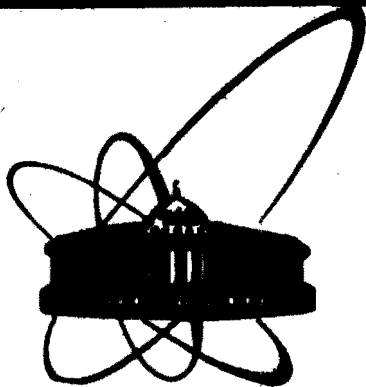


87-184



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

С 344.30
3638/87

P13-87-184

К.Хайдель, Г.-Г.Ортлепп*

**ПОЛУЧЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ ОТМЕТКИ
ДЛЯ СУБНАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

* Центральный институт ядерных исследований АН ГДР,
Россендорф

1987

1. ВВЕДЕНИЕ

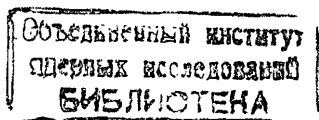
В спектрометрах продуктов ядерных реакций все шире применяется времяпролетная методика. Это связано с развитием быстрых трансмиссионных детекторов, обеспечивающих временное разрешение порядка 100 пс.

Во времяпролетном спектрометре установки "ДЭМАС" ^{/1/} применяются детекторы вторичных электронов на основе микроканальных пластин (МКП ^{/2/}) и плоскопараллельные лавинные счетчики (ППЛС). Из-за субнаносекундного фронта нарастания и большого амплитудного разброса импульсов с этих детекторов существуют определенные трудности при получении временной отметки. Поэтому возникла задача разработки триггеров, временные параметры которых сравнимы с параметрами самих детекторов. В представленной работе рассмотрено влияние схемы формирования импульсов, выбора типа используемых компараторов и монтажной схемы на временную привязку субнаносекундных импульсов.

2. МЕТОД СЛЕДЯЩЕГО ПОРОГА

Большой динамический диапазон детекторных сигналов требует введения компенсации зависимости момента срабатывания триггерного устройства от амплитуды входного импульса. Общепринятым способом компенсации является метод следящего порога (Constant Fraction Timing) ^{/3/}, в котором компаратором сравнивается уменьшенный на фактор f входной сигнал и задержанный на время t_3 инвертированный входной сигнал. Независимая от амплитуды временная отметка получается при переключении компаратора в момент, когда оба сигнала достигают одинаковой амплитуды (компенсация, т.е. "0" уровень). Для определения порога срабатывания применяется второй компаратор, служащий в качестве дискриминатора нижнего уровня (ДНУ), в случае срабатывания которого сигнал первого пропускается на выход формирователя. Блок-схема такого формирователя представлена на рис.1. Фактор ослабления f обычно выбирают $f \approx 0,3$, а время задержки $t_3 \leq t_\phi$, где t_ϕ — фронт детекторного сигнала. Практический опыт работы с такими формирователями привел к необходимости введения ряда усовершенствований:

— для компенсации флуктуации фронта детекторных сигналов следует работать при $t_3 \leq 0,5 t_\phi$;



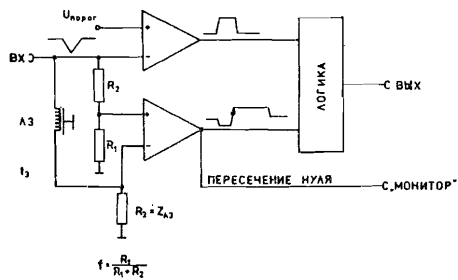


Рис.1. Принципиальная схема формирователя со следящим порогом.

— необходимо использовать дополнительную логическую схему отбора (дискриминатор времени нарастания) для исключения неправильного срабатывания формирователя от сигналов со слишком длинным фронтом $t_3^{1/4}$;

— отказавшись от дискриминатора времени нарастания, можно использовать и D-триггеры в качестве ключевой схемы, что сохраняет правильную передачу сигнала временной отметки и для более коротких значений $t_3^{1/5-7}$.

