

Б-272

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



13/III-74

13 - 7608

991/2-74

С.Г.Басиладзе, В.А.Смирнов, В.Т.Лачала

ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ
ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ
С ПИКОСЕКУНДНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ
И ШИРОКИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

13 - 7608

С.Г.Басиладзе, В.А.Смирнов, В.Тлачала

**ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ
ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ
С ПИКОСЕКУНДНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ
И ШИРОКИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ**

Направлено в ПТЭ

Разработка относительно простых и надежных цифровых измерителей временных интервалов стала необходимостью в связи с широким применением ЭВМ в экспериментах по ядерной физике. До настоящего времени для получения временной информации в цифровом коде в основном использовались сложные системы, состоящие из время-амплитудного конвертора /ВАК/, стабильного усилителя и преобразователя амплитуда-цифра /АЦП/ /1/.

Методы непосредственного преобразования времени в цифровой код, например, ноннусный метод / $2 \div 9$ /, не нашли до сих пор широкого применения вследствие относительной сложности и недостаточной надежности приборов, созданных на дискретных элементах /10/. Развитие интегральной техники, в особенности появление быстродействующих интегральных схем с эмиттерной связью, значительно упростило эту задачу и позволило создать измерительные приборы на основе ноннусного метода, не уступающие по своим параметрам системе ВАК - усилитель - АЦП и отличающиеся простотой конструкции и надежностью /11/.

Недостатком этих приборов является ограниченность диапазона временных измерений, поскольку возможно измерение только таких интервалов времени, которые короче, чем длительность периода задающего генератора /12/. Более широким диапазоном измерений обладают преобразователи временных интервалов в число периодов задающего генератора.

Однако им присуща большая ширина канала, в лучшем случае $2 \div 5$ нсек /13,14/. Оптимальным решением могло быть применение комбинированного преобразователя время-

цифра, т.е. проведение измерения временного интервала "грубо", счетом числа импульсов задающего генератора, а интерполяции отрезка времени между последним со- считанным импульсом задающего генератора и концом интервала - с помощью хронофона /15,16/, амплитудно-временного конвертора /17,18/ либо нониусного ме- тода /11/.

Недостатком комбинированного преобразователя с интерполяцией на основе нониусного метода является то, что он не позволяет получить непрерывную временную

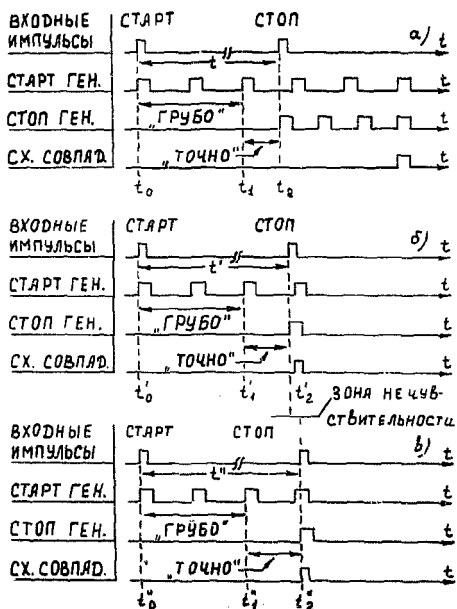


Рис. 1. Пояснение механизма образования "зон нечувствительности" в комбинированных преобразователях время-цифра с интерполяцией на основе нониусного метода.

шкалу, т.к. обладает "зонами нечувствительности" вследствие конечной ширины импульсов генераторов. Механизм образования "зон нечувствительности" поясняет рис. 1. Если стоп-импульс /рис. 1а/ придет в такой момент времени t_2 , что импульсы от старт- и стоп-генераторов в начальный момент не перекрываются, то их совпадение наступает через строго определенное число импульсов, приводя к срабатыванию схемы совпадений и остановке генераторов. Таким образом, точно измеряется интервал $t_2 - t_1$ и, следовательно, весь интервал $t = t_2 - t_0$.

