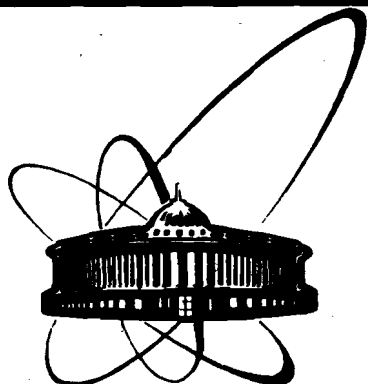


89-170



**сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна**

13-89-170

**Г. В. Мицын**

**СИСТЕМА  
МАГНИТОИНДУКЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ  
ДЛЯ МОНИТОРИРОВАНИЯ  
ВЫВЕДЕННОГО ПРОТОННОГО ПУЧКА  
ФАЗОТРОНА ОИЯИ**

**1989**

В настоящее время в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ проводятся работы по транспортировке выведенного протонного пучка реконструированного фазотрона по каналам IX, X, XII<sup>1/1</sup>, каждый из которых состоит из достаточно большого числа ионооптических элементов. Это усложняет процесс транспортировки и требует применения различных средств диагностики. Одна из возникающих задач — измерение потерь пучка, образующихся в результате его прохождения по отдельным участкам тракта и суммарных потерь на пути от зала фазотрона до физических установок в интервале значений среднего тока протонов от 0,3 до 3 мкА.

Целью настоящей работы явилось создание системы на основе принципа магнитоиндукционных датчиков (МИД)<sup>1/4</sup>, работающей на связи с ЭВМ и способной за несколько секунд с точностью  $2 \div 3\%$  без дополнительных разрывов в вакуумном канале определять коэффициент прохождения пучка по различным участкам ионооптических трактов.

## 1. ВЫБОР РЕЖИМА РАБОТЫ МИД

Принцип работы МИД основан на регистрации магнитного поля, создаваемого импульсным пучком заряженных частиц при его движении. Сигнал, наведенный этим полем на витки катушки тороидальной формы, через центр которой проходит пучок, прямо пропорционален значению тока пучка и скорости его изменения.

Существует три различных режима работы МИД в зависимости от способа его включения<sup>1/4</sup>: аperiodический, колебательный и промежуточный. Первый режим реализуется в случае выполнения условия

$$\eta = \frac{1}{2R_H} \sqrt{\frac{L}{C_H}} > 1,$$

где  $L$  — собственная индуктивность датчика,  $R_H$  — сопротивление нагрузки;  $C_H$  — полная емкость нагрузки, складывающаяся из емкости обмотки и входной емкости измерительного устройства (рис. 1). В таком включении датчик работает как трансформатор тока протонного пучка и позволяет следить как за амплитудой, так и за формой сигнала. Однако чувствительность этого способа включения невысока.

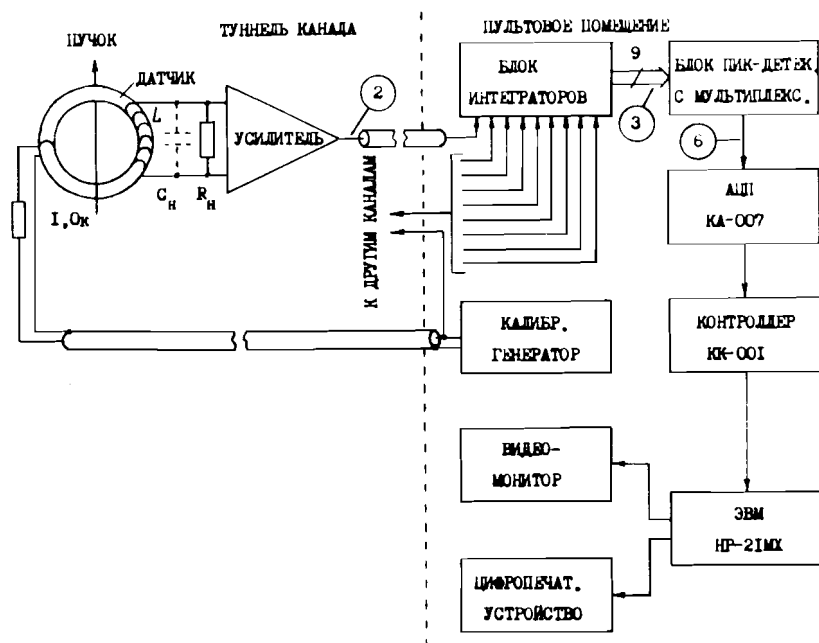


Рис. 1. Структурная схема системы магнитоиндукционных датчиков.