Применение метода следящего порога к очень коротким сигналам МКП привело к новым трудностям:

— при $t_3 \approx 1$ нс интервал между началом импульса и пересечением нуля на входе компаратора становится сравнимым с временем переключения компаратора, т.е. фактически принцип следящего порога не может быть реализован;

— в случае применения D-триггера временное перекрытие сигнала "Пересечение нуля" на тактовом входе "С" с сигналом от ДНУ на входе "D" оказывается недостаточным для срабатывания D-триггера (особенно для околороговых сигналов).

Следует отметить еще два эффекта, влияющих на качество временной привязки:

— из-за конечных значений коэффициента усиления ($K_u \approx 1000$) и полосы пропускания (несколько сотен МГц) микросхем компараторов остается некоторая зависимость сигнала временной отметки от амплитуды входного сигнала (time walk). Кроме того, из-за собственных шумов компаратора, а также предыдущих устройств временного канала, возникают флуктуации времени появления выходного сигнала даже для импульсов одинаковой амплитуды (time jitter).

3. СХЕМЫ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ

3.1. Формирователь на основе компаратора КР597СА1 (схема А).

Микросхема КР597СА1^{8/} является аналогом часто применяемого в формирователях компаратора АМ685. Схема^{9/} разработанного на ее основе формирователя показана на рис.2. Фактор ослабления выбран $f = 0,22$, а формирующая задержка определяется внешним кабелем. Ключевым элементом логики является один D-триггер микросхемы К500ТМ231. Соединение выхода триггера "Q" и входа сброса "R" через

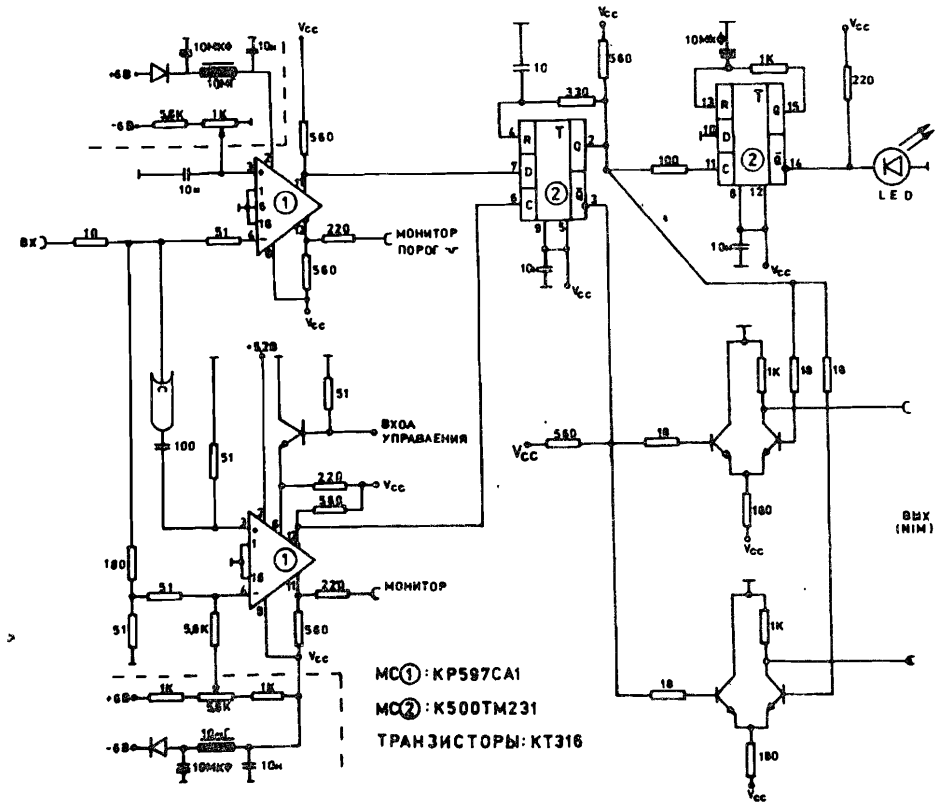


Рис.2. Схема формирователя на компараторах КР 597СА1.

