

8618

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



8618

Экз. чит. зала

13 - 8618

В.В.Круглов, А.В.Куликов

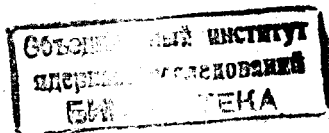
МОНИТОР ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ПУЧКА  
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

1975

13 - 8618

В.В.Круглов\*, А.В.Куликов\*

МОНИТОР ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ПУЧКА  
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ



---

\* ЛЯИ НИИЯФ МГУ.

## Введение

Описываемый прибор используется для мониторинга выведенного протонного пучка в эксперименте по поиску новой радиоактивности на ускорителе ИФВЭ. Пучок протонов с энергией 70 ГэВ имеет следующую временную структуру: длительность импульса тока пучка /банча/ - около 20 нс, время между выводимыми из ускорителя банчами - около 9 с. В банче содержится до  $6 \cdot 10^{10}$  протонов. Основными требованиями, которые были выдвинуты при создании монитора, являлись возможность мониторировать пучки с указанными параметрами, отсутствие вещества на трассе пучка и простота прибора.

В настоящее время разработано большое число приборов для мониторинга пучков заряженных частиц /см. обзор /1/ /. Наилучшим образом указанным выше требованиям удовлетворяет монитор, основанный на принципе действия трансформатора тока. Если включить обмотку трансформатора тока в контур ударного возбуждения, то импульс тока пучка возбуждает в этом контуре колебания, амплитуда которых, как показано далее, пропорциональна прошедшему заряду, или числу частиц. Подобный прибор, предназначенный для измерения интенсивности пучка электронов с длительностью импульса до 2 мкс, описан в работе /2/. Он обеспечивает высокую точность измерений, однако является довольно сложным прибором. В нашем случае достаточна точность в несколько процентов. Поэтому была разработана простая система мониторинга с использованием типовых электронных блоков, разработанных в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

### Принцип действия монитора

На рис. 1 представлена схема расположения монитора

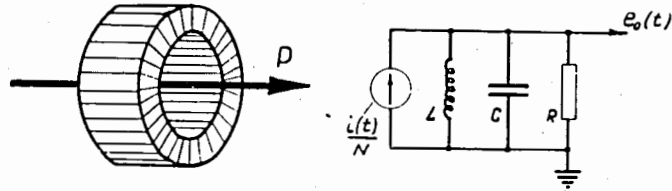


Рис. 1. Схема расположения монитора на пучке и его эквивалентная схема.

на пучке и его эквивалентная схема. Монитор представляет собой катушку из  $N$  витков, намотанную на кольцевой ферритовый сердечник. Индуктивность  $L$  катушки вместе с включенной параллельно ей емкостью  $C$  образует колебательный контур. Сопротивление  $R$  учитывает входное сопротивление внешней цепи и эквивалентное сопротивление потерь в кольце на гистерезис. Если внутри кольца проходит импульс тока  $i(t)$ , то на выходе схемы появляется сигнал  $e_0(t)$ . На эквивалентной схеме импульс тока  $i(t)$  заменяется источником тока  $\frac{1}{N}i(t)$ . Предположим для простоты, что импульс тока  $i(t)$  имеет прямоугольную форму с амплитудой  $J$  и длительностью  $T$ .

В этом случае сигнал  $e_0(t)$  при произвольных параметрах цепи равен /2/

$$e_0(t) = \frac{J}{NC} \frac{1}{\omega_0} e^{-\frac{t}{2RC}} \left\{ \sin \omega_0 t - e^{-\frac{T}{2RC}} \sin \omega_0 (t-T) \right\}, \quad /1/$$

где

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{LC}{(2RC)^2}}$$

Если выбрать период колебаний  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$  в цепи намного превышающим длительность импульса пучка, так

чтобы  $\omega_0 T \ll \pi$ , то  $\cos \omega_0 T \approx 1$ ,  $\sin \omega_0 T \approx \omega_0 T$ . В этом случае функция  $e_0(t)$  имеет вид, показанный на рис. 2.

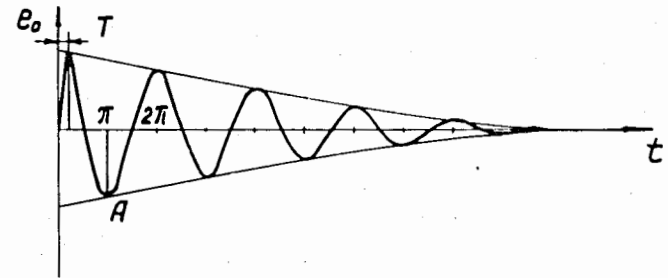


Рис. 2. Форма выходного сигнала.

Если выбрать для измерения амплитуды момент времени  $t$ , который удовлетворяет условию  $\omega_0 t = \pi$ , что соответствует на рис. 2 точке  $A$ , то

$$e_0\left(\frac{\pi}{\omega_0}\right) = -\frac{q}{NC} e^{-\frac{T - \pi/\omega_0}{2RC}}, \quad /2/$$

где  $q = JT$  - заряд, прошедший через кольцо. Итак, при выполнении указанных выше условий амплитуда выходного импульса пропорциональна прошедшему через монитор заряду.

Измеряя эту амплитуду, мы можем, после соответствующей калибровки, определить заряд, а значит, и число заряженных частиц в импульсе. Калибровка может быть выполнена путем пропускания по проводнику внутри кольца известных порций заряда. Заряд необходимой величины легко получить на конденсаторе известной емкости, зарядив его до определенного потенциала.

### Конструкция монитора

Из формулы /2/ видно, что для получения выходного сигнала достаточной амплитуды емкость конденсатора

С число витков в обмотке должны быть малы. В то же время необходимо, чтобы период колебаний  $T_0$  существенно превышал длительность  $T$  импульса тока. Отсюда видно, что индуктивность катушки  $L$  должна быть большой. Индуктивность катушки, намотанной на тороидальный сердечник, зависит от его размеров и магнитной проницаемости  $\mu$  следующим образом:

$$L \sim \mu h \ln \frac{D}{d},$$

где  $h$  - высота тороида,  $D$  - внешний диаметр,  $d$  - внутренний диаметр. Для увеличения индуктивности приходится выбирать материал ферритового кольца с большим значением  $\mu$  и увеличивать геометрические размеры кольца, так как  $N$  сильно увеличивать нельзя. Поэтому тороид был собран из пяти ферритовых колец марки М 2000 НН-К 125x80x12, сложенных в стопку. Полученный тороид имеет размеры  $D = 125$  мм,  $d = 80$  мм и  $h = 60$  мм. На него намотано 50 витков провода марки ПЭЛШО. Емкость конденсатора  $C = 30$  пФ. Для согласования высокого выходного сопротивления монитора с низким входным сопротивлением используемых блоков электроники применяется сложный эмиттерный повторитель, собранный на транзисторах 1Т313В.

На рис. 3 показана принципиальная схема блока ка-

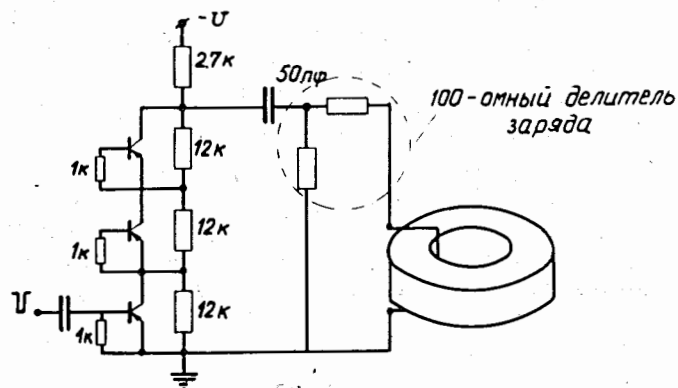


Рис. 3. Схема блока калибровки.

либровки. Емкость накопительного конденсатора равна 50 пФ. Напряжение на обкладках конденсатора - 100 В. Таким образом, полный заряд, накопленный в конденсаторе, равен  $5 \cdot 10^{-9}$  К. Разряд конденсатора происходит при подаче запускающего импульса на вход ключа, собранного на транзисторах П416Б, работающих в лавинном режиме. В схеме предусмотрен делитель на резисторах, чтобы пропускать через калибровочный виток различные порции заряда. Полное сопротивление делителя на резисторах при любом положении переключателя, устанавливающего коэффициент деления заряда, равно 100 Ом. Это обеспечивает неизменную длительность импульса разряда. Блок калибровки смонтирован внутри корпуса монитора. Для предотвращения наводок на монитор со стороны блока калибровки последний отделяется экраном.

#### Блок-схема монитора и исследование его характеристик

На рис. 4 и 5 представлены блок-схема электроники

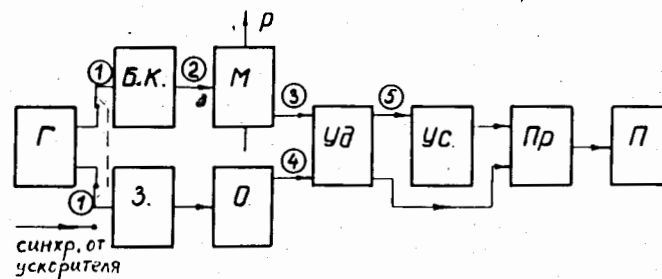


Рис. 4. Блок-схема электроники. М - монитор, Г - генератор, БК - блок калибровки, З - задержка, О - одновибратор, Уд - удлинитель, Ус - усилитель, Пр - преобразователь амплитуда-код, П - пересчетная схема.