В случае  $\eta < 1$  реализуется затухающий колебательный режим работы МИД, причем если выбрать период собственных колебаний контура  $T = 2\pi\sqrt{LC_n}$  много больше длительности макроимпульса ускорителя, то амплитуда колебаний будет пропорциональна полному заряду прошедших через датчик протонов, независимо от формы сигнала.

Были проведены испытания всех трех вариантов включения МИД, в результате чего предпочтение было отдано третьему режиму работы ( $\eta \cong 1$ ), как наиболее чувствительному и помехозащищенному в данных условиях, даже несмотря на необходимость применения дополнительного интегратора тока, так как в этом режиме форма сигнала датчика повторяет производную по времени от импульса тока протонного пучка.

## 2. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Структурная схема системы МИД представлена на рис. 1. Система состоит из 9 одинаковых каналов, каждый из которых включает датчик с усилителем, стробируемый интегратор тока и пик-детектор, сигналы с которого коммутируются 9-канальным аналоговым мультиплексором

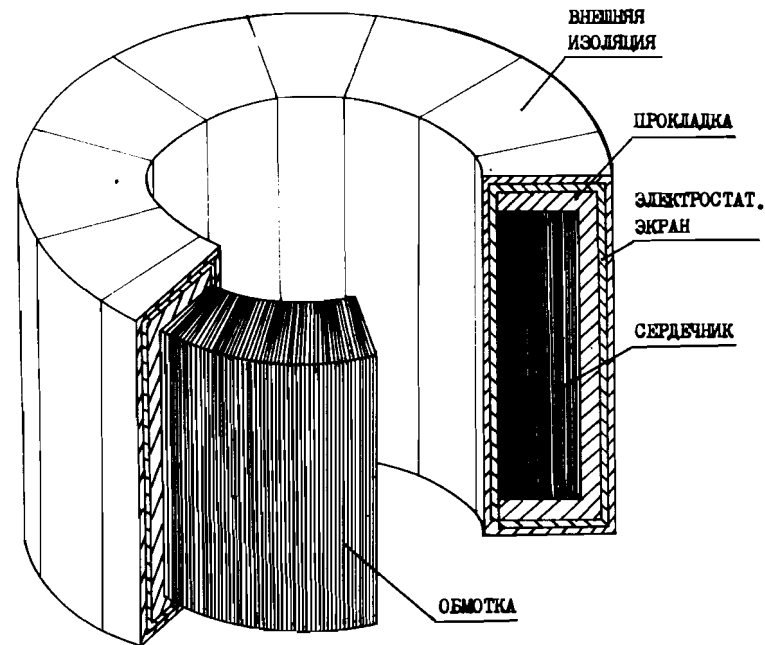


Рис. 2. Конструкция магнитоиндукционного датчика.

на стандартный 13-битовый АЦП КА-007<sup>15</sup>. Связь с ЭВМ НР-21МХ осуществляется с помощью контроллера КК-001<sup>16</sup>. В состав системы входит также калибровочный генератор, имитирующий по форме и амплитуде импульс тока протонного пучка. Сигнал генератора подается одновременно на все МИД и предназначен для калибровки их чувствительностей в паузах работы фазотрона, что гарантирует высокую точность и повторяемость измерений.

Конструктивно датчики выполнены в виде тороидального сердечника с симметричной обмоткой и электростатическим экраном (рис. 2). Сердечник состоит из 150 витков пермаллоевой ленты толщиной 0,16 мм и шириной 70 мм с магнитной проницаемостью  $\mu = 300$ . Электростатический экран служит для устранения емкостной связи пучка с обмоткой, равномерно намотанной на сердечник проводом ПЭЛШО-0,16. Основные параметры датчика приведены в табл. 1.

Внутренний диаметр МИД выбран таким, что он свободно надевается на алюминиевую трубу вакуумного ионпровода. Между датчиками и трубой расположен провод, на который подаются сигналы калибровочного генератора.

Упрощенная принципиальная схема усилителя представлена на рис. 3. Прототипом послужила схема, опубликованная в работе<sup>17</sup>. Для соеди-

Таблица 1

Параметр	Величина
Габариты сердечника, мм	
внутренний диаметр	130
внешний диаметр	180
Габариты датчика, мм	
внутренний диаметр	122
наружный диаметр	200
Вес датчика, кг	7,0
Количество витков в обмотке	400+400
Индуктивность обмотки, Гн	1,0
Межвитковая емкость обмотки, пФ	250

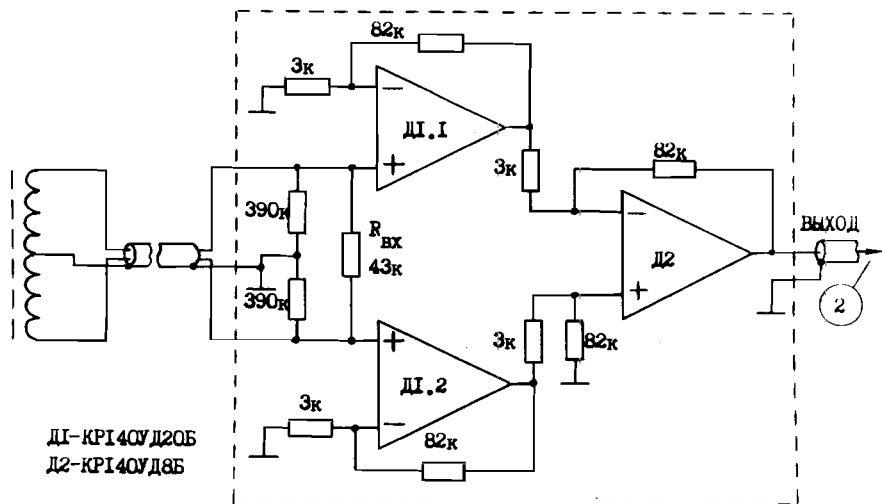
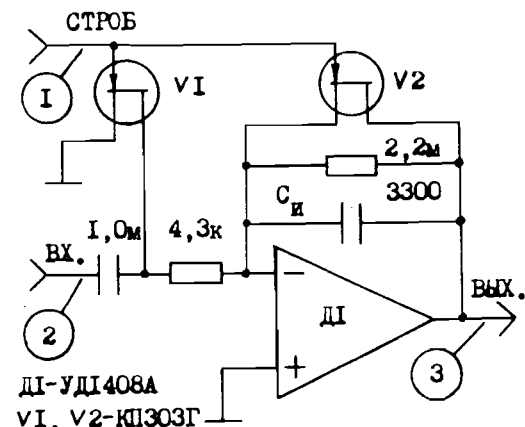


Рис. 3. Упрощенная принципиальная схема усилителя.

нения с датчиком использована витая экранированная пара длиной 1,5 м. Входная часть усилителя выполнена по дифференциальной схеме (микросхема Д1). Таким образом, наиболее чувствительная к помехам часть — датчик — соединительный кабель — входной усилитель — выполнена по полностью симметричной схеме, что позволило выбрать коэффициент усиления достаточно большим (~700). Конструктивно усилители выполнены в виде экранированных модулей размером 35x60x65 мм.

Рис. 4. Упрощенная принципиальная схема одного из каналов блока интеграторов.



Выходные сигналы усилителей по экранированным проводам длиной 50 ÷ 80 м поступают в пультное помещение, где в крейте КАМАК расположены остальные электронные устройства системы и ЭВМ. По отдельным проводам от стабилизатора крейта подается напряжение к усилителям, а также сигнал от калибровочного генератора к датчикам.

Принципиальная схема одного из каналов блока интеграторов, выполненного в стандарте КАМАК, представлена на рис. 4. Нормально замкнутый ключ на полевом транзисторе V1 служит для устранения постоянной составляющей в сигнале усилителя, которая может появиться из-за случайных наводок и привести к появлению ошибки в выходном сигнале интегратора. Ключ V2 предназначен для разряда интегрирующей емкости по окончании импульса тока протонного пучка. Работой ключей управляет внешний сигнал "строб", синхронизированный по времени с циклами работы ускорителя.

