

УДК: 539.1.075:621.314

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ ДЛЯ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР

*И.Р.Русанов, И.Х.Атанасов**

В работе описывается 32-канальный многостоповый преобразователь время—код M1102 Multihit TDC для измерения времени дрейфа частиц в дрейфовых камерах. Измерение времени основано на двухканальном методе прямого счета с интерполятором на основе фазового кодирования. Наличие фазового интерполятора позволяет получить временное разрешение 2 нс. При опорной частоте 64 МГц мертвое время измерительного канала составляет 80 нс, диапазон измерений времени — 8 мкс. Измерение времени возможно в двух режимах: «общий старт» и «общий стоп». Модуль выполнен в стандарте КАМАК.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и в Институте ядерных исследований и ядерной энергетики БАН.

Multichannel Time-to-Digital Converter for Drift Detector

*I.R.Russanov, I.H.Atanassov**

The 32-channel time-to-digital converter M1102 Multihit TDC is described in the work. The time measurement is based on the direct transformation method. The presence of the digital interpolator permits one to achieve the time resolution of 2 ns, for 64 MHz clock. The dead time of the measuring channel composes 80 ns, the time measuring range — 8 μ s. The time measurement is possible in the regimes of «general start» and «general stop». The module is manufactured in the CAMAC standard.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR and at the Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, BAS.

1. Введение

Современные эксперименты в ядерной физике, связанные с регистрацией сотен частиц в трековых детекторах, требуют разработок многоканальных многостоповых измерителей временных интервалов. В этих случаях к регистрирующей электронике предъявляется ряд основных требований [3,4,5]:

- многоканальность,
- временное разрешение $\Delta t = 1 - 2$ нс,
- минимальное мертвое время канала, что позволяет регистрировать многотрековые события,
- уменьшение времени передачи одного события в ЭВМ,

*ИЯИЯЭ БАН, София

- исключение нулевой информации и передачи только значащей,
- возможность работы блоков ПВК в режиме «общий стоп».

В экспериментах с жесткими требованиями к долговременной стабильности, дифференциальной и интегральной нелинейности временных кодировщиков широкое применение нашли преобразователи с использованием прямого заполнения измеряемого интервала импульсами тактового генератора [1,2]. Для ряда применений преобразователи этого типа обладают недостаточным временным разрешением. Повышенным требованиям к временному разрешению удовлетворяют измерители с преобразователем комбинированного типа [4,5]. В преобразователях комбинированного типа основная часть измеряемого интервала оценивается грубо, по количеству целых периодов образцовой тактовой серии, заполнивших измеряемый интервал. Остаточный интервал оценивается более точным методом, с использованием интерполяторов.

2. Описание преобразователя время—код

В настоящей работе описывается 32-канальный многостоповый преобразователь время—код (ПВК), который предназначен для измерения времени дрейфа частиц в дрейфовых камерах.

Основу данного модуля составляет (рис.1) ПВК, работающий по двухканальному счетно-импульсному методу с интерполятором на основе фазового кодирования, блок

