

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-85-587

В.Н.Замрий, А.К.Самойлов

**МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
КОРОТКИХ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ
В ЗАПОМИНАЕМЫЕ СИГНАЛЫ НАПРЯЖЕНИЯ
С УСТРОЙСТВОМ ВРЕМЕННОЙ ПРИВЯЗКИ**

1985

Многоканальный преобразователь коротких временных интервалов в запоминаемые сигналы напряжения позволяет решить задачу измерения мгновенного значения множества временных параметров быстротекущего однократного или повторяющегося процесса. Для этого множество временных интервалов между заданными участками соответствующего числа импульсных сигналов "старт" и "стоп", поступающих по параллельным каналам одновременно или с малой относительной задержкой, преобразуют в множество амплитуд сигналов напряжения. Величины амплитуд быстро запоминают, и установившиеся уровни сигналов напряжения хранят достаточно продолжительное время для последующих измерений.

Разработка и исследование преобразователя "время - амплитуда - запоминаемый сигнал" /ВАП/ проводились с учетом условий измерения параметров линейного индукционного ускорителя ЛИУ-30^{1/1}. При этом решалась задача измерения временного положения ускоряющих импульсов, следующих с частотой $0 \div 50$ Гц от каждого из 52 модуляторов, с номинальной относительной задержкой ~ 14 нс и общей, суммарной задержкой ~ 720 нс. Возможности формирования временной отметки, временной привязки границ измеряемых интервалов к фронту или вершине импульсов, с длительностью соответственно ~ 100 и 500 нс, определяются условиями синхронизации их с пролетом пучка ускоряемых электронов. Предусмотрены блокировка входов преобразователя ВАП /по импульсам "старт" и "стоп"/ на время хранения аналоговых сигналов и последующая синхронная деблокировка /внешним сигналом "сброс" или формируемым задержанным импульсом/, а также возможность отбора входных импульсов по времени поступления /по сигналу "блокировка"/ с целью повышения помехозащищенности измерений.

Создание многоканального преобразователя ВАП позволяет применить достаточно экономичную схему многоканальных измерений на основе мультиплексирования аналоговых сигналов, общего аналого-цифрового преобразователя АЦП и контроллера КАМАК, процессора^{2/}. Ранее была применена аналогичная многоканальная схема измерения значений амплитуд ускоряющих импульсов ЛИУ-30, включающая также удаленную группу датчиков с коаксиальными кабелями равной длины $/194 \pm 0,1$ м/, изолирующие нормализаторы амплитуды и преобразователи амплитуды в запоминаемый сигнал напряжения /АП/, объединенные в блоки многоканального аналогового запоминающего устройства МАЗУ^{3/}. Общий измерительный тракт на основе быстрого многоканального АЦПМ может быть применен для измерения ~ 100 параметров, как амплитудных, так и временных, со скоростью 10^5 измер./с^{4/}. Для совместной работы в составе общего измерительно-

го тракта разрабатывались блоки ВАП, как и блоки АП с аналоговыми запоминающими устройствами, например, на основе расширителя импульсов напряжения /РИН/, способные хранить аналоговые сигналы, нормализованные в диапазоне $0 \div 5$ В, с погрешностью $0,05 \div 0,1\%$ в течение $\sim 1 \div 10$ мс. Блоки ВАП, необходимые для преобразования интервалов $\sim 10 \div 1000$ нс, характеризуются коэффициентом расширения РИН - не менее $P = 10^4 \div 10^6$ и коэффициентом преобразования $K = 5$ мВ/нс. Тогда при использовании в измерительном тракте 12-разрядного АЦПМ/4/ разрешение по напряжению - величина дискреты 2,5 мВ - соответствует разрешению по времени 0,5 нс. При проектировании блока ВАП предпринималась попытка применить аналоговые интегральные схемы выборки - хранения или РИН с коммутируемыми цепями заряда и разряда накопительного конденсатора. Возможность применения РИН обусловлена требуемой линейностью заряда в широком диапазоне длительностей входного импульса точной амплитуды. Проведенные исследования показали целесообразность применения гибридного микросхемного расширителя импульсов напряжения, использованного ранее в блоках МАЗУ с целью повышения его компактности и надежности, воспроизводимости, повторяемости стабильности характеристик каждого канала на уровне основной погрешности измерений $0,1\% / 3 /$. Это позволило создать в сменном блоке КАМАК минимальной ширины технологичный 4-канальный модуль ВАП с устройством временной привязки /УВП/. Из таких блоков ВАП-4 набирается преобразователь с заданным числом каналов.

Блок преобразователя ВАП-4, схема которого приведена на рис.1 в несколько упрощенном виде, содержит 4 идентичных канала I-IV, где 1 и 2 - входы сигналов "стоп" и "старт", 3 и 4 - схемы УВП, 5 и 6 - логические элементы для формирования преобразуемого импульса /с длительностью интервала между сигналами "стоп" и "старт"/ и для формирования сигнала управления РИН, 7 - формирователь импульса заданной амплитуды, 8 - операционный усилитель с парафазным выходом, 9 - включаемый генератор зарядного тока, 10 - повторитель напряжения, 11 - выход аналогового сигнала РИН, 12 - дискриминатор сигналов, 13 - ключ блокировки усилителя, 14 - компаратор сигналов, 15 - выключаемый генератор разрядного тока с парафазным выходом и 16 - ключ быстрого разряда. В составе общей схемы управления - логические элементы для формирования сигналов "блокировка" 17 и "сброс" 18, начальной установки 19 и задержанного сброса 20, а также стабильные источники /21, 22 и 23/ регулируемого и опорного напряжения - E, +E и E0. Сигналы "старт" и "стоп" после схем УВП проходят через первый логический элемент, когда это разрешается внешним сигналом 17, для установки соответствующих триггеров в состояние "1". Выходной инверсный сигнал триггера "старт" и сигнал триггера "стоп" подаются на элемент 5, выполняющий функцию И, а сигналы обоих триггеров - на элемент

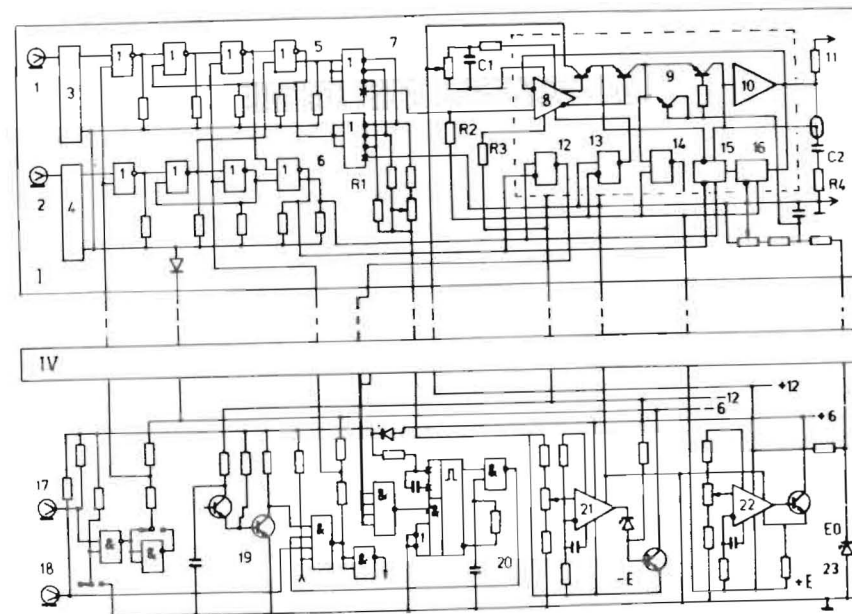


Рис.1

ИЛИ 6. Парафазные выходные сигналы элементов 5 и 6 управляют состоянием формирователя амплитуды 7 и разрядного генератора 15. После установки триггера "старт" выходной импульс формирователя 7 через усилитель 8 включает зарядный генератор 9, а сигнал управления 6 выключает разрядный генератор 15, и происходит заряд конденсатора C2. После установки триггера "стоп" импульс формирователя 7 заканчивается, зарядный генератор 9 выключается, и заряд конденсатора C2 прекращается. Устанавливаемая величина напряжения на конденсаторе C2 и выходе повторителя 10 в дальнейшем сохраняется, так как разрядный генератор 15 остается выключенным, пока присутствует сигнал управления 6. Сигнал управления, поступающий после установки в состояние "1" какого-либо из двух триггеров на входы дискриминатора 12, вызывает его срабатывание. Выходной сигнал дискриминатора подается в общую схему управления на один из 4 входов элемента, выполняющего функцию ИЛИ. С поступлением первого инверсного сигнала какого-либо из четырех дискриминаторов 12 запускается одновибратор задержки, длительность импульса которого $\sim 1 \div 10$ мс. Сформированный задержанный импульс 20 или внешний сигнал 18 подаются для сброса триггеров блока перед поступлением сигналов "старт" и "стоп". После сброса триггеров снимается сигнал управления 6, включается разрядный генератор 15 и разряжается конденсатор C2. Кроме того, для первоначального сброса триггеров и разряда конденсаторов C2 после включения напряжения питания формируется

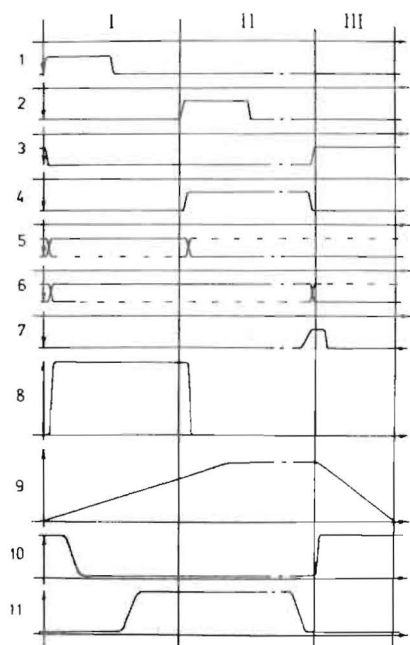


Рис. 2

импульс на выходе ключа 19 с входным пороговым элементом и интегрирующей цепью. При совместной работе нескольких блоков ВАП-4 дополнительные входы "сброс" могут быть объединены и соединены с выходом "сброс" одного из блоков для синхронного сброса их в исходное состояние.

Работа блока ВАП-4 на этапах преобразования и заряда /I/, хранения /II/, сброса и разряда /III/, длительность которых соответственно 0,120, 1000 и 2 мкс, поясняется временными диаграммами на рис.2, где 1 и 2 - импульсы на входе триггеров "старт" и "стоп", 3 и 4 - инверсный и прямой выходные сигналы триггеров "старт" и "стоп", 5 и 6 - сигналы элементов И и ИЛИ, 7 - импульс сброса, 8 - импульс формирователя амплитуды, 9, 10 и 11 - выходные сигналы РИН, дискриминатора и одновибратора задержки.

Логические схемы формирования преобразуемого импульса и сигнала управления выполнены на двух быстродействующих ИС ЭСЛ типа К500ЛМ102 /4 элемента 2ИЛИ-НЕ/ИЛИ/. Задержки распространения формируемого импульса и сигнала управления практически одинаковы. Задержка фронта формируемого импульса может быть меньше задержки его среза на время распространения сигнала в одном элементе ЭСЛ. В случае необходимости эти задержки в пределах $0,5 \pm 1$ нс симметрируются вариацией номинальной величины сопротивления 470 Ом применяемых резисторов нагрузки ЭСЛ-элементов. Для расширения диапазона и увеличения коэффициента преобразования применен быстрый формирователь амплитуды, построенный с использованием одной ИС ЭСЛ типа К500ЛЕ111 /2 элемента ИЛИ-НЕ/. Элементы, управляемые парафазными сигналами, соединены так, что их выходные каскады образуют токовые переключатели. При этом эмиттеры 3 выходных каскадов обоих элементов соединены попарно и через 3 резистора $R1$ подключены к источнику напряжения $-E$, а объединенные коллекторы выходных каскадов одного из элементов через резистор $R2$ подключены к источнику напряжения $+E$. Это позволяет увеличить сопротивление токозадающего резистора $R1$, предотвратить возможное неравномерное распределение токов, их несимметрию при объединении большего числа эмиттеров, а выходные токи трех генераторов тока суммировать в общей цепи их коллекторов и резистора нагрузки $R2$. Для преобразования интервалов

10 ± 800 нс с коэффициентом $K = 5$ мВ/нс достаточно формировать импульсы заданной амплитуды $4,2$ В с длительностью фронта и среза 2 ± 3 нс, при умеренной допустимой рассеиваемой мощности элементов. В схеме используются стабильные резисторы $R1 = 300$ и $R2 = 100 \text{ Ом}$ типа С2-29В и источники напряжения, дополнительно стабилизированного при помощи ИС типа МАА723 /производства ЧССР/, с регулировкой $+E = 3,5 \pm 4,5$ В и $-E = 4,5 \pm 5,5$ В при токе нагрузки до $0,2-0,3$ А. Регулировкой напряжения $+E$ устанавливается верхний уровень всех формируемых импульсов, а напряжения $-E$ и подстроечного резистора $/R1 = 200 \pm 300 \text{ Ом}/$ - нижний уровень, амплитуда формируемого импульса каждого канала.

Схема управления РИН^{3/} несколько модифицирована в блоке ВАП для обеспечения быстрого переключения цепей заряда и разряда, линейного заряда в диапазоне коротких времен. Поэтому управление разрядным генератором осуществляется парафазными сигналами уровня ЭСЛ, подаваемыми с триггеров схемы быстрого формирования входного импульса РИН. Сравнительно медленный дискриминатор 12, предназначенный для отбора малых входных импульсов и управления РИН, применен в качестве преобразователя уровня ЭСЛ-ТТЛ сигнала управления, используемого для запуска одновибратора задержки сброса. В схеме ВАП нет необходимости управлять ключом 13 /с использованием сигнала компаратора 14/ для блокировки усилителя 8 на время хранения, так как на это время блокировка уже имеется в схеме формирования, содержащей триггеры. Ключ блокировки 13 постоянно выключен, а ключ ускорения разряда 16 включен, для упрощения схемы управления. В режиме ВАП при величине $C2 = 750$ пФ, оптимальной для режима АП^{3/}, наблюдается большая относительная погрешность заряда $/0,6-0,8\%/$, а также зависимость ее от относительной задержки сигнала управления и преобразуемого импульса. С увеличением емкости $C2$, например, при $C2 = 3300$ или 6800 пФ, эта погрешность уменьшается и остается на уровне $0,1-0,15\%$. В блоке ВАП-4 устанавливаются накопительные конденсаторы $C2 = 5600$ пФ типа ПМ-2 с пленочной полистирольной изоляцией /точка присоединения конденсатора $C2$ к выводу РИН на печатной плате окружена проводником, соединенным с выходом повторителя напряжения 10/. При этом из-за разряда конденсатора $C2$ погрешность хранения в течение -1 ± 10 мс остается менее $0,05-0,1\%$. С учетом реальных разбросов величин емкости $C2$ и зарядного тока используемых РИН предусмотрена подстройка номинальной величины коэффициента преобразования $K = 5$ мВ/нс. В пределах $\pm 10\%$ относительная величина $\Delta K/K$ меняется почти линейно при изменении напряжения смещения $E_K = 6,5 \pm 0,5$ В /рис.3, зависимость 1/ при помощи регулируемого делителя опорного напряжения $E0$ в цепи базы второго каскада зарядного генератора 9. Напряжение $E0$ дополнительно стабилизировано прецизионным стабилитроном типа Д818Е. Делитель напряжения $E0$ состоит из стабильных резисторов типа С2-29В с сопротивлением 750 Ом и 2 кОм с подстроечным резистором 1 кОм

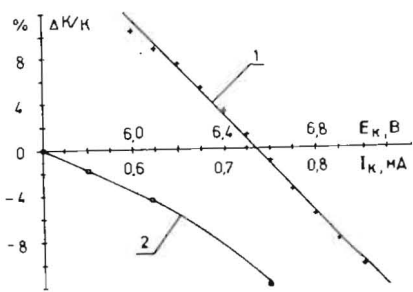


Рис. 3

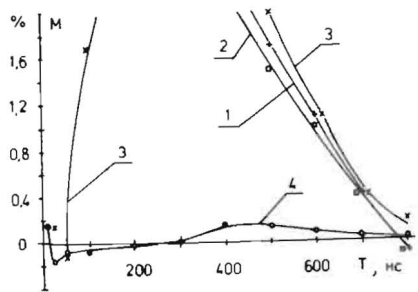


Рис. 4

типа СП5-16В. Величину коэффициента K можно уменьшать в небольших пределах подключением резистора $R_3 \geq 30$ кОм, шунтирующего токозадающий резистор первого каскада операционного усилителя 8. С увеличением его тока $I_K = 0,5$ мА до $0,75$ мА величина K уменьшается на 12% /рис.3, зависимость 2/. Включение небольшого корректирующего сопротивления $R_4 \sim 10$ Ом в цепи C_2 несколько уменьшает погрешность заряда M , быстро возрастающую при укорачивании временных интервалов T /рис.4, зависимости 1 и 2, при $R_4 = 0$ и 10 Ом/. Однако зарядный генератор может выходить из линейного режима работы в конце диапазона T из-за большого падения напряжения на резисторе $R_4 \geq 20$ Ом. При включении конденсатора C_1 в цепь коррекции первого каскада операционного усилителя погрешность $M = |E_B - E_H| : E_{\max}$ снижается при малых значениях T /рис.4, зависимость 3, при $C_1 = 33$ пФ, $R_4 = 0$ /, но нелинейность преобразования в диапазоне интервалов T возрастает значительно. Эти характеристики получены после подстройки нулевого уровня выходного напряжения E_B в исходном состоянии РИН /переменным резистором балансировки первого каскада операционного усилителя/. Возрастание погрешности M в начале диапазона T связано со смещением уровня выходного напряжения E_B при коммутации цепей РИН. При этом к номинальной величине выходного напряжения $E_H = K \cdot T$ добавляется величина напряжения, устанавливающегося после окончания входного импульса /рис.2.9/. Величина такого смещения выходного напряжения в схеме ВАП для различных экземпляров РИН равна $\sim 120 \div 200$ мВ при типовом значении ~ 150 мВ. Это смещение можно компенсировать подстройкой нижнего уровня формируемого импульса, уменьшением сопротивления R_1 при помощи подстроечного резистора. После такой подстройки уровней преобразуемых импульсов и заданного коэффициента преобразования K в схеме ВАП погрешность M не более 0,15% /рис.4, зависимость 4 при отключенном конденсаторе C_1 , $R_4 = 0$ / в используемом диапазоне $T = 10 \div 800$ нс.

Схема УВП, приведенная на рис.5.1, содержит формирующий усилитель, триггер Шмитта и одновибратор на 3 элементах "приемник с линии" ИС ЭСЛ типа К500ЛП116. Во входной цепи усилителя пре-

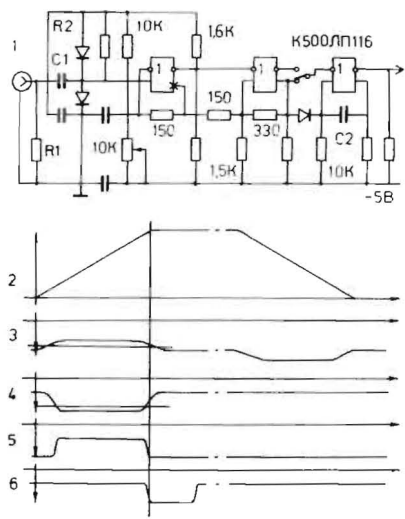


Рис. 5

дусмотрены согласующие резисторы $R_1 = R_2 = 100$ Ом, конденсатор C_1 и защитные диоды. Режим работы усилителя по постоянному току стабилизирован отрицательной обратной связью. На инверсный вход усилителя подано опорное напряжение с выхода источника, встроенного в корпус ИС. Подстройка уровня напряжения на входе усилителя позволяет вводить порог $0,1 \div 0,56$ В и регулировать задержку формируемого сигнала уровня ЭСЛ. Триггер Шмитта со смещенным порогом отпущения формирует сигнал ЭСЛ. Одновибратор, срабатывающий при отрицательном перепаде входного сигнала, формирует короткий импульс, длительность которого задана величиной $C_2 = 33$ пФ с учетом времени установки последующего триггера и возможности стробирования внешним сигналом 17. В зависимости от формы входного сигнала и заданной точки временной привязки выбираются параметры входной цепи, порог усилителя и выходной сигнал триггера Шмитта. Временная отметка начала плоской вершины входного сигнала с длительностью фронта 100 нс /рис.5.2/, после выполнения дифференцирования его с достаточно малой постоянной времени $R_2 \cdot C_1 = 10$ нс /рис.5.3/, формирования усилителем /рис.5.4/ и триггером Шмитта /рис.5.5/, характеризуется моментом срабатывания одновибратора /рис.5.6/. В УВП, настроенном на заданную точку привязки /порог $\sim 0,23$ В/, при изменении амплитуды входного сигнала /задана крутизна 50 В/мкс или длительность фронта 100 нс/ в диапазоне $1 \div 6$ В нестабильность привязки 2-3 нс. Увеличение емкости $C_1 = 100$ пФ в 3 раза сопровождается возрастанием дополнительной погрешности в 3-5 раз. При изменениях амплитуды, ограниченных в пределах $\pm 20 \div 30\%$ от номинальных величин /в установившихся, стационарных режимах работы контролируемой установки/, неопределенность привязки остается в пределах $1 \div 2$ нс. При одинаковой форме импульсов "старт" и "стоп", одновременных изменениях их амплитуд /это возможно при измерении ряда однотипных параметров одного контролируемого процесса/ в обеих схемах УВП имеют место те же дополнительные погрешности привязки двух границ временного интервала. Разность между временными отметками его границ остается практически неизменной при более широком диапазоне амплитуд. На рис.5.1 необозначенные резисторы нагрузки элементов - 430 Ом, конденсаторы высокочастотной развязки - 47 нФ.

В блоке ВАП-4 используется 20 ИС ЭСЛ /К500ЛП116, ЛМ102, ЛЕ111/, 3 ИС ТТЛ /К155ЛАЗ, ЛА6, АГ1/, 6 аналоговых ИС, тран-

зисторы КТ814А, КТ815А, КТ315А, диоды КД105А, КД503Б, Д818Е, КС162А. На передней панели блока устанавливаются 10 высокочастотных коаксиальных разъемов МК 50 и разъем РП15-9ГВ для выходных сигналов. Используются источники напряжения питания: +12 В /0,1А/, -12 В /0,1А/, +6 В /0,2 А/, -6 В /0,9 А/. На печатной плате КАМАК применен односторонний монтаж деталей, причем проводящий слой со стороны деталей представляет собой сплошную общую шину "заземления". Изготовление блоков ВАП-4 освоено Опытным производством ОИЯИ в 1983 году.

Основные характеристики блока ВАП-4:	
Число каналов преобразования	4
Диапазон временных интервалов, нс	10±800
Кoeffициент преобразования, мВ/нс	5
Погрешность преобразования, %	0,15-0,20
Время хранения сигналов /с их погрешностью 0,05-0,1%/ , мс	1-10
Неопределенность временной привязки, нс	1-3

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев В.В. и др. ОИЯИ, 9-82-423, Дубна, 1982; в кн.: Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.11. Дубна, 1983, с.312.
2. Замрий В.Н. ОИЯИ, 10-12041, Дубна, 1978.
3. Журавлев В.В., Замрий В.Н. ОИЯИ, 13-83-435, Дубна, 1983.
4. Замрий В.Н. В кн.: XI Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, Д13-84-53, Дубна, 1984, с.142.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 июля 1985 года

Замрий В.Н., Самойлов А.К. 13-85-587
Многоканальный преобразователь коротких временных интервалов
в запоминаемые сигналы напряжения с устройством временной привязки

Разработан преобразователь "время-амплитуда-запоминаемый сигнал" с учетом особенности измерения временного положения импульсов линейного индукционного ускорителя ЛИУ-30, поступающих по параллельным каналам с малой относительной задержкой, и возможности временной привязки границ преобразуемого временного интервала к вершине импульсов. Запоминаемые сигналы напряжения хранятся достаточно продолжительное время для последующих измерений. Основные характеристики модуля преобразователя, выполненного в минимальном конструктиве КАМАК, на 29 интегральных схемах: число каналов преобразования 4, диапазон временных интервалов 10±800 нс, коэффициент преобразования 5 мВ/нс, погрешность преобразования 0,15-0,20%, время хранения сигналов с погрешностью 0,05-0,10% более 1-10 мс, неопределенность временной привязки 1-3 нс, блокировка входов на время хранения, синхронный сброс, отбор импульсов по времени поступления.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Zamrij V.N., Samoilov A.K. 13-85-587
The Short Time Intervals to Stored Voltage Signals
Multichannel Converter with the Reference Timing Device

The "time-to-amplitude-to-stored signal" converter has been developed taking into account the special property of measuring the time position of linear induction accelerator (LIA-30) pulses coming in over parallel channels with small relative delay and a possibility of timing converted time interval boundaries to flat-topped voltage pulses. The stored voltage signals are hold long enough for following measurements. Some essential performances of the converter module made as a single width CAMAC module, with 29 integral circuits are as follows: conversion channel number - 4; time interval range - 10±800 ns; conversion factor - 5 mV/ns; conversion percentage error - 0.15-0.20%, hold time for signals with 0.05-0.10% error is more than 1-10 ms, time interval bound uncertainty is 1-3 ns, input blocking during hold time, synchronized resetting, selection of input pulses over gating time.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985