

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
СО АН СССР

Э.А.Купер, В.В.Репков, О.П.Трезубов.

БЛОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ
ЧАСТИЦ (ИПП-32М)

ПРЕПРИНТ 83-45

БЛОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКОВ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ (ИШП-32М)

Э.А.Купер, В.В.Репков, О.П.Трезубов

А Н Н О Т А Ц И Я

Описан 30-канальный прибор для измерения и передачи в ЭМ информации от различных датчиков заряженных частиц, выдающих сигнал в виде пропорционального заряда (вторично-эмиссионные профилометры, пропорциональные камеры, ламельные датчики и т. д.). Прибор имеет 2 дистанционно переключаемых диапазона чувствительности: $4 \cdot 10^{-15} \text{ К} + 4 \cdot 10^{-12} \text{ К}$ и $2 \cdot 10^{-13} \text{ К} + 2 \cdot 10^{-10} \text{ К}$ при эквивалентной емкости на входе каждого канала $2 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$.

Электронный блок ИПП-32М предназначен для измерения сигналов с различных однопролетных многоламельных датчиков пучка, преобразования этих сигналов в цифровой эквивалент и передачи полученной информации в ЭВМ. Датчики, с которыми сопрягается ИПП-32М выдают сигнал в виде заряда, поэтому регистрируемое напряжение $U = \frac{Q}{C}$, где Q — заряд, полученный сигнальным электродом, C — эквивалентная емкость, включающая емкость сигнального электрода, емкость кабеля, соединяющего датчик с блоком электроники, и входную емкость прибора. При измерении зарядов $\approx 10^{-14}$ К для повышения разрешающей способности блока эквивалентная емкость должна быть минимальной. Самой простой реализацией этого требования является размещение ИПП-32М в непосредственной близости от датчика (0,5±1 м). При этом C составляет $\sim 150 \pm 200$ пФ. Дополнительным преимуществом такого расположения является повышенная помехоустойчивость прибора, так как сигналы датчиков преобразуются встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и дальнейшая передача информации происходит в цифровом виде. При работе на установках, где существует заметная опасность радиационного повреждения электроники прибора, достаточно высокая чувствительность блока по напряжению (20 мкВ) позволяет отнести его в безопасное место, увеличив длину сигнальных трасс в разумных пределах.

Описываемый прибор является развитием популярной в ИЯФ предыдущей разработки ИПП-32 /1/. Опыт эксплуатации ИПП-32 и прогресс в области микроэлектроники позволили создать более технологичный блок с существенно лучшими параметрами. Ниже рассмотрены основные отличия и причины их вызвавшие:

1. Желание пользоваться как можно более "прозрачными" для пучка датчиками при сохранении объема получаемой информации привело к необходимости поднять чувствительность по напряжению с 500 до 20 мкВ.

2. При смене режимов от e^- до e^+ и наоборот, изменении конструкции датчиков, а также при наладке ускорительных комплексов ток пучка может изменяться в широких пределах. Поэтому динамический диапазон измерителя увеличен с 255 до 1023 и введено дистанционное переключение чувствительности в 50 раз.

3. Импульсный характер работы систем транспортировки за-

ряженных частиц приводит к весьма неравномерному темпу поступления измерительной информации в ЭВМ. Для разравнивания информационного потока во времени ИПП-32М снабжен цифровой памятью.

4. Как указывалось выше, описываемые блоки располагаются непосредственно на установке и доступ к ним обычно затруднен, поэтому предусмотрена возможность тестирования с помощью ЭВМ. Проверяются следующие факторы: наличие импульса запуска, номер включенного диапазона чувствительности, работоспособность цифровой памяти, системы связи и встроенного АЦП.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРА

Блок-схема прибора приведена на рис.1

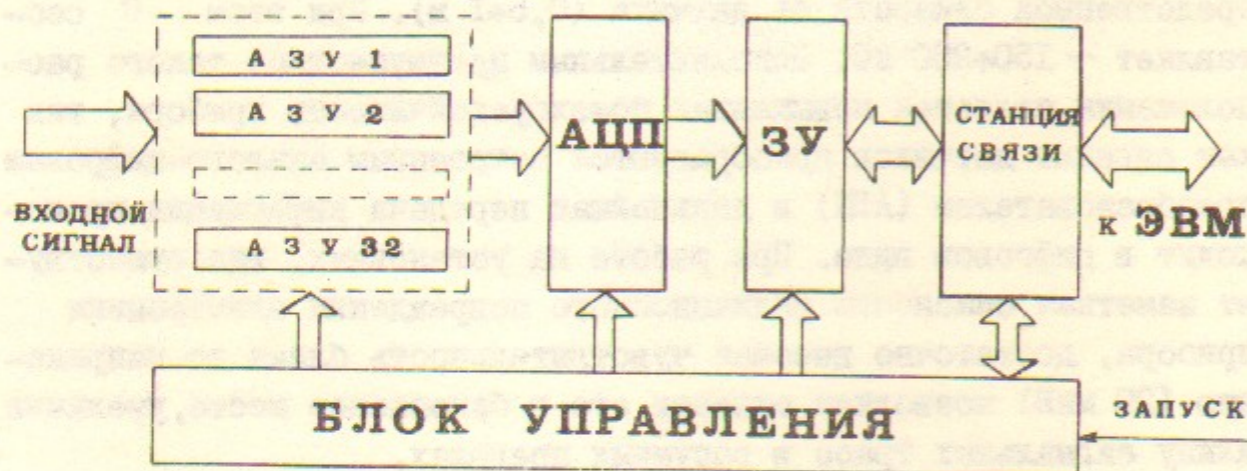


РИС. 1

Заряды, появившиеся на сигнальных электродах после пролета пучка, приводят к изменению напряжений на входных емкостях прибора. Эти напряжения фиксируются 32-х канальным аналоговым запоминающим устройством (АЗУ). АЗУ снабжено масштабным усилителем с коэффициентами передачи 1 или 50 и коммутатором для поочередного подключения каналов к аналого-цифровому преобразователю (АЦП). Результаты измерения хранятся в цифровом запоминающем устройстве (ЗУ) в виде 32-х одиннадцатизначных слов. Работа измерительной схемы синхронизируется блоком управления. Взаимодействие с ЭВМ осуществляется с помощью встроенной станции связи. Импульс запуска подается за 10 ± 1000 мкс до момента пролета пучка и переводит АЗУ из режима выборки дрейфа в режим готовности.

Рассмотрим подробнее работу одного из каналов АЗУ, качество работы которого, в основном, определяет метрологические характеристики прибора. Конструктивно АЗУ разделено на 4 платы по 8 каналов. На каждой плате имеется коммутатор, объединяющий выходы АЗУ, и масштабирующий усилитель (рис.2). Схема АЗУ включает в себя два истоковых повторителя (T_1 и T_2), собранных на полевых транзисторах КП303Г. Для улучшения линейности повторители нагружены на генераторы тока. Аналоговый ключ K_1 , конденсатор C_2 и истоковый повторитель на T_2 образуют схему выборки и хранения. Конденсатор C_3 и ключ K_2 служат для устранения смещений и коррекции дрейфов истоковых повторителей. Временная диаграмма работы АЗУ приведена на рис.3. (Заштрихованные области на диаграммах работы ключей соответствуют проводящему состоянию). До прихода импульса запуска ключи K_1 и K_2 замкнуты и происходит процесс коррекции дрейфа. Напряжение на истоке T_2 в этот момент равно:

$$U_{и2} = I_{з1} R_1 + U_{зи1} + U_{зи2}$$

где $U_{зи1}, U_{зи2}$ — разность напряжений между затворами и истоками повторителей, $I_{з1}$ — ток утечки затвора T_1 .

Для упрощения предположим, что интервал между циклами работы много больше постоянной времени $R_1 \cdot C_1$. Очевидно, что на конденсаторе C_3 запомнено суммарное напряжение смещений и дрейфов обоих повторителей. По приходу импульса запуска (момент T_0) ключ K_1 размыкается на время τ_1 . Интервал τ_1 определяется внутренним таймером и обычно равен 2 мс. Момент запуска выбирается таким образом, чтобы пучок пролетал внутри интервала τ_1 . После пролета пучка на входах АЗУ появляется напряжение сигнала. Заметим при этом, что обычно прохождение пучка сопровождается наводками от импульсных элементов канала транспортировки частиц, от срабатывания генераторов инфлектора и дефлектора и т.д. Поэтому дополнительным требованием к выбору величины и времени окончания интервала τ_1 является условие затухания наводок на сигнальных электродах датчиков. В момент времени T_1 ключ K_2 размыкается, а ключ K_1 замыкается на время τ_2 , достаточное для заряда емкости C_2 . На выходах АЗУ появляются напряжения, равные входным в момент действия сигнала. В течение интервала τ_3 , равного ~ 10 мс, АЦП преобразу-

ет полученную информацию в цифровой эквивалент, после чего АЗУ возвращаются к исходному состоянию.

Заканчивая описание работы АЗУ, отметим некоторые особенности схемы. Очевидно, что АЗУ функционально является зарядочувствительным устройством выборки и хранения. При эквивалентной входной емкости $\approx 200 \cdot 10^{-12}$ Ф единицей разрешения на чувствительном диапазоне является заряд $Q = C_{\text{вх}} = 200 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \text{ В} = 4 \cdot 10^{-15} \text{ Кл}$. В то же время паразитный заряд при коммутации аналогового ключа, выполненного на полевом транзисторе, составляет обычно $\sim 10^{-11} \text{ Кл}$. Именно по этой причине схема сделана 2-х каскадной и в цепи C_1 отсутствуют аналоговые ключи. Для устранения коммутационной помехи во время размыкания ключа K_1 на конденсатор 2-го каскада C_2 через C_k подается компенсирующий заряд. Так как величина емкости достаточно велика $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ Ф, компенсация работает эффективно в рабочем диапазоне напряжений и температур.

Конструкция платы АЗУ предусматривает экранировку входных цепей (R_1, C_1, T_1). Во избежание поверхностных утечек по плате цепи затворов истоковых повторителей окружены заземленными охранными кольцами.

Схемотехнические решения и конструкция платы АЗУ позволили создать прибор с разрешающей способностью по напряжению 20 мкВ. Очевидно, что основным ограничением для дальнейшего повышения чувствительности является шум масштабирующего усилителя. Но следует заметить, что достигнутая чувствительность близка к ограничениям, связанным с тепловыми шумами входной цепи. Действительно величина ЭДС тепловых шумов, подсчитанная по формуле Найквиста равна:

$$E_T = \sqrt{4kTR \Delta f} \approx 4 \text{ мкВ}$$

где R — сопротивление на входе АЗУ,

Δf — полоса частот, в которой анализируются шумы.

Далее рассмотрим работу масштабирующего усилителя (рис. 2). Коэффициент передачи (K_n) усилителя, в зависимости от требуемой чувствительности прибора, устанавливается равным 1 или 50 при помощи ключей K_4 и K_5 . При $K_n = 1$ ключ K_4 замкнут, K_5 разомкнут и усилитель представляет собой стандартный повторитель. На работе схемы с $K_n = 50$, в связи с тем, что разрешение

прибора по напряжению 20 мкВ, а в качестве усилителя У1 применена стандартная микросхема К140УД6, следует остановиться подробнее. До начала работы коммутатора, а, следовательно, и АЦП (момент времени T_2), ключи K_3, K_4, K_5 замкнуты и выполняют следующие функции: K_3 — замыкает вход усилителя на "землю", K_4 — охватывает усилитель единичной обратной связью. Напряжение на выходе усилителя определяется величиной смещения

$U_{\text{см}} \leq \pm 5$ мВ. Это напряжение фиксируется на конденсаторе C_4 . В момент времени T_2 ключи K_3 и K_4 размыкаются и напряжение на выходе усилителя при этом равно:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot K_n + U_{\text{см}}$$

где $K_n = \frac{R_5 + R_6}{R_6} = 50$.

Видно, что $U_{\text{см}}$ (считаем, что напряжение дрейфа усилителя входит в $U_{\text{см}}$) передается на выход без усиления. $U_{\text{см}}$ компенсируется при настройке блока, а дрейф этого напряжения в рабочем интервале температур не превышает 500 мкВ и им можно пренебречь.