резистор 330 Ом предназначено для восстановления исходного состояния через ~ 5 нс после срабатывания триггера. Выходные пары транзисторов формируют два сигнала — 0,8 В (NIM — уровень) на нагрузке 50 Ом. Вторым D-триггером на время ≈ 10 мс включается индикатор на светодиоде. Потенциалом — 0,8 В на входе управления можно выключить формирователь. Для настройки и проверки формирователя через 220 Ом выведены выходные сигналы обоих компараторов. Формирователь смонтирован в экранирующей коробке $90 \times 45 \times 35$ мм³ и располагается непосредственно около детектора в экспериментальной установке. Настройка порога ДНУ и порога срабатывания основного компаратора производится потенциометрами в отдельном модуле КАМАК.

Планируется обеспечить программное управление через ЦАП. Основные характеристики формирователя представлены в табл. 1.

Вход:	— 30 мВ до — 4 В, 50 Ом
Выход:	NIM — уровень, 50 Ом
Задержка t_3 :	внешняя, 50 Ом
Фактор ослабления f :	0,22
Мертвое время:	≈ 10 нс + t_3
Максимальная загрузка:	≈ 70 МГц
Временной сдвиг:	$< \pm 150$ пс для диапазона 80 мВ до 1,6 В (20 : 1), время нарастания и спада импульса 0,7 нс
Индикация:	светодиод, монитор порога ДНУ, монитор основного компаратора
Питание:	+ 6 В, 40 мА —6 В, —220 мА
Управление:	порог ДНУ 0В до —1 В, порог основного компаратора —10 мВ до +10 мВ

3.2. Формирователь на основе микросхемы SP9687 (схема Б).

Микросхемы SP9687 английской фирмы PLESSEY состоят из двух компараторов с выходными уровнями ЭСЛ. По быстродействию эти микросхемы превосходят схему КР597СА1. Схема формирователя /10/ на основе микросхем SP9687 показана на рис.3. Схема стабилизации

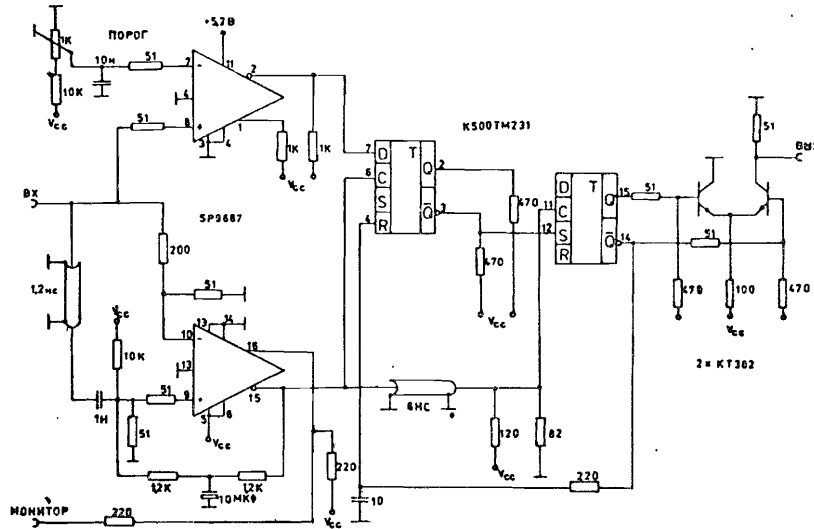


Рис.3. Схема формирователя с двойным компаратором SP9687.

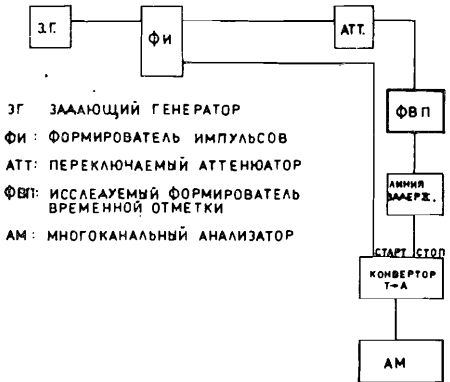
баланса в состоянии покоя удерживает основной компаратор в линейном режиме. Таким образом, отпадает необходимость настройки компенсации временного сдвига. Последовательное включение двух D-триггеров микросхемы К500ТМ231 исключает эффект сдвига выходного сигнала временной отметки для околороговых входных импульсов. Данная разработка предназначена для детекторов будущей установки ФОБОС в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ /11/.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

4.1. Измерения с генераторными сигналами

Для исследования сдвига и флуктуаций сигнала временной отметки в зависимости от амплитуды входных импульсов сигналы с генератора подавались через прецизионный переключаемый аттенюатор (предель-

Рис.4. Блок-схема измерений с генераторными импульсами.