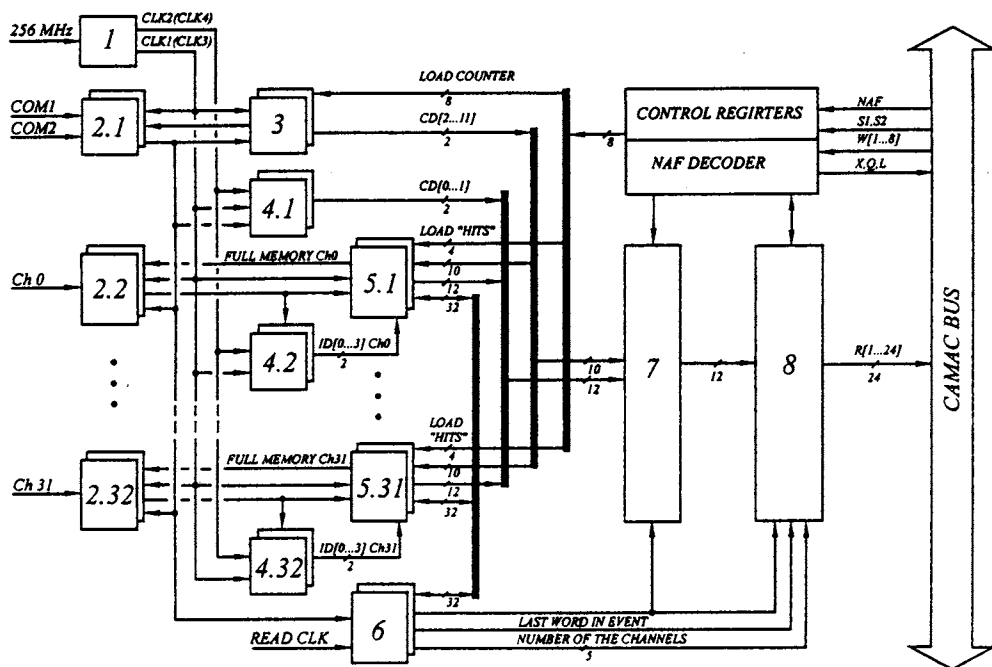


Рис.1. Блоковая схема преобразователя время—код: 1 — формирователь тактовых сигналов, 2 — схемы селекции и синхронизации, 3 — счетчик «грубо», 4 — интерполяторы, 5 — память измерительного канала, 6 — управление памяти, 7 — блок вычисления действительного значения оценки временного интервала, 8 — буфер типа FIFO

отбора входных сигналов, буферная память, блок вычисления действительного значения измеряемого временного интервала и буфер типа FIFO на шестнадцать измерений.

В ПВК предусмотрены два режима измерения: с «общим стартом» и с «общим стопом».

2.1. Работа ПВК в режиме «общий старт»

На рис.2 представлена временная диаграмма работы преобразователя время—код в режиме работы с сигналом «общий старт». Из-за недостаточного быстродействия интегральных схем, на которых базируется ПВК, пришлось прибегнуть к применению двухканального метода измерения временных интервалов. Сущность метода состоит в одновременной оценке измеряемого интервала по двум одинаковым шкалам, сдвинутым друг относительно друга на 2 нс. Первая шкала формируется от эталонных тактовых сигналов CLK1—CLK2, а вторая — от CLK3—CLK4. Тактовые сигналы в каждой шкале сдвинуты на 4 нс.

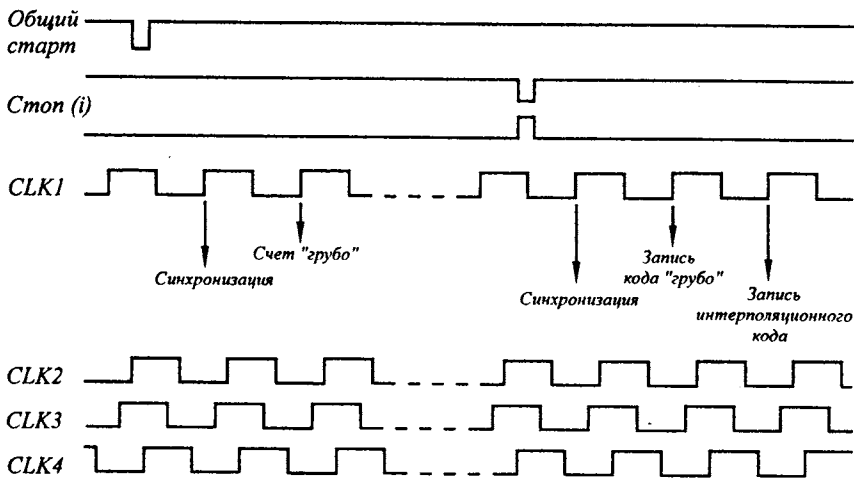


Рис.2. Временная диаграмма работы ПВК с сигналом «общий старт»

С момента окончания приема данных от предыдущего события и их передачи в буферную память типа FIFO ПВК становится чувствительным к поступающим с детекторов сигналам. При появлении сигнала «общий старт», несущего информацию о начале временных интервалов, измеряется временное положение его переднего фронта относительно положительного фронта следующего за ним импульса тактовой серии CLK1 (или CLK3). Для этого используется два двухразрядных интерполятора.

На рис.3 изображена схема фазового интерполятора, который является индивидуальным для каждого измерительного канала. Четыре триггера являются регистратором временного положения стартового (стопового) импульса относительно опорных импульсов. Временная метка, несущая информацию о «точном» времени, со схемы се-

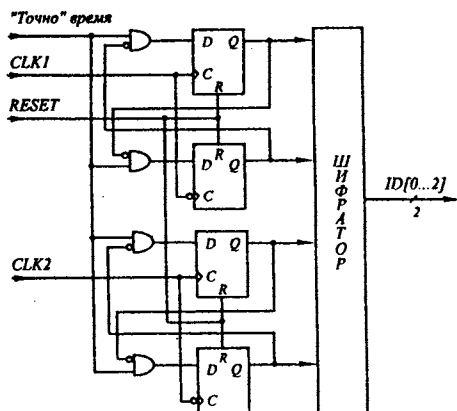


Рис.3. Блоковая схема интерполятора

лекции входных сигналов поступает на D -входы триггеров. В это время на их тактовые входы поступают фазы $CLK1$ — $CLK2$ (или $CLK3$ — $CLK4$). Каждая фаза управляет двумя триггерами. Первый из них переключается по положительному перепаду тактовых импульсов, а второй — по отрицательному. Сигналы с выходов триггеров поступают на 4-входовый приоритетный шифратор, формирующий цифровой код интерполяции.