Схема формирования временной диаграммы, АЦП, цифровое запоминающее устройство (ЗУ) и устройство связи с ЭВМ расположены на одной плате. АЦП поразрядного взвешивания выполнен с применением микросхем К572ПА1 и К155ИР17. Время преобразования одного канала $\sim 300 \cdot 10^{-6}$ с, разрешающая способность 1 мВ. В качестве ЗУ используется одна микросхема К565РУ2 (1024 одноразрядных слова). В связи с тем, что от АЦП поразрядного взвешивания информация поступает последовательно (имеется ввиду анализ состояния нуля-органа), применение одноразрядной микросхемы ЗУ позволило экономно выполнить узел АЦП + ЗУ. Передача информации из ЗУ происходит также с минимальными схемными затратами, так как прибор взаимодействует с ЭВМ при помощи последовательной системы связи, принятой в ИЯФ.

РАБОТА С ИПП-32М

При определении зарядовой чувствительности следует помнить, что прибор имеет собственную входную емкость $\sim 10^{-10}$ Ф по каждому каналу, которую необходимо суммировать с емкостью

сигнального кабеля и датчика. Эта емкость шунтируется сопротивлением утечки $R_1 \approx 10 \text{ Ом}$, поэтому постоянная времени достаточно велика $\approx 0,1 \text{ сек}$. При работе с датчиками, выдающими заряд более чем $2 \cdot 10^{-10} \text{ К}$ следует увеличить входную емкость и уменьшить сопротивление утечки (рис.2), тем самым оставляя постоянную времени входной цепи без существенных изменений.

Прибор предназначен для работы с частотой повторения не более 5 Гц.

Несколько слов о борьбе с помехами. Как уже упоминалось, весьма важен правильный выбор времени запуска (во время интервала T_2 (рис.3) на входных цепях должен быть минимум наводок). Так как работа всех систем комплекса, в данном случае источников наводок, жестко синхронизирована, величина этих наводок обычно меняется от "выстрела" к "выстрелу" слабо. Поэтому эффективной оказывается работа с запоминанием фона, когда производится "выстрел" без пучка и информация о величине наводок по каждому каналу заносится в ЭВМ. При получении реального сигнала производится вычитание фона.

При установке блока ИПП-32М на рабочее место, корпус его следует заземлять на "землю" эквипотенциальную датчику. В приборе имеется контрольный выход сигналов с АЗУ. Этот выход предназначен для контроля во время настройки и его использование для наблюдения гистограмм на осциллографе может привести к уменьшению помехоустойчивости измерений.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С СИСТЕМОЙ СВЯЗИ

В приборе имеется встроенная станция связи S_5 . Работа ведется II-разрядными словами (разряд знака + 10 разрядов информации). Старший бит адреса S_5 служит для переключения диапазона измерений. При обращении к первым 32 словам чувствительность прибора высокая, при чтении второй половины - низкая. При смене режима первое измерение, естественно, будет соответствовать прежней чувствительности.

Обращение ЭВМ к ЗУ прибора имеет меньший приоритет, чем обращение встроенного АЦП к ЗУ, поэтому ответ на команду S_5 , посланную во время работы АЦП, задерживается до окончания измерения всех каналов.

Подача импульса запуска во время работы ИПП-32М с ЭВМ недопустима. Это может привести к сбою передачи, либо "завешиванию" ЭВМ, так как по приходу импульса запуска блок переходит в режим обработки новой информации.

Встроенная станция имеет счетчик адресов, следовательно, допускается однократная передача адреса S_5 (режим "массив").

ТЕСТИРОВАНИЕ БЛОКА

В связи с тем, что обычно блоки ИПП-32М располагаются непосредственно на установке, доступ к ним затруднен. Поэтому предусмотрен дистанционный контроль основных узлов прибора. Для проверки работы системы связи и ЗУ в блок можно записать произвольную информацию и прочитать её для последующего анализа в ЭВМ. Во время этого теста импульсы запуска должны отсутствовать.

Из 32-х каналов прибора нулевой и 31-й выделены для реперных импульсов, которые формируются из импульсов запуска. При высокой чувствительности прибора реперные импульсы отрицательные амплитудой $\approx 10 \text{ мВ}$, при низкой - положительные амплитудой $\approx 0,5 \text{ В}$.

В случае отсутствия импульсов запуска АЦП прибора не работает, информация в ЗУ не обновляется.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛОКА ИПП-32М

1. Количество каналов - 32.
2. Два диапазона чувствительности по заряду (при эквивалентной емкости на входе каждого канала $200 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$):
 $4 \cdot 10^{-15} \text{ К} + 4 \cdot 10^{-12} \text{ К}$,
 $2 \cdot 10^{-13} \text{ К} + 2 \cdot 10^{-10} \text{ К}$.
3. Время преобразования информации $\approx 10^{-2} \text{ с}$.
4. Выходной код - 10 двоичных разрядов + знак.
5. Параметры импульса запуска: $U \geq 50 \text{ В}$, $t \geq 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ с}$
6. Габариты прибора: $400 \times 240 \times 240 \text{ мм}^3$.

В настоящее время в Институте изготовлено и используется около 100 блоков ИПП-32 и ИПП-32М. Информация о положении, поперечной точности и размерах пучков заряженных частиц после обработки в ЭВМ выводится на экраны графических дисплеев.

Документирование полученной информации осуществляется на матричном знакопечатающем устройстве. Образец распечатки приведен на рис. 4. В рассматриваемом примере показано распределение плотности пучка электронов по двум координатам (Z и X) при различных условиях.

Гистограммы сопровождаются данными о положении центра тяжести распределения плотности частиц вдоль каждой из координат и о среднеквадратичном размере пучка. Согласно определению, центр тяжести распределения по одной из координат совпадает со средним значением этой координаты:

$$\langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

где x_i — координата i -ой проволоочки,

Q_i — заряд i -ой проволоочки после прохождения пучка.

Среднеквадратичный размер пучка вычисляется по следующей формуле:

$$SIG = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \langle x \rangle)^2 Q_i]}{\sum_{i=1}^n Q_i}}$$

Амплитудные значения всех гистограмм одинаковы, так как напряжения на проволоочках нормируются на величину максимального напряжения, значение которого также приводится.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность В. А. Киселеву и Ю. И. Эйдельману, многолетнее сотрудничество с которыми по применению вышеописанных устройств неизменно приносило удовольствие и удовлетворение.

Литература

1. Л. Л. Данилов, П. М. Иванов, Э. А. Купер, А. В. Леденев и др. Устройство для измерения характеристик пучка заряженных частиц с помощью вторично-эмиссионных датчиков. Первое Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. Киев, 1976, с. 219-220.

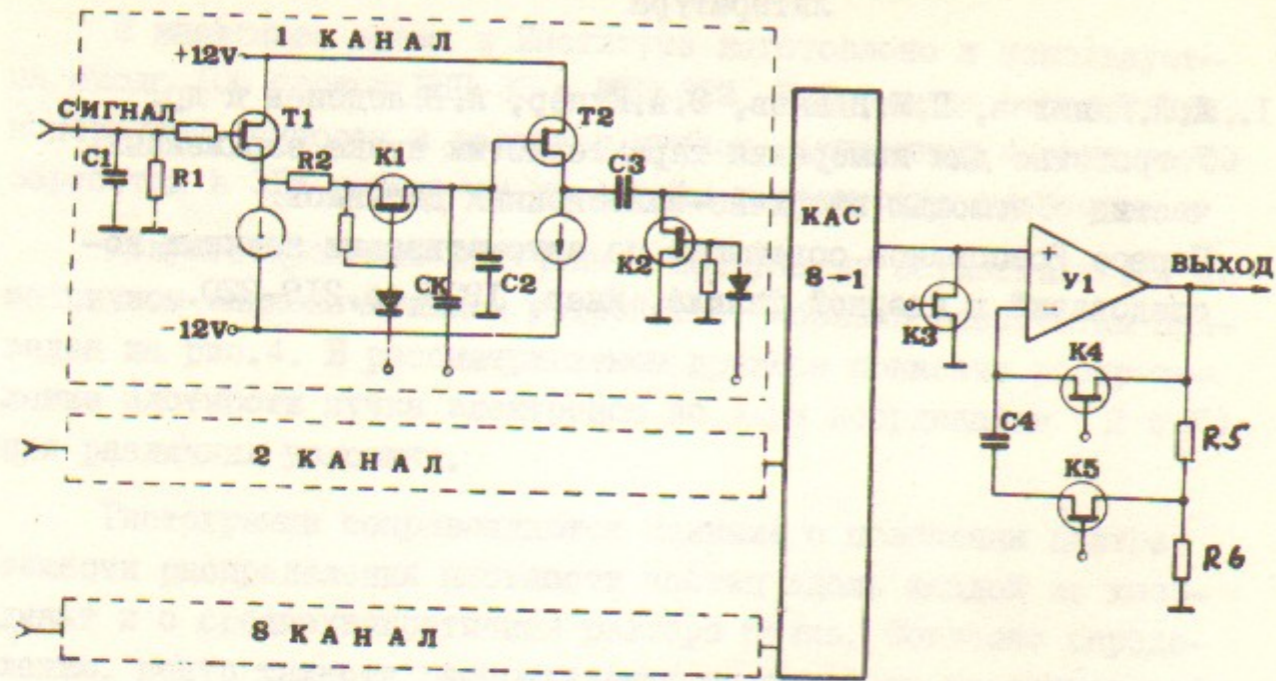


РИС.2

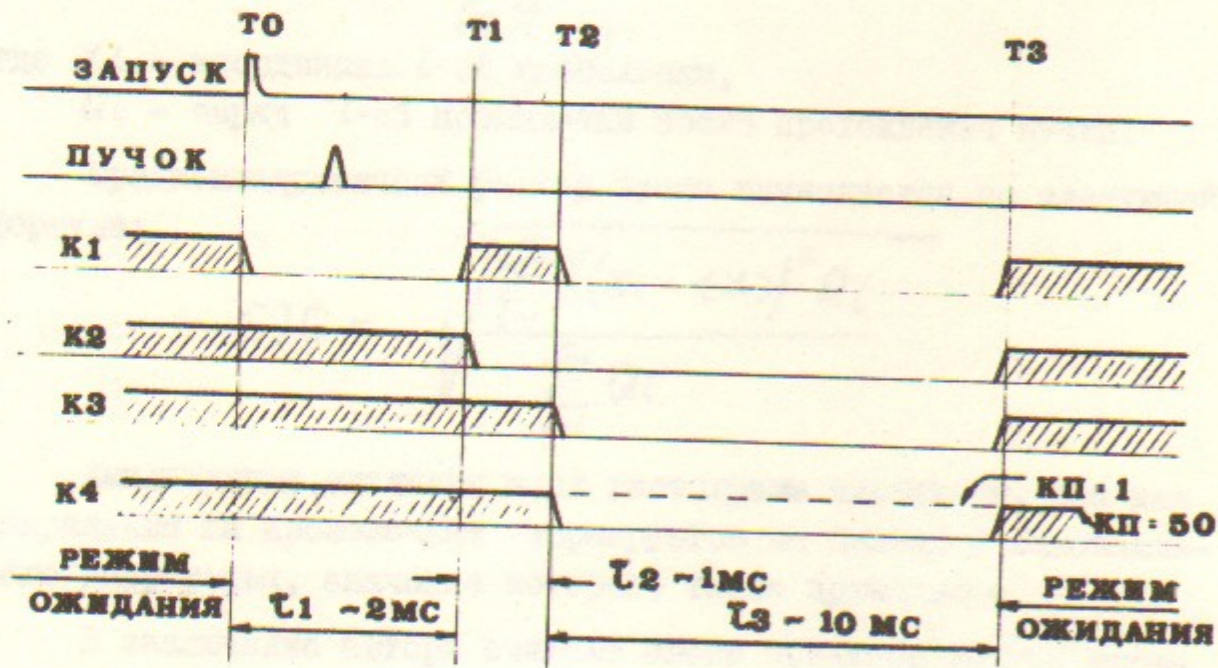


РИС.3

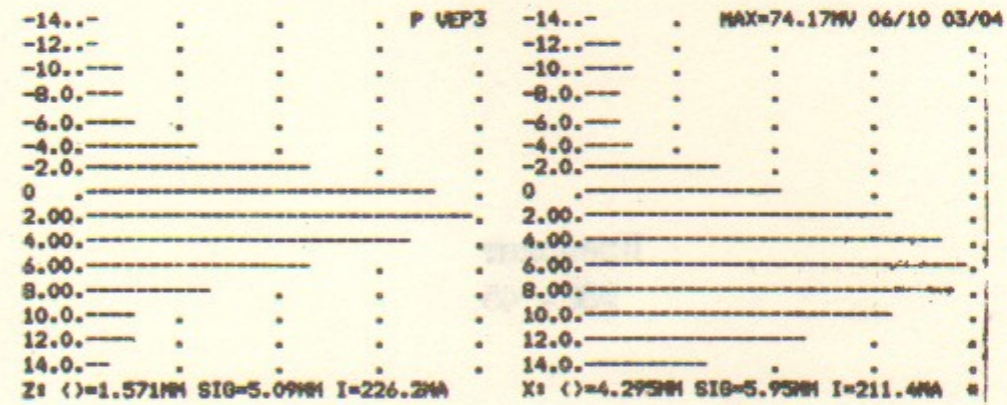
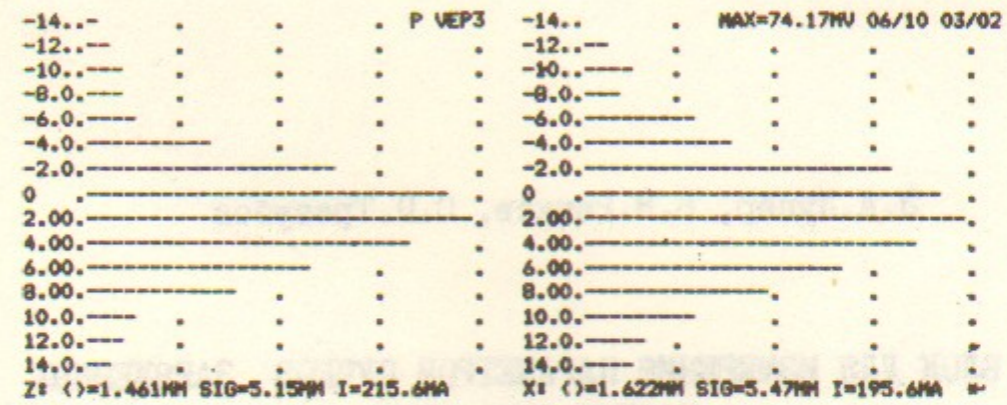
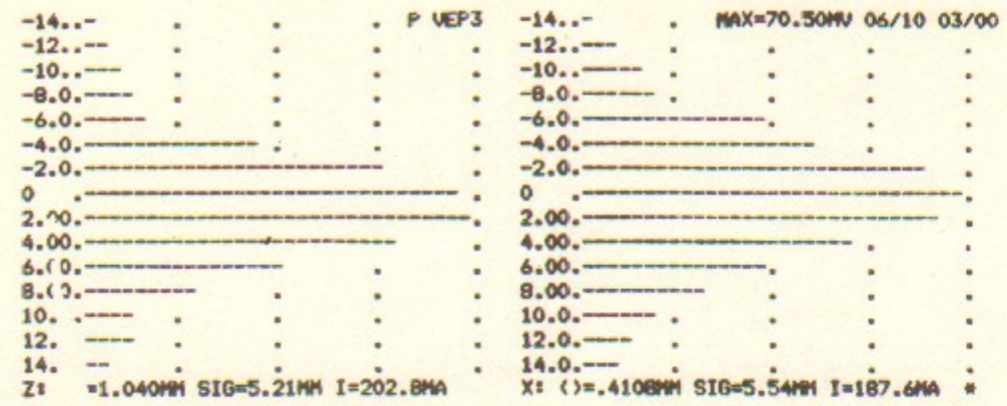


РИС.4

Э.А.Купер, В.В.Репков, О.П.Трезубов

БЛОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ
ЧАСТИЦ (ИПП-32М)

Препринт
№83- 45

Работа поступила - 23 марта 1983 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов
Подписано к печати 16.04-1983г. МН 17521
Формат бумаги 60x90 1/16 Усл.0,8 печ.л., 0,6 учетно-изд.л.
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 45.

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90