ЗГ: ЗАДАЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР

ФИ: ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ

АТТ: ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫЙ АТТЕНЮАТОР

ФВП: ИССЛЕДУЕМЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ ВРЕМЕННОЙ ОТМЕТКИ

АМ: МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР

ная частота 1000 МГц) на формирователь. Временной сдвиг измерялся с помощью время-амплитудного преобразователя и анализатора, на основе мини-ЭВМ. Блок-схема измерений показана на рис.4. Измерения проведены с тремя различными формами импульсов:

- прямоугольные, с фронтом $t_\phi = 2$ нс и длительностью \gg фронта;
- треугольные, с фронтом $t_\phi = 1$ нс и со спадом $t_c = 1$ нс;
- треугольные, с фронтом $t_\phi = 0,7$ нс и со спадом $t_c = 0,7$ нс.

Исследовались формирователи, описанные в разд. 4.1. и 4.2. Вместо КР597СА1 в схеме 4.1 были также исследованы микросхемы SP9685 (расположение выводов одинаковое). Кроме того, были исследованы формирователи типа ORTEC473А, 584 и схема SUB50С /5/. Результаты измерений временного сдвига в зависимости от амплитуды входных сигналов показаны на рис. 5-7. Как следует из рис.5, для прямоугольных сигналов наилучшие результаты получены с помощью модуля ORTEC584, схемы SUB50С и формирователя, построенного по схеме Б. Порог срабатывания основного компаратора настраивался таким образом, чтобы на мониторинном выходе наблюдался биполярный сигнал (см. рис.1). Все названные формирователи работают на основе микросхем SP9687 (двойной компаратор). В схеме А, построенной на базе компараторов КР597СА1 и SP9685, вблизи равновесного состояния

Таблица 2
Результаты измерений

ФОРМИРОВАТЕЛЬ	t_d нс	f	КОМПАРАТОР	$t_\phi = 2$ нс			$t_\phi = t_c = 1$ нс			$t_\phi = t_c = 0,7$ нс		
				U _{ЗАП} мВ	U _{МИН} мВ	V _{ДИН} пс	U _{ЗАП} мВ	U _{МИН} мВ	V _{ДИН} пс	U _{ЗАП} мВ	U _{МИН} мВ	V _{ДИН} пс
ORTEC 473A	1,3	0,32	MC10116	50	280	<1000	125	350	-	-	-	
ORTEC 584	1,6	0,20	SP9687	15	15	<20	45	45	-	-	-	
SUB 50C	2,0	0,50	SP9687	30	45	150	30	35	100	-	-	
СХЕМА А	1,2	0,22	KP597CA1	25	270	800	30	90	500	80	140	
СХЕМА А	1,2	0,22	SP9685	25	75	400	-	-	-	80	110	
СХЕМА Б	1,3	0,25	SP9687	15	15	<20	8	8	<20	35	35	

Примечания. U_{зап.} : минимальная высота импульса для запуска формирователя; U_{мин.} : высота импульса, ниже которой временной сдвиг превышает ± 100 пс; V_{дин.} : временной сдвиг для динамического диапазона 30 мВ до 1,2 В (40:1), $t_\phi = 2$ нс и $t_\phi = t_c = 1$ нс, для динамического диапазона 80 мВ до 1,6 В (20:1), $t_\phi = t_c = 0,7$ нс.

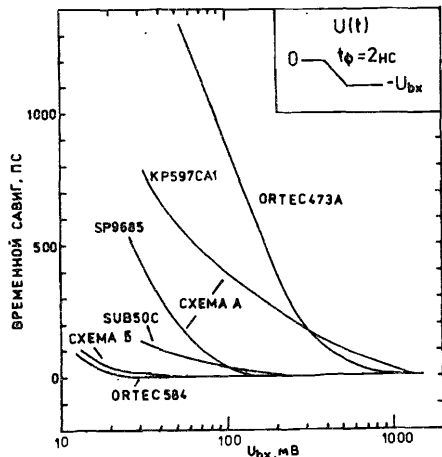


Рис.5. Временной сдвиг импульсов от формирователей в зависимости от амплитуды прямоугольных импульсов.

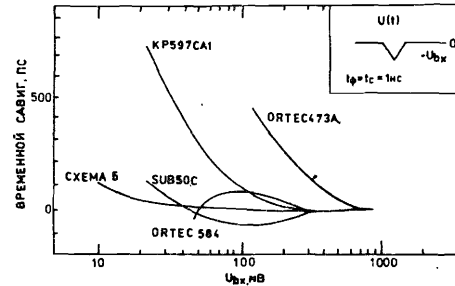


Рис.6. Временной сдвиг импульсов от формирователей в зависимости от амплитуды треугольных импульсов.

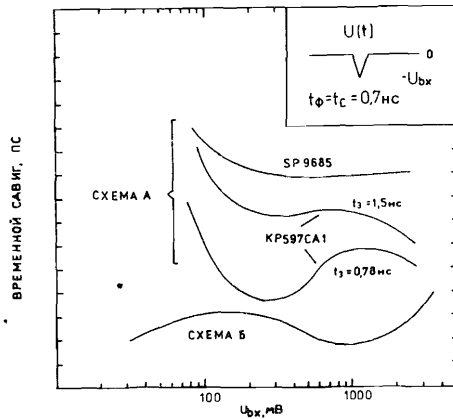


Рис.7. Временной сдвиг импульсов формирователей в зависимости от амплитуды треугольных импульсов. Цена деления по оси ординате: 100 пс.

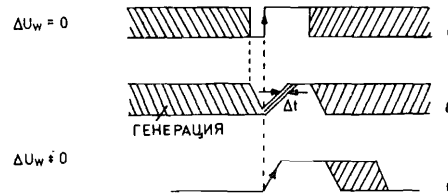


Рис.8. Работа компаратора при наличии шумов или генерации: а) идеальный бесконечно быстрый компаратор, б) реальный компаратор с флуктуацией момента перехода Δt , из-за конечной полосы пропускания, в) устранение флуктуации при увеличении порога срабатывания основного компаратора.

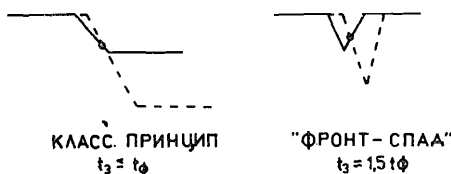
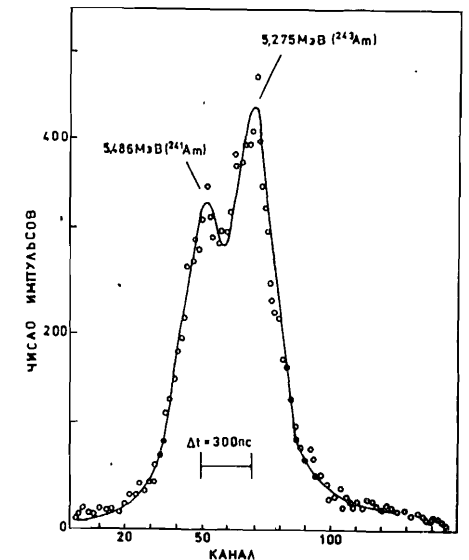


Рис.9. Схематическое изображение нового способа формирования "фронт-спад".

возникает генерация, ведущая к недопустимым флуктуациям Δt временной отметки (см. рис.8б). Для обоих компараторов требуется отрицательное смещение ΔU_w величиной в несколько милливольт для устранения генерации (см. рис.8в). Это смещение зависит от экземпляра микросхемы и технологии монтажа. Причина, очевидно, состоит в том, что в области субнаносекундных импульсов нельзя пренебрегать влиянием размеров элементов и длины сигнальных кабелей.

