

И Н С Т И Т У Т ¹²
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

ПРЕПРИНТ И ЯФ 76 - 24

В.М.Аульченко

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ВРЕМЯ-ЦИФРОВОЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Новосибирск

1976

Препринт

В.М.Аульченко

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ВРЕМЯ-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

г.Новосибирск

1976 г.

АННОТАЦИЯ

Описывается комбинированный время-цифровой преобразователь, в котором измерение временных интервалов с точностью до периода тактовой частоты ведется прямым способом, а измерение внутри периода - преобразованием "время-амплитуда-код".

Преобразователь позволяет измерять временные интервалы до 4 мкс с разрешением 100 пс. Дифференциальная нелинейность преобразования не более $\pm 1,5\%$, интегральная ошибка измерения временных интервалов не более ± 100 пс.

Приводятся принципиальная схема преобразователя, описание принципа работы и результаты температурных испытаний; описываются способы измерения дифференциальной и интегральной нелинейностей и разрешающего времени преобразователя.

Развитие методики проволочных пропорциональных камер, съем информации с которых осуществляется с помощью линии задержки/1,2/, потребовало создания измерителей временных интервалов (время-цифровых преобразователей) с разрешением $\sim 0,1$ нс и числом каналов до нескольких десятков тысяч.

Преобразователи, работающие по принципу прямой кодировки временных интервалов с помощью тактовой частоты, имеют практически неограниченный диапазон измеряемых интервалов, работают в реальном масштабе времени и очень просты в изготовлении, но их разрешающее время ограничивается несколькими наносекундами.

Уменьшение разрешающего времени без дальнейшего увеличения тактовой частоты достигается использованием косвенных методов измерения, к которым относятся преобразование "время-амплитуда-код" и нониусный метод. Наибольшее распространение получил первый способ. Преобразователи, работающие по этому способу, имеют высокое разрешение, достаточно просты в изготовлении, но число каналов в таких преобразователях ограничивается нестабильностями преобразования и не превышает $\sim 10^3$.

Преобразователи, использующие нониусный метод, имеют достаточно широкий диапазон измеряемых интервалов времени при высоком разрешении, но требуют очень стабильных управляемых генераторов тактовой частоты, сложны в изготовлении и настройке. По этим причинам они не нашли сколь-нибудь широкого распространения.

Из сказанного следует, что каждый из рассмотренных способов в отдельности не решает поставленной задачи. Поэтому нами был разработан время-цифровой преобразователь, использующий комбинированный метод измерения временных интервалов.

Суть комбинированного метода заключается в том, что по сигналу "старт" начинается счет периодов тактовой частоты. По сигналу "стоп" счет прекращается и происходит точное измерение временного интервала между импульсом "стоп" и следующим после него импульсом тактовой частоты. Это измерение осуществляется одним из косвенных способов. Временной интервал между импульсами "старт" и "стоп" оказывается закодированным двумя числами: N_1 - число периодов тактовой частоты и N_2 - число, полученное в результате точного измерения. Номер канала, соответствующий измеряемому интервалу, определяется по формуле:

$$N = N_1 K - N_2 \quad (1)$$

где K - коэффициент преобразования. Этот коэффициент показывает какому значению N_2 соответствует временной интервал, равный периоду тактовой частоты. Здесь подразумевается, что генератор тактовой частоты управляется импульсом "старт".

Управляемый генератор тактовой частоты схемно может быть выполнен как совместно с собственно преобразователем, так и в виде отдельной схемы. По некоторым соображениям, о которых речь пойдет ниже, описываемый время-цифровой преобразователь выполнен без управляемого генератора. Схема преобразователя приведена на рис. I.

Работа происходит следующим образом. По сигналу "старт" на вход "старт" преобразователя начинают поступать импульсы тактовой частоты, которые считаются в пересчетной схеме ПС1. По сигналу "стоп", подаваемому на вход "стоп" преобразователя, счет импульсов тактовой частоты прекращается. Прежде, чем поступить на схему запрета счета, (ПС1), сигнал "стоп" проходит через схему синхронизации для того, чтобы прекращение счета

происходило всегда в одной и той же фазе тактовой частоты. Тем самым устраняются всякие неопределенности при совпадении импульсов запрета и счетного фронта импульсов тактовой частоты. Таким образом происходит измерение временного интервала между началом цуга импульсов тактовой частоты и импульсом "стоп" с точностью до одного периода.