монитора и временные диаграммы, поясняющие его работу. Используются типовые блоки электроники, разработанные в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Сигнал от генератора 1 замыкает на землю конденсатор

калибровочного устройства, и через калибровочный виток проходит импульс тока 2 длительностью 100 нс. При этом на выходе монитора появляется сигнал 3. Период колебаний выходного сигнала составляет около 5 мкс. Амплитуда выходного сигнала в точке А, равная 300 мВ, соответствует заряду  $4,5 \times 10^9$ . Измерение амплитуды входного сигнала производится в момент времени, соответствующий фазе  $3\pi$ , а не  $\pi$ , так как в начале выходного сигнала на него накладываются паразитные высокочастотные колебания /на рис. 5 не показаны/, которые полностью затухают только к моменту времени, соответствующему фазе  $3\pi$ . Сигнал 3 с монитора поступает в удлинитель, работающий в режиме линейных ворот. На вход управления удлинителя подается стробирующий импульс 4 длительностью 100 нс. На выходе удлинителя появляется сигнал 5 длительностью 1 мкс, который после соответствующего усиления подается на преобразователь амплитуда-серия. Серия с выхода преобразователя регистрируется пересчетной схемой.

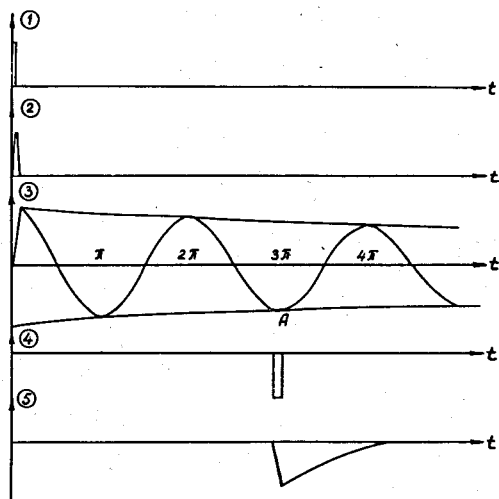


Рис. 5. Временные диаграммы сигналов в точках, указанных на рис. 4.

Калибровка была проведена для нескольких значений прошедшего через виток заряда. На рис. 6 приведен гра-

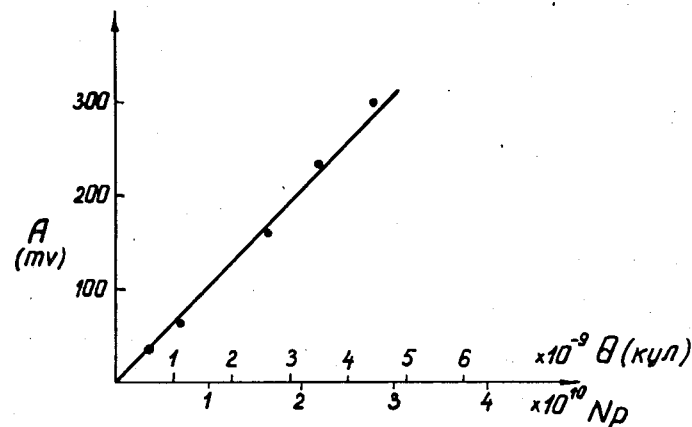


Рис. 6. График зависимости выходной амплитуды от числа протонов в импульсе, или заряда.

фик зависимости измеряемой амплитуды от величины заряда /числа протонов/, прошедшего через монитор. Как видно из графика, характеристика монитора линейна.

При работе на пучке на вход управления удлинителя подается синхроимпульс вывода пучка. Выбор момента измерения осуществляется подбором задержки синхроимпульса. Интенсивность пучка измеряется в каждом цикле ускорения и передается вместе с другими данными на ЭВМ.

Измерения потока, выполненные с помощью монитора, сравнивались с результатами, полученными методом активации медных и алюминиевых фольг за то же время облучения. В пределах точности активационного метода, которая составляет около 10%, результаты совпадают.

Авторы благодарны В.Н.Горячеву за указание на работу /2/.

### *Литература*

1. В.А.Москалев, В.Г.Шестаков. *Контроль и измерение параметров пучков заряженных частиц*. М., Атомиздат, 1973.
2. R.C.Larsen, D.Horelick. SLAC-PUB-398, 1968.

*Рукопись поступила в издательский отдел  
18 февраля 1975 года.*