тяжести кривой от величины задержки в одном из каналов схемы совпадений для трех значений температуры окружающего воздуха представлена на рис. 6. Вычисленный на основании этих результатов температурный коэффициент задержки составил 1 нсек/°C.

При использовании блока управляемой задержки на синхротроне с энергией 70 ГэВ с длительностью циклов интенсивности порядка 1 сек и паузами между циклами 7 сек выбор времени нарастания управляющего пилообразного напряжения определяется длительностью посылки интенсивности. При работе устройства на синхроциклотроне ЛЯП ОИЯИ с длительностью посылок интенсивности 0,02 - 8,0 мсек и

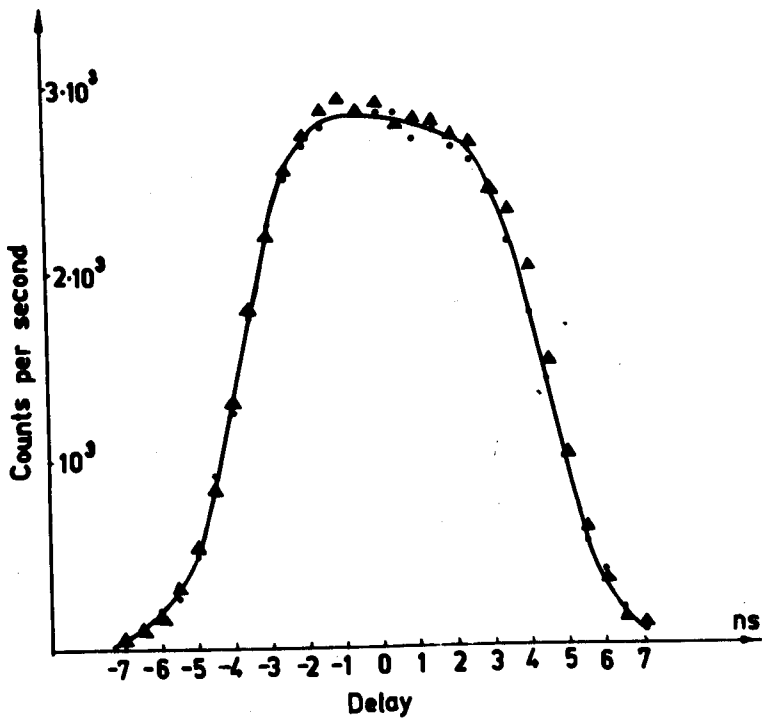


Рис. 4. Кривые задержанных совпадений, измеренные с помощью блока управляемой задержки (O) и по точкам ( $\Delta$ ).

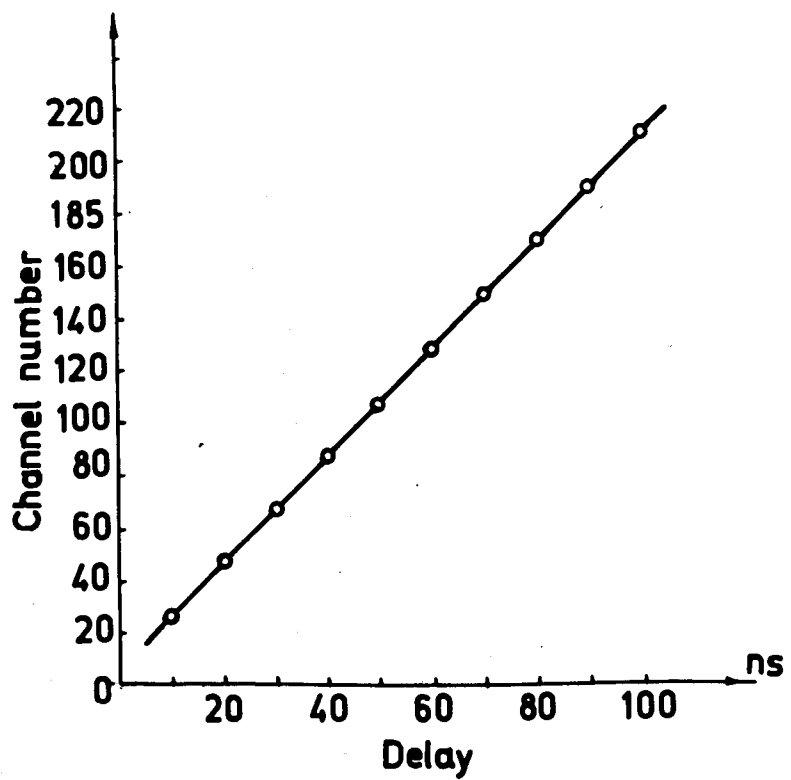


Рис. 5. Линейность блока электронной задержки.

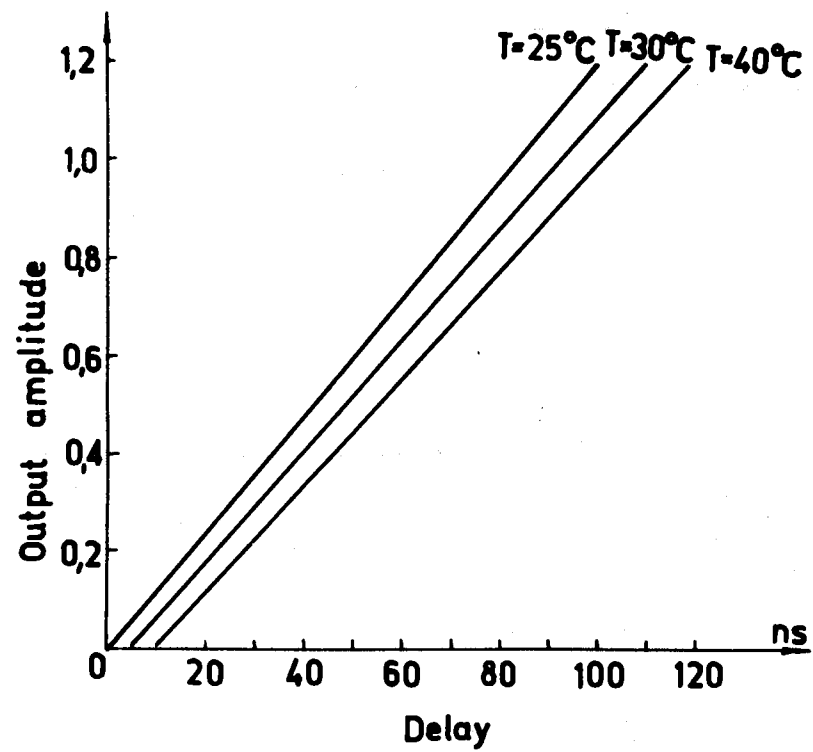


Рис. 6. Температурная стабильность блока электронной задержки.

частотой их следования  $110 \text{ сек}^{-1}$  к выбору длительности пилообразного напряжения применимы следующие соображения. В случае линейной зависимости задержки выходного импульса блока управляемой задержки от амплитуды пилообразного напряжения справедливо соотношение:

$$\frac{T_0}{t_{\text{зад.}}} = \frac{\Delta T}{\Delta t_{\text{зад.}}} \quad (1)$$

где  $T_0$  — длительность импульса пилообразного напряжения,  $t_{\text{зад.}}$  — диапазон изменения задержки.

Для снятия кривой совпадений с шагом, не превышающим  $\Delta t_{\text{зад.}}$ , необходимо, чтобы время  $\Delta T$ , за которое задержка изменится на величину  $\Delta t_{\text{зад.}}$ , было больше, чем время между циклами интенсивности  $t_{\text{ц}}$ .

Тогда соотношение (1) переписется:

$$T_0 \geq \frac{t_{\text{зад.}} \cdot t_{\text{ц}}}{\Delta t_{\text{зад.}}} \quad (2)$$

Минимальная величина шага при снятии кривой задержанных совпадений для большинства практических случаев не превышает 0,5 нсек. В нашем случае при  $t_{\text{ц}} = 10$  мсек, диапазоне изменения задержки 100 нсек минимальная длительность пилообразного напряжения в соответствии с выражением (2) составит 2 сек.

Нами были выбраны значения длительностей циклов генератора пилообразного напряжения 0,5; 1,5; 3,0 сек.

Быстродействие блока управляемой задержки определяется его мертвым временем, которое равно 35 нсек + текущее значение задержки. Максимальное мертвое время равно 135 нсек. Диапазон изменения задержки составляет 100 нсек.

Скорость набора информации определяется быстродействием кодировщика. При работе с кодировщиком типа БАП-8 без его перегрузки данное устройство за один цикл генератора пилообразного напряжения

(3 сек) позволяет определить положение центра тяжести кривой совпадений с точностью 0,2 нсек при разрешающем времени, равном 10 нсек.

Блок управляемой задержки и генератора пилообразного напряжения испытывался в течение 60 часов непрерывной работы.

В заключение авторы пользуются случаем выразить благодарность В.Г.Зинову за полезное обсуждение, а также В.И.Красину за помощь в проведении измерений.

#### Л и т е р а т у р а

1. Я.В.Гришкевич и др. Материалы международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. Д-5805, Дубна, 1970.
2. Ю.М.Антипов и др. Препринт ИФВЭ, 7016, Серпухов, 1970.
3. В. Zacharov, A.C. Peatfield. Материалы международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, Д-5805, Дубна, 1970 г.
- ✓4. F. Pozar. Nucl. Instr. & Meth., 91 (71) 253.
5. E. Nadav, M. Palmai, D. Salzmann. Nucl. Instr. & Meth., 59 (68), 173.
6. B. Smith. Nucl. Instr. & Meth., 55 (67) 138.
7. З.Цисек. Препринт ОИЯИ, 13-6021, Дубна, 1971.
8. С.А.Еремин, О.К.Мокеев, Ю.Р.Носов. Полупроводниковые диоды с накоплением заряда и их применение. "Советское радио", М., 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 декабря 1971 г.