На рис.6 и 7 показана зависимость временного сдвига для треугольных импульсов, сходных по форме с сигналами от МКП-детекторов. Для таких коротких сигналов принцип следящего порога фактически не реализован из-за предельной частоты формирователя (см.гл.2).

Рис.10. Времепролетный спектр α -частиц от источника ^{241}Am и ^{243}Am , измеренный с помощью двух МКП-детекторов (длина базы - 25 см).



Выходом является формирование временной отметки на спаде импульса, как это показано на рис.9. Применяемый нами новый способ увеличивает скорость пересечения нуля. Таким образом, уменьшаются флуктуации временной отметки (jitter). Итоговые результаты испытаний генераторными импульсами представлены в табл.2.

С формирователем по схеме А был измерен спектр времени пролета α -частиц источника $^{241}\text{Am} + ^{243}\text{Am}$. Для этого использовались детекторы вторичных электронов на основе МКП. На рис.10 представлен измеренный времяпролетный спектр α -частиц. Разрешающая способность всей системы лучше 300 пс.

5. ВЫВОДЫ

В настоящей работе предлагается схемное решение формирователя со следящим порогом для импульсов, имеющих субнаносекундные фронты. Формирование временной отметки на спаде ослабленного сигнала обеспечивает минимальный временной сдвиг при достаточно большом динамическом диапазоне. Рассмотрено влияние собственных характеристик компараторов на качество временной отметки для сигналов разных форм.

В качестве формирователей коротких сигналов наиболее оптимальным формирователем является схема Б, обеспечивающая автоподстройку порога срабатывания основного компаратора. Вместе с тем, в качестве формирователя для коротких импульсов от детекторов с МКП можно рекомендовать и схему А, построенную на основе компаратора КР597СА1.

Авторы выражают благодарность Х.Зодану, О.В.Стрекаловскому, С.М.Лукиянову и И.Хайдель за содействие данной работе и помощь в ее оформлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вилл Э. и др. Сообщение ОИЯИ, 13-85-754, Дубна, 1985.
2. Дмитриев С.Н. и др. Сообщение ОИЯИ, 7-12290, Дубна, 1979.
3. "ORTEC", Catalog Nuclear Instruments and Systems 1986/87, p.4-95.
4. Gabriel F. Dissertation, Zfk 228, Rossendorf 1972.
5. Harrach D. v.Datenblatt SUB 50C, Universitat Heidelberg, 1982.
6. Pouthas J., Engrand M. Nucl.Instr. Meth., 1977, v.161, p.331.
7. Rytsoala K. Nucl.Instr.Meth., 1982, v.199, p.491.
8. Якубовский С.В. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы, Радио и связь, М., 1986, с.95.
9. Вилл Э. — В сб.: Совещание по экспериментам на пучках тяжелых ионов, Д7-84-736. Дубна: ОИЯИ, 1984, с.73.
10. Ortlepp H.G. Annual Report 1985, Zfk 584, Rossendorf 1986, p.95.
11. Вилл Э. и др. — В сб.: Совещание по экспериментам на пучках тяжелых ионов, Д7-84-736. Дубна: ОИЯИ, 1984, с.70.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 марта 1987 года.

Хайдель К., Ортелеп Г.-Г.
Получение временной отметки
для субнаносекундных импульсов

P13-87-184

На основе быстрых компараторных микросхем разработаны и испытаны формирователи временной отметки для сигналов с субнаносекундными временами фронта и спада. Исследовалось влияние способа формирования сигналов, выбора типа используемых компараторов и монтажной схемы на зависимость сдвига временной отметки от амплитуды сигналов (time walk). Показано, что минимальный временной сдвиг можно получить при формировании временной отметки на спаде ослабленного сигнала.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод Л.В.Пашкевич

Heidel K., Ortlepp H.-G.
Timing for Subnanosecond Pulses

P13-87-184

Constant-fraction discriminators (CFD) for the timing of subnanosecond pulses have been developed on the basis of fast comparator IC's. The influence of different operating modes, comparator IC types and CFD circuit details on the time walk has been investigated. It is demonstrated that a minimum time walk can be obtained by deriving the zero-crossing from the trailing edge of the attenuated pulse.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1987