Сигналы восстановленной формы с выходов интеграторов поступают на блок пик-детекторов с аналоговым мультиплексором<sup>18/</sup> (рис. 5). Амплитудные значения сигналов запоминаются на измерительных емкостях пик-детекторов и затем поочередно коммутируются полевыми транзисторами на вход АЦП. Таким образом, за один цикл работы ускорителя опрашиваются все 9 каналов си-

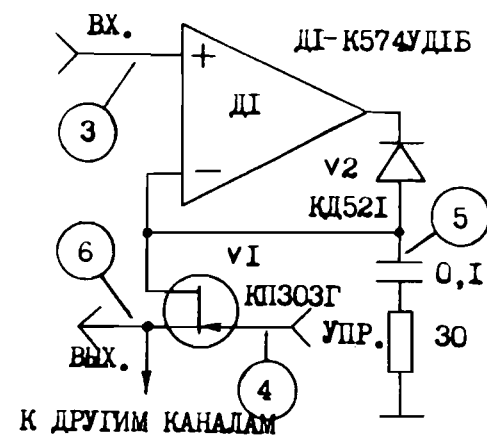
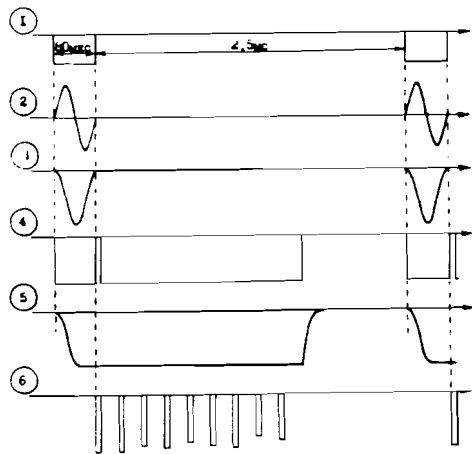


Рис. 5. Упрощенная принципиальная схема одного из каналов блока пик-детекторов с мультиплексором.



стемы, информация с которых считывается в ЭВМ для последующей обработки и представления на видеомониторе или цифropечатающем устройстве. Работу всех схем системы иллюстрируют временные диаграммы, представленные на рис. 6.

Рис. 6. Временные диаграммы напряжений, иллюстрирующие работу электронных устройств системы (нумерация эюр соответствует нумерации рис. 1-5).

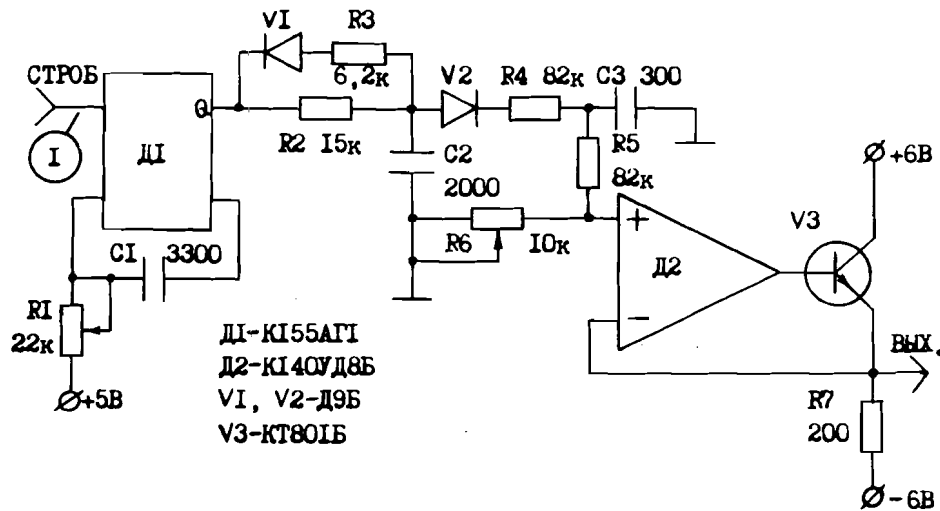


Рис. 7. Принципиальная схема генератора калибровочных сигналов.

Принципиальная схема генератора калибровочных сигналов приведена на рис. 7. Одновибратор на микросхеме Д1, запускающийся сигналом "строб", формирует прямоугольный импульс, по длительности равный половине импульса тока протонного пучка. Две интегрирующие цепочки V1R2R3C2 и V2R4R5C3 придают ему колоколообразную форму, близкую к форме реального сигнала. На микросхеме Д2 и транзисторе

V3 выполнен повторитель с сильноточным выходом. Имеется возможность менять длительность и амплитуду выходного сигнала с помощью подстроечных резисторов R1, R6.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Система МИД использовалась на протяжении пяти сеансов работ по транспортировке протонного пучка по IX и XII каналам, имеющих общий начальный участок ионооптического тракта, на котором были установлены 3 датчика системы. На конечных отрезках каналов, после их разветвления, было задействовано еще по два МИД. Таким образом, при работе с каждым из каналов поступала информация о прохождении протонного пучка в шести точках тракта.

Следует отметить, что измеряемая информация может быть использована не только для контроля потерь пучка, но