Положение сигнала "стоп" внутри периода определяется с помощью преобразования "время-амплитуда-код". По сигналу "стоп" начинается заряд емкости памяти постоянным током. Заряд прекращается импульсом с выхода схемы синхронизации. Полученная амплитуда усиливается в 10 раз усилителем на полях транзисторах и подается на аналого-цифровой преобразователь/3/. Для преобразования используется та же тактовая частота (30 МГц). Число, пропорциональное амплитуде, запоминается в ПС2. Коэффициент преобразования сделан таким, что временной интервал, равный периоду тактовой частоты, кодируется числом ~500. Числа, хранящиеся в ПС1 и ПС2, передаются в ЭВМ, которая выполняет следующую операцию:

$$N = N_1 K - N_2 \frac{500}{K}$$

Таким образом получается число N (номер канала), пропорциональное временному интервалу между началом цуга тактовой частоты и импульсом "стоп".

При использовании комбинированного метода важно обеспечить сшивание грубой и точной шкал преобразователя. Сшивание обеспечивается стабильностью коэффициента преобразования и автоматической калибровкой.

По сигналу "калибровка", передаваемому из ЭВМ, блокируется вход "стоп" и в качестве стоповых сигналов используются импульсы тактовой частоты. В ПС2 фиксируется некоторое число

$N_2(t_0)$, определяемое **лишь** внутренними параметрами схемы. Это число передается в ЭВМ. После этого ЭВМ передает сигнал "+T", по которому время заряда емкости памяти увеличивается на один период тактовой частоты, и в ПС2 фиксируется число $N_2(t_0+T)$. Это число также передается в ЭВМ. Разность $N_2(t_0+T) - N_2(t_0)$ и определяет коэффициент преобразования К.

Как уже отмечалось, генератор тактовой частоты управляется импульсом "старт". Но управляемые генераторы имеют некоторое конечное время установления номинальной частоты и амплитуды после подачи управляющего сигнала, что неизбежно приводит к ошибкам при измерении временных интервалов. Поэтому для увеличения точности более предпочтительным является использование генератора, работающего непрерывно. В этом случае требуется дополнительно измерять время между импульсом "старт" и первым сосчитанным импульсом тактовой частоты. Это приводит к усложнению схемы преобразователя.

Без усложнения схемы можно обойтись, если использовать два преобразователя, описанных выше. Схема включения показана на рис.2. Стартовым сигналом здесь является некоторый **об- щий** запускающий сигнал, например, от сцинтилляционных счетчиков или с анодной плоскости камеры. Сигналы, интервал времени между которыми требуется измерить, используются в качестве стоповых.

Поскольку для определения номера канала, соответствующего измеряемому интервалу, следует взять разность показаний преобразователей, то величина и стабильность задержки в канале общего запуска не влияют на результаты измерения. Следует лишь устранить неопределенности, возникающие при совпадении **счетного** фронта импульсов тактовой частоты и сигнала запуска. Для этого импульсы от кварцевого генератора (30МГц) и сиг-

нал запуска подаются на схему синхронизатора (рис.3). Аналогичная схема используется и в самом преобразователе. Синхронизатор по сигналу запуска пропускает на выход напряжение тактовой частоты начиная с некоторой определенной фазы.

На рис.4 приведены эпюры напряжений в различных точках схемы для некоторого произвольного момента времени прихода запускающего импульса относительно тактовой частоты. Момент появления цуга на выходе синхронизатора остается неизменным, если запускающий сигнал находится в интервале времени между точками "а" и "б" (график 2). Если запускающий сигнал выходит за эти пределы, то цуг на выходе синхронизатора смещается на один период тактовой частоты в соответствующую сторону.

Поскольку сигнал запуска и напряжение тактовой частоты не синхронизованы, то цуг на выходе синхронизатора появляется в некоторый момент времени $t_g = t_0 + \Delta t$ относительно сигнала запуска, где t_0 - постоянная задержка, а Δt - добавка, величина которой изменяется в интервале от 0 до T (период тактовой частоты). Причем все значения в этом интервале равновероятны. С выхода синхронизатора цуг тактовой частоты подается на входы "старт" время-цифровых преобразователей.

Испытания проводились с двумя преобразователями.

I. Измерение дифференциальной и интегральной нелинейности преобразователя и проверка стабильности коэффициента преобразования. Для измерения использовалась схема, приведенная на рис.5.