Однако стоп-импульс может прийти в такой момент времени t'_2 либо t''_2 /рис. 1б,в/, что произойдет наложение импульса от старт-генератора на первый импульс от стоп-генератора и, следовательно, остановка обоих генераторов. В этом случае произойдет только "грубое" измерение, и неточность измерения будет равна интервалу $t'_2 - t'_1$ /либо $t''_2 - t''_1$ /. В обоих случаях счетчики покажут одинаковые результаты, хотя измеряемые интервалы времени $t' = t'_2 - t'_0$ и $t'' = t''_2 - t''_0$ разные. Отрезок $t'_2 - t'_1$ и есть часть "зоны нечувствительности", которая в пределе может быть равна удвоенной ширине импульсов генераторов, если считать, что схема совпадений идеальна и срабатывает от любого малого перекрытия импульсов. Следовательно, точность измерения с помощью комбинированного метода сводится фактически к точности преобразователя временных интервалов в число периодов задающего генератора.

Построение преобразователя время-цифра с высоким разрешением и непрерывной шкалой в широком диапазоне времен на основе комбинированного метода возможно путем некоторой его модификации /19/.

Этой цели можно достичь, если в старт-канал ионного преобразователя ввести генератор с частотой, вдвое большей, чем частота стоп-генератора, а также схему управления, определяющую момент прихода стоп-импульса по отношению к импульсам старт-генератора. Введение в старт-канал генератора с удвоенной частотой по отношению к стоп-генератору позволяет получить эффект, равноценный точному фазовому сдвигу стоп-

генератора на половину периода и выводу его из "зоны нечувствительности". Импульсы от стоп-генератора могут сравниваться либо с четными, либо с нечетными импульсами от старт-генератора, что определяется схемой управления в зависимости от того, попадает или не попадает стоп-импульс в "зону нечувствительности". В случае сдвига стоп-генератора на половину периода по отношению к старт-генератору схема управления записывает в нониусный счетчик число, соответствующее этому сдвигу.

Указанный /19/ комбинированный метод преобразования времени в цифровой код был применен при построении кодировщика временных интервалов, которому посвящена данная работа.

На рис. 2 показана блок-схема преобразователя, который состоит из следующих функциональных узлов: старт- и стоп-триггеров, старт- и стоп-генераторов, схемы отбора четных и нечетных импульсов от старт-генератора /СО/, схемы пропускания /СП/, схемы выбора режима работы /СВР/, схемы совпадений /СС/, схемы добавления "1" в 8-ой разряд /СД "1"/, счетчика периодов нониусного счетчика, дешифратора функций САМАС и стабилизированного источника -5в /СИП/.

В исходном состоянии старт-вход открыт, стоп-вход закрыт, а генераторы в старт- и стоп-каналах находятся в заторможенном состоянии. Кроме того, открыта схема пропускания, все триггеры нониусного счетчика находятся в состоянии "0", а все триггеры счетчика периодов - в состоянии "1". Поступление на старт-вход отрицательного импульса вызывает переброс старт-триггера, который вырабатывает сигнал блокировки старт-входа, открывает стоп-вход и запускает старт-генератор. С одного выхода старт-генератора импульсы поступают на схему совпадений, а с другого выхода - на схему отбора четных и нечетных импульсов. Четные импульсы проходят через схему пропускания до момента запуска стоп-генератора и считаются счетчиком периодов.

Установка триггеров счетчика периодов в состояние "1" позволяет провести операцию вычитания первого лишнего импульса от старт-генератора. Нечетные им-

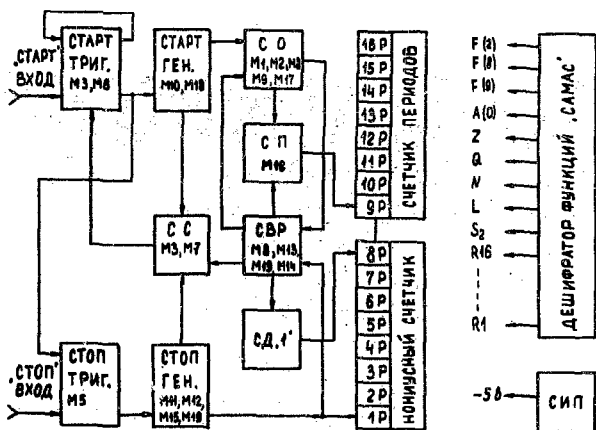


Рис. 2. Блок-схема описываемого преобразователя время-цифра.

импульсы поступают на схему выбора режима. В момент прихода стоп-сигнала перебрасывается стоп-триггер и происходит запуск стоп-генератора. С одного выхода стоп-генератора серия импульсов подается на схему совпадений, а с другого - на схему выбора режима и ноннусный счетчик. Ноннусный счетчик считает импульсы от стоп-генератора до момента его остановки. Схема выбора режима в момент поступления первого импульса от стоп-генератора блокирует схему пропускания, а также, в течение первого периода стоп-генератора, оценивает временной сдвиг между нечетным импульсом старт-генератора и импульсом стоп-генератора и задает нужный режим работы преобразователя. Схема совпадений вместе со схемой выбора режима в момент совпадения импульса от стоп-генератора с нечетным либо четным импульсом от старт-генератора /в зависимости от режима работы/ вырабатывает сигнал возвращения старт- /только М3/ и стоп-триггеров в исходное состояние и, следовательно, остановку обоих генераторов. В этот момент в счетчиках

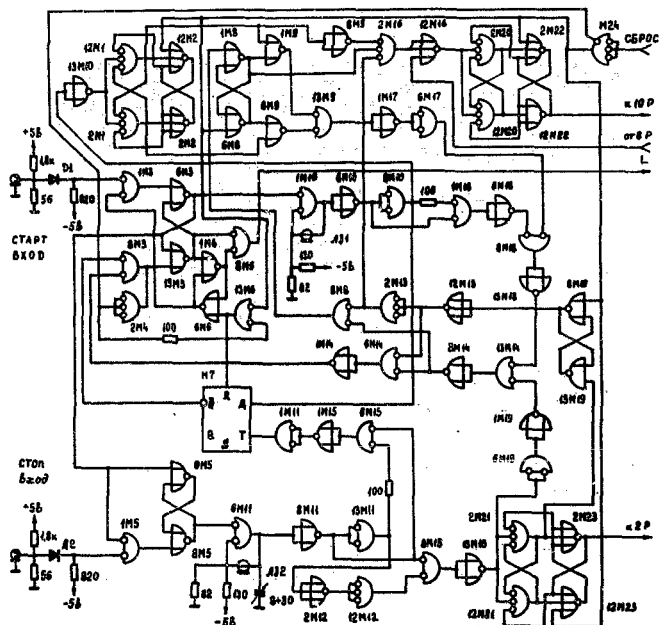


Рис. 3. Принципиальная схема конверторной части преобразователя время-цифра /M1, M2, M4, M12, M13, M16, M20±M23 - 1ЛБ372, M24 - 1ЛБ371, M7 - 1ТР382, M3, M5, M6, M8±M11, M14, M15, M17±M19 - 1ЛБ383; диоды Д1, Д2 - КД503Б/.

записана информация об измеряемом интервале времени, старт- и стоп-входы заблокированы, а на выходе блока появляется сигнал 'L'. Информация в счетчиках хранится до момента поступления от ЭВМ сигнала сброса. В блоке преобразователя имеется дополнительный стабилизированный источник питания -5в /СИП/ с коэффициентом стабилизации 6 относительно источника -6в, от которого питаются старт- и стоп-триггеры, старт- и стоп-генераторы, СС и СВР.

На рис. 3 показана принципиальная схема конверторной части преобразователя, которая выполнена на интегральных микросхемах с эмиттерной связью /20/ Первые разряды счетчика периодов и нониусного счетчика /1Р и 9Р/ также осуществлены на интегральных микросхемах с эмиттерной связью, остальные разряды счетчиков и дешифратор команд САМАС = на интегральных микросхемах серии ТТЛ.

Краткие характеристики

Входы:

Старт-вход	блокируется после прихода старт-импульса
Стоп-вход	блокируется в нормальном состоянии
Импеданс	- 50 Ом
Коэффициент отражения	- $\leq 0,15$
Полярность импульсов	- отрицательная
Уровни логических сигналов	- NIM /0÷0,8В/
Допустимая длительность импульсов по каналу старт	- 5 нсек $(n_1 + n_2) \times 30$ нсек *
Допустимая длительность импульсов по каналу стоп	- 5 нсек $n_2^* \times 30$ нсек
Мертвое время по каналу старт	
1/ при приходе только старт-сигнала	- 7,5 мксек.
2/ при совместном приходе старт-и стоп-сигналов	- равно мертвому времени схемы преобразования

Схема преобразования:

Диапазон измеряемых интервалов	- от 110 нсек до 7,5 мксек
Интегральная нелинейность	- 1%
Предельное разрешение	- 110 нсек
Мертвое время	- $(n_1 + n_2)^* \times 30$ нсек

* n_1 - число отсчетов счетчика периодов, n_2 - число отсчетов нониусного счетчика.

Температурный дрейф - 0,3%/°C
Число каналов - 2¹⁶

Управление от ЭВМ:

Функции САМАС-F(2) чтение со сбросом
-F(8) проверка L
-F(9) сброс
-A(0) субадрес

Сигналы - Z, Q, N, L, S₁, S₂, R₁ ÷ R₁₆

Дополнительные возможности. Допустимо расширение диапазона измеряемых временных интервалов путем подключения к выходу блока счетчика импульсов.

На рис. 4 показана интегральная характеристика преобразователя для диапазона 0 ÷ 30 мсек. На рисунке отмечены:

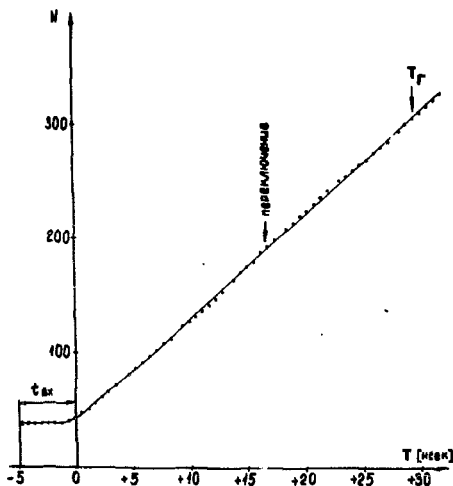


Рис. 4. Интегральная характеристика преобразователя.

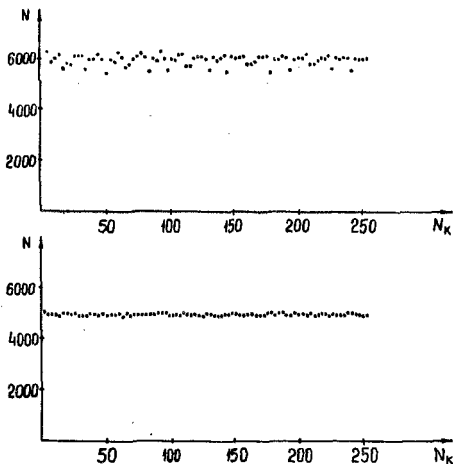


Рис. 5. Характеристика дифференциальной нелинейности преобразователя для диапазонов а/ 235 нсек / $\Delta N_k = 0,88$ нсек/, б/ 7,2 мсек / $\Delta N_k = 28,2$ нсек/.

а/ точка, соответствующая переключению в схеме, с которым связан фазовый сдвиг колебаний старт-генератора по отношению к стоп-генератору /переключение/;
 б/ точка, выделяющая диапазон измерений, равный длительности периода стоп-генератора / T_r /.

Блок испытывался на линии с ЭВМ /НР2116В/. Тестовая программа работала под управлением операционной системы реального времени и вызывалась с теле-тайпа. Применение стандартного вызова программы-драйвера, обслуживающего блоки системы, дает время на выполнение каждой функции САМАС - 2 мсек, а на запись одного события в анализаторный массив - примерно 10 мсек. Применение специализированного вызова сократило время обработки одного события до 150 мсек, сохраняя при этом все возможности операционной системы реального времени. Результаты испытания блока с помощью ЭВМ от генератора случайных интервалов представлены на рис. 5.

На рис. 6 для иллюстрации показано снятое с помощью преобразователя временное распределение сигналов "Быстрое ИЛИ" с пропорциональной камеры, полученное на пучке π^- -мезонов синхрофазотрона. Развитие описанного способа измерения временных интервалов возможно путем сочетания описанного выше комбинированного нониусного метода с методом многократного нониуса [21]. Метод многократного нониуса позволяет повысить быстродействие нониусных измерителей временных интервалов, а также снизить требования к стабильности старт- и стоп-генераторов.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность В.И.Какуриной и А.А.Виноградовой за подготовку и оформление документации.

Литература

1. R.D.Barton and J.S.Wadden. *Nucl. Instr. and Meth.*, 92, 403-412(1971).
2. S.H.Neddermeyer et al. *Rev.Sci.Instr.*, 18, 488 (1947).
3. J.W.Keuffel. *Rev.Sci.Instr.*, 20, 197 (1949).
4. G.K.O'Neill. *Rev.Sci.Instr.*, 26, 285 (1955).
5. R.G.Baron. *Proc. IRE*, 45, No. 1, 21-30 (1957).
6. H.W.Lefevre and J.T.Russel. *IRE Trans.*, NS-5 (1958).
7. А.А.Курашов и др. *АЭ*, 5, 135/1958/.
8. J.Cressivel, P.Wilde. *Proc. EANDC Conf., Karlsruhe*, 300, 1964.
9. W.H.Venable. *Rev.Sci.Instr.*, 37, 1443, 1966.
10. В.М.Гребенюк, И.Ф.Колпаков. *Препринт ОИЯИ*, 13-3271, Дубна, 1967.
11. R.Barton and M.E.King. *Nucl.Instr. and Meth.* 97, 359-370 (1971).
12. J.Aveynier and R. van Zurk. *Nucl.Instr. and Meth.*, 78, 161 (1970).
13. А.А.Иванов. *ПТЭ*, №1, 111-114 /1966/.
14. P.J.Kindlmann and J.Sunderland. *Rev.Sci.Instr.*, 37, 445 (1966).
15. P.Durand et al. *Nuclear Electronics. Paris Conf., Proc.*, 651, 1963.
16. H.Meyer. *Nucl.Instr. and Meth.*, 40, 149 (1966).
17. J.Thenard, G.Victor. *Nucl.Instr. and Meth.*, 40, 318 (1966).
18. J.D.Wiedwald. *IEEE Trans.*, NS-20, No. 1, 242 (1973).
19. С.Г.Басиладзе, В.Тлачала. *Нуклеоника*, Т XIX, No. 4, 1974.
20. К.А.Валиев и др. *Электронная промышленность*, вып. 7 /13/, стр. 56 /1972/.
21. А.А.Богородицкий и др. *ПТЭ*, №5, 89-91 /1972/.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 декабря 1973 года.

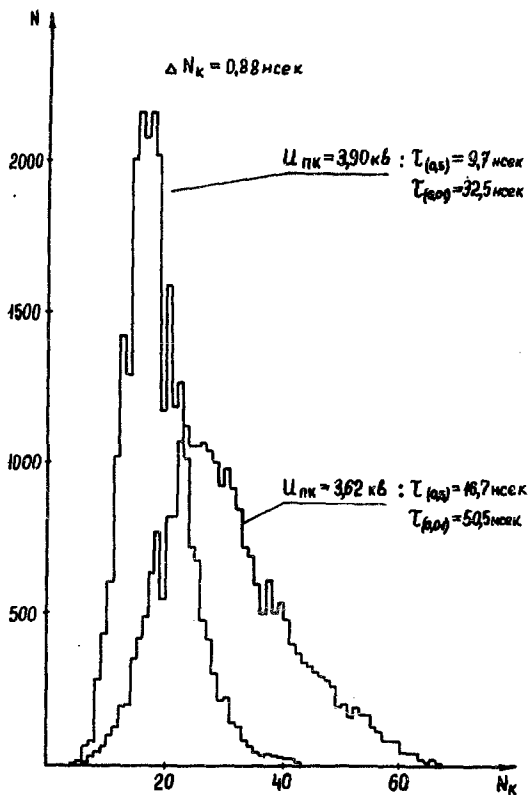


Рис. 6. Временное распределение сигналов "Быстрое ИЛИ" пропорциональной камеры, снятое на пучке π^- -мезонов синхрофазотрона.