После срабатывания интерполятора, с синхронизацией стартового импульса относительно импульсов тактового сигнала $CLK1$ (или $CLK3$), инициализируется начало счета «грубо». «Грубое» преобразование

измеряемых интервалов в цифровой код выполняется при помощи 9-разрядного синхронного счетчика. На тактовый вход счетчика в каждом измерительном цикле с выхода схемы синхронизации в стартовом канале подается последовательность импульсов, которая начинается с первого опорного импульса, следующего за стартовым сигналом.

С момента прихода сигнала «стоп» также происходит интерполяция его временного положения и синхронизация относительно импульсов тактового сигнала $CLK1$ (или $CLK3$). Входные селекторы блокируют каждый вход измерительного контура на время обработки текущей реализации случайного потока входных сигналов. Запись в буферную память текущего состояния выходов счетчика, соответствующего времени «грубо», осуществляется по положительному фронту второго за стоповым сигналом тактового импульса. По третьему тактовому импульсу опорной серии производится запись интерполяционного кода. Следует смена адресов памяти и сброс входного селектора сработавшего канала. После этого ПВК готов к измерению временных координат следующего стопового импульса. При тактовой частоте эталонной серии $f = 64$ МГц мертвое время составляет 80 нс.

После завершения каждого измерительного цикла модуль переключается в режим счета данных. Оценка измеряемого временного интервала определяется из соотношений:

— относительно тактовой серии $CLK1$ — $CLK2$:

$$N_A = N_{GA} + N_{1A} + (3 - N_{2A}), \quad (1)$$

где N_{GA} — число отсчетов «грубо», N_{1A} и N_{2A} — коды интерполяции;

— относительно тактовой серии $CLK3$ — $CLK4$:

$$N_B = N_{GB} + N_{1B} + (3 - N_{2B}), \quad (2)$$

где N_{GB} — число отсчетов «грубо», N_{1B} и N_{2B} — коды интерполяции.

После этого определяется действительное значение оценки измеряемого временного интервала:

$$T \approx \Delta T (2N_A + 1), \text{ если } N_A < N_B,$$

$$T = 2\Delta T N_A, \text{ если } N_A = N_B,$$

$$T = \Delta T (2N_B + 1), \text{ если } N_A > N_B.$$
(3)

Для синхронизации интерполяционного кода и кода «грубо» используется двухступенчатая схема синхронизации. Кроме этого, необходимо сдвинуть сигнал «общий старт» на $\Delta t = 2$ нс для тактовых сигналов CLK3—CLK4 относительно этого же сигнала для тактовых сигналов CLK1—CLK2.

Для записи и хранения результатов преобразований используется буферное запоминающее устройство емкостью 512x12 битов. Для каждого измерительного канала организована 12-разрядная ячейка памяти при глубине 16 слов (рис.4). В режиме записи каждая ячейка последовательно сканируется собственным 4-разрядным адресным счетчиком (АСЧ). В начальном состоянии все его разряды приведены в состояние, соответствующее заданному количеству регистрируемых стоповых сигналов.

После записи временных координат первого стопового сигнала в буферную память формируется сигнал EMPTY(i), который указывает на то, что в сработавшем канале имеются ненулевые данные (здесь i — номер канала). После записи информации вре-

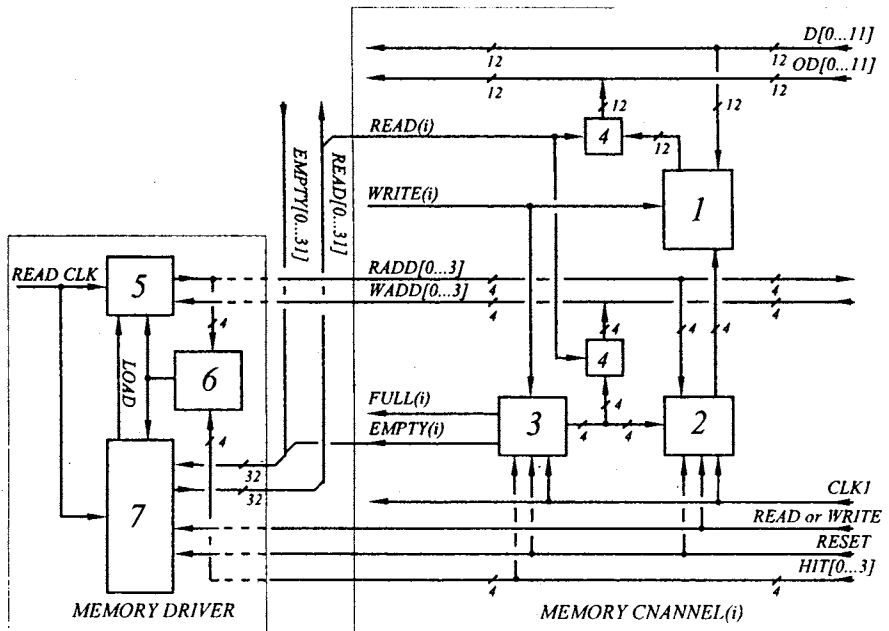


Рис.4. Блочная схема буферной памяти: 1 — память, 2 — мультиплексор адресов, 3 — адресный счетчик (АСЧ), 4 — буфер, 5 — общий адресный счетчик (ОАСЧ), 6 — компаратор, 7 — логика управления

менного положения последнего заданного стопового импульса каждая ячейка блокируется по сигналу FULL(i).

При выводе данных буферная память, начиная с ячейки первого канала, сканируется в порядке убывания адресов. Для этого используется общий адресный счетчик (ОАСч), который работает в режиме вычитания. В каждом канале предусмотрен мультиплексор адресов, управляемый по сигналу READ or WRITE. После завершения каждого измерительного цикла и обнаружения наличия ненулевых данных в ПВК модуль переключается в режим их считывания. При помощи шифратора и сигналов EMPTY [1... 32] определяется последовательность считывания сработавших каналов и номер текущего канала. Затем формируются сигналы READ(i) и LOAD:

— по сигналу READ(i) разрешается считывание данных из первого канала, в котором есть ненулевые данные;

— по сигналу LOAD загружается содержимое адресного счетчика, управляющего буферной памятью выбранного канала, в общий адресный счетчик.

Момент окончания съема значащей информации из данной ячейки определяется при помощи компаратора. Условием окончания съема является равенство между состоянием ОАСч и заданным количеством стоповых сигналов, регистрируемых в каждом канале. После этого снимается информация со следующей ячейки, в которой имеются ненулевые данные.

Данные из ПВК записываются в буфер типа FIFO. Время передачи данных в буфер определяется из соотношения

$$T_w = 1 + 0,25 \sum_{i=1}^M H_i \text{ [мкс]}, \quad (4)$$

где M — количество сработавших каналов, H_i — количество стоповых сигналов в i -м канале; при $H_{\max} = 32$ и $H_{\max} = 16$ полное время передачи данных составляет $T_{w\max} = 129$ мкс.

2.2. Работа ПВК в режиме «общий стоп»

На рис.5 представлена временная диаграмма работы ПВК в режиме «общий стоп». В этом режиме, кроме сигнала «общий стоп», необходим также и сигнал «начало измерения», по которому инициализируется измерение временных интервалов. «Грубое» преобразование интервалов в цифровой код выполняется при помощи 10-разрядного кольцевого счетчика. Старший разряд счетчика «грубо» используется для того, чтобы при чтении не появилась неоднозначность в значениях времени, принадлежащих разным периодам сканирования (период сканирования равен 8 мкс). При переходе к новому периоду сканирования старший разряд счетчика «грубо» устанавливается противоположно. Для сохранения этой информации дополнительно был использован один разряд быстрой буферной памяти каждого измерительного канала.

В этом режиме запись в буферную память осуществляется до появления сигнала «общий стоп», при переполнении (запись в измерительном канале на 16 временных координат) память не блокируется. Для этого ячейка каждого измерительного канала

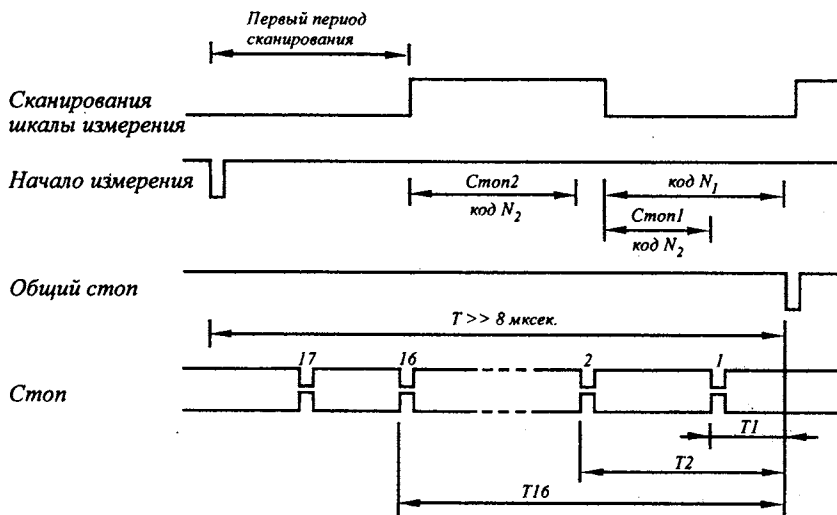


Рис.5. Временная диаграмма работы ПВК с сигналом «общий стоп»

сканируется 4-разрядным кольцевым адресным счетчиком. В начальном состоянии все разряды адресного счетчика сброшены.

После появления сигнала «общий стоп» измерение прекращается, текущее состояние счетчика «грубо» сохраняется. При наличии ненулевых данных модуль устанавливается в режиме счета данных. В начальный момент определяется последовательность считывания измерительных каналов при помощи шифратора и сигналов EMPTU[1 ...32]. Затем формируется сигнал READ (i), по которому загружается содержимое адресного счетчика, управляющего буферной памятью выбранного канала, в общий адресный счетчик считывания.

При выводе данных каждая ячейка буферной памяти сканируется в порядке убывания адресов. Процесс чтения ячейки буферной памяти прекращается в следующих случаях:

- сигнал $FULL(i) = 0$. Информация занимает меньше 16 адресов, и зарегистрированное количество сигналов в измерительном канале меньше, чем заданное. Условием окончанием является установление ОАСч в состояние «0000»;

- сигнал $FULL(i) = 0$. Информация занимает меньше 16 адресов, и зарегистрированное количество сигналов в измерительном канале больше, чем заданное. Состояние общего адресного счетчика уменьшается на заданное количество стоповых сигналов;

- сигнал $FULL(i) = 1$. Информация занимает 16 адресов. Состояние общего адресного счетчика уменьшается на заданное количество стоповых сигналов;

- если оценка временного интервала больше 8 мкс.

Эти условия отвечают всем возможным вариантам записанной информации и обеспечивают счета только значащей информации.

Истинное значение измеряемого интервала определяется из соотношения:

если состояние старшего разряда счетчика «грубо» и состояние того же самого разряда при регистрации сигнала «стоп» одинаковые, то

$$T = \Delta T(N_1 - N_2), \quad (5)$$

иначе

$$T = \Delta T(N_1 + (4095 - N_2)), \quad (6)$$

где N_1 — код временной координаты сигнала «общий стоп», N_2 — код временной координаты стопового сигнала, $\Delta T = 2$ нс — «цена канала».

3. Заключение

Разработан преобразователь время—код в стандарте КАМАК. В модуле предусмотрены следующие возможности:

- измерительный диапазон, программируемый от 32 нс до 8,196 мкс (с шагом 32 нс);

- максимальное количество регистрируемых сигналов в каждом измерительном канале, программно задаваемое от 1 до 16;

- измерение временного интервала осуществляется по положительному или по отрицательному фронту управляющих сигналов;

- два режима работы: «общий старт» и «общий стоп»;

- буферизация данных, осуществляемая при помощи памяти типа FIFO. Буфер рассчитан на 16 событий для каждого канала.

Проверка работоспособности ПВК M1102 Multihit TDC и измерение дифференциальной нелинейности сделаны при помощи двух генераторов тактовых сигналов. Первый задавал сигнал «общий старт», а второй — стоповые сигналы. Дифференциальная нелинейность составляет 2 %.

Авторы выражают благодарность А.Г.Литвиненко и С.В.Афанасьеву за интерес к работе и полезные обсуждения. Мы очень признательны профессору В.Н.Пеневу за постоянное внимание и поддержку нашей работы в Дубне.

Литература

1. Цитович А.П. — Ядерная электроника. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Мелешко Е.А. — Наносекундная электроника в экспериментальной физике. М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Данилевич В.В. — ПТЭ, 1987, №3, с.7.
4. Замятин Н.И. — ОИЯИ, 13-88-457, Дубна, 1988.
5. Passaseo M., Petrolo E., Veneziano S. — NIM; 1995, A367, p.418.