На первом этапе в качестве стартового сигнала и сигнала "стоп" использовался сигнал от одного и того же внешнего генератора. Поскольку частота внешнего генератора и тактовая частота не связаны, то число N_2 должно меняться в пределах от N_{2min} , определяемого внутренними параметрами схемы, до $N_{2min}+K$. Распределение чисел в интервале $N_{2min}+K \div N_{2min}$ должно быть **белым**.

Таким образом была измерена дифференциальная нелинейность преобразователя "время-амплитуда-цифра" при фиксированной задержке между стартовым и стоповым сигналами. Ее величина составила $\pm 1,5\%$.

Затем на "стоп" был подан сигнал от второго генератора $f = 500$ кГц (рис.6). Таким образом была проверена работа преобразователя "время-амплитуда-цифра" в интервале времен между запускающим сигналом и сигналом "стоп" от 0 до 2мкс. И в этом случае дифференциальная нелинейность не превысила $\pm 1,5\%$.

Интегральная ошибка измерения вычислялась по формуле:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=N_{2min}}^{N_{2max}} (\bar{n} - n_i)}{\bar{n}}$$

где

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=N_{2min}}^{N_{2max}} n_i}{N_{2max} - N_{2min}}$$

\bar{n} - среднее число импульсов в канале, n_i - число импульсов в канале с номером i . Полученное значение Δ не превышает $\pm 1,5$ канала, т.е. ± 100 пс.

Температурная зависимость коэффициента преобразования приведена в таблице I (рис.7).

2. Проверка сшивания грубой и точной шкал преобразователя.

Для измерения использовалась схема, приведенная на рис.8. Измерения проводились в пределах от 0 до 10 периодов тактовой частоты. Номер канала N определялся по формуле (1). Измерения показали, что сшивание происходит в пределах одного канала, что приводит к ошибкам измерения не более 60 пс. Интегральная ошибка, вычисленная описанным выше способом, не превышает ± 100 пс.

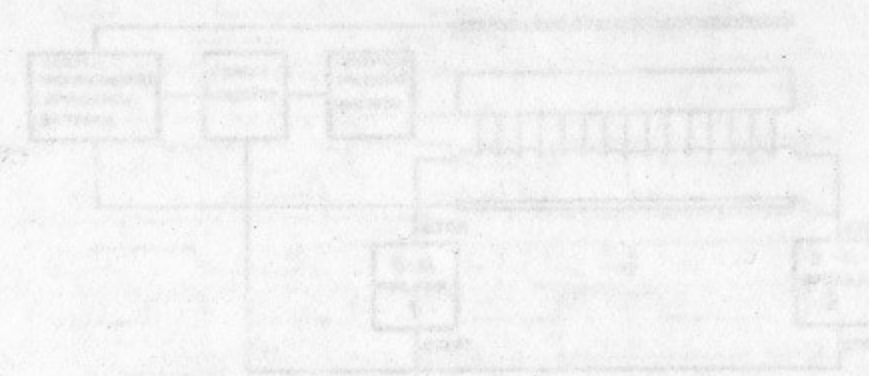
3. Измерения разрешающего времени системы из двух время-цифровых преобразователей.

Схема измерения приведена на рис.9. Номер канала вычислялся по следующей формуле:

$$N = N_1'' 500 - N_2'' \frac{500}{K''} - N_1' 500 + N_2' \frac{500}{K'}$$

На рис.10 приведены два распределения импульсов, полученные изменением задержки в канале "стоп" одного из преобразователей на 300пс. Из рисунка видно, что ширина распределения на полувысоте не превышает двух каналов, т.е. 120пс.

В заключение автор благодарит П.П. Кругликова, Ю.В. Усова, А.Е. Волкова за изготовление опытных образцов и помощь при проведении их испытаний, а также Б.Н. Шувалова за составление программы для ЭВМ.



ЛИТЕРАТУРА.

1. Grove, K. Lee, V. Perez-Mendez, Sperinde,
Nuclear Instr. and Methods, 89 (1970), 257.
2. А.Е.Бондарь, В.Р.Грошев, А.П.Онучин, Е.А.Панина, В.И.Тельнов.
Международная конференция по пропорциональным камерам,
г. Дубна, июнь, 1975 г.
3. В.М.Аульченко, Ю.В.Коршунов, Ю.В.Усов.
ПТЭ, №4, 1975 г.

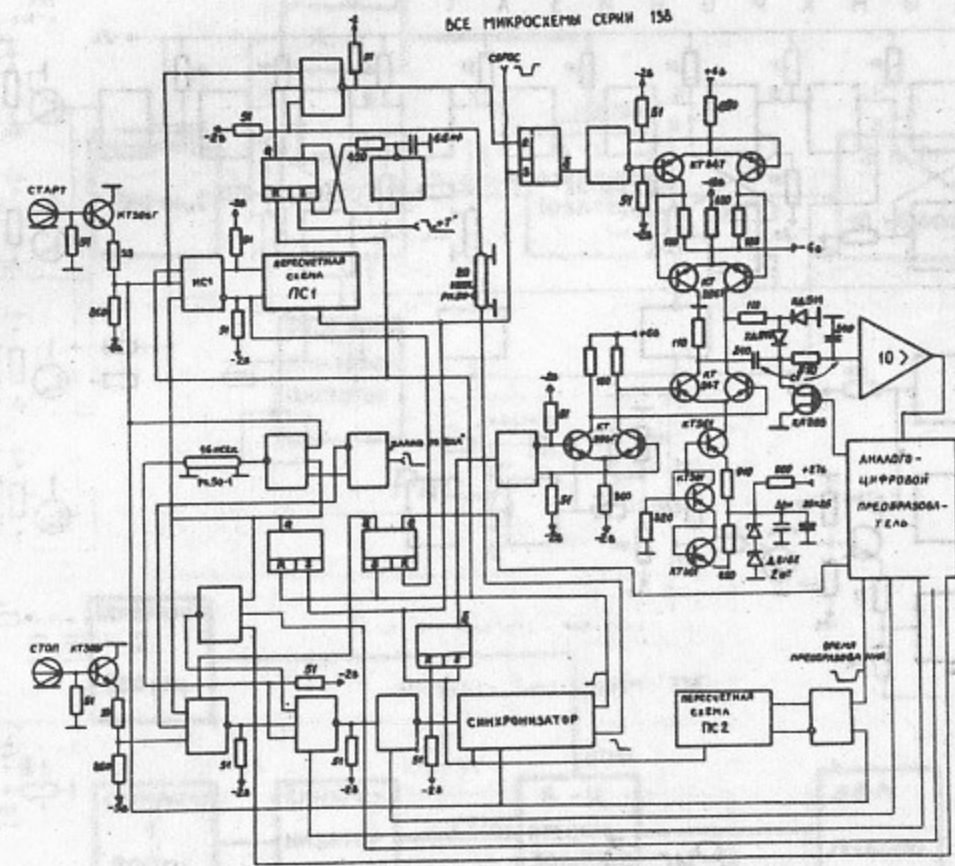


Рис. 1.

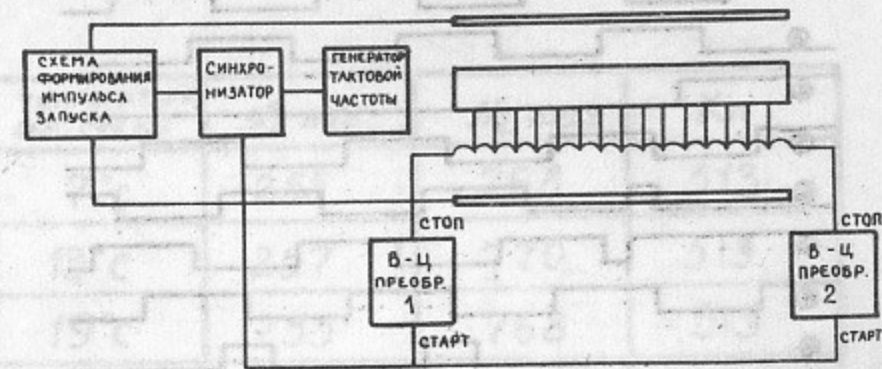


Рис. 2.

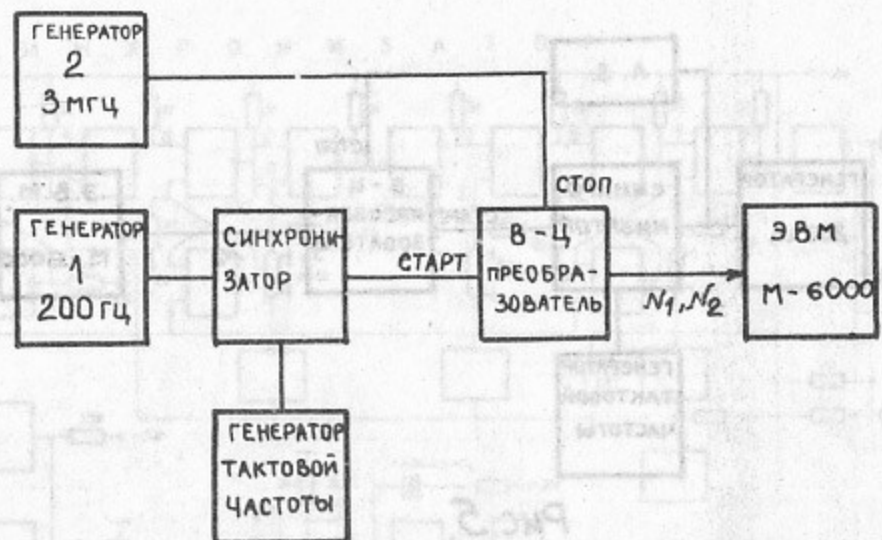


Рис. 8.

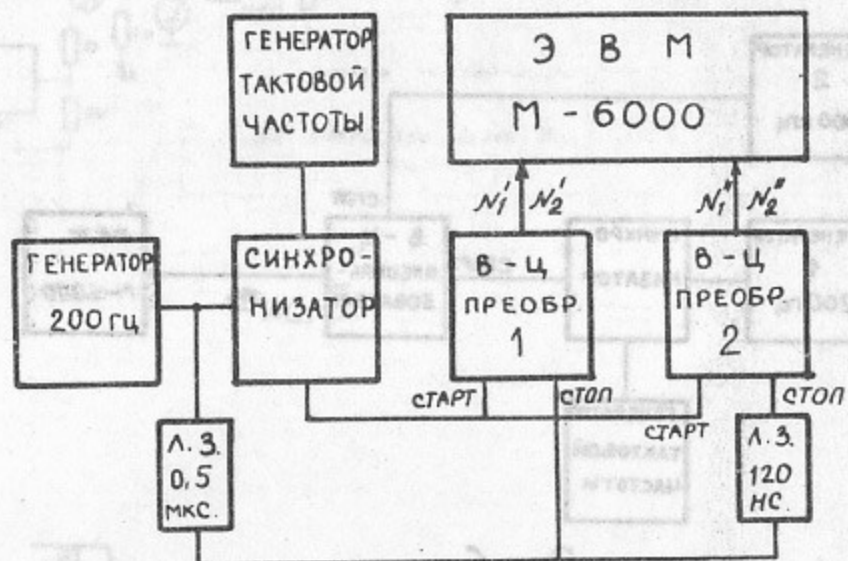


Рис. 9.

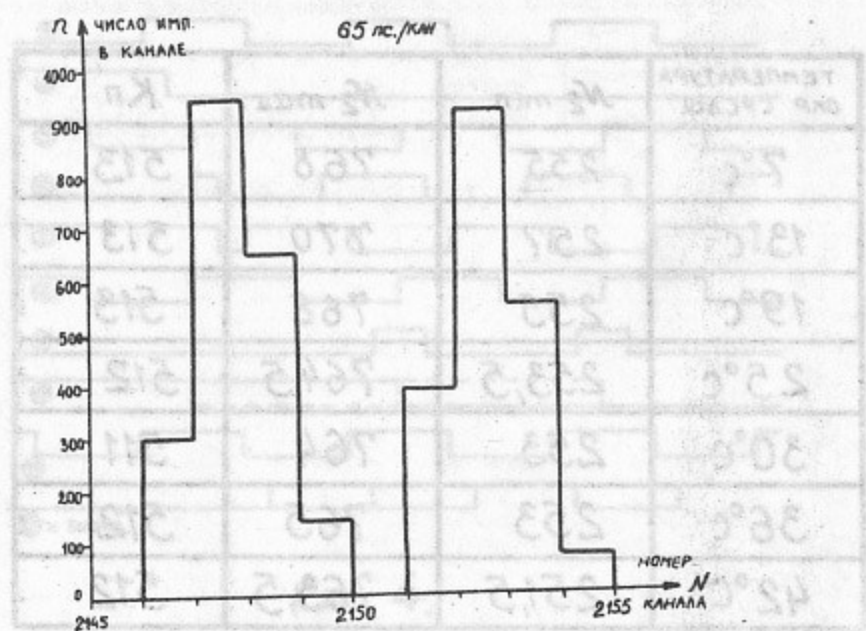


Рис. 10

Работа поступила - 6 февраля 1976 г.

Ответственный за выпуск С.Г.ПОПОВ
 Подписано к печати 24.III-1976 г. МН 02708
 Усл. 0,7 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно
 Заказ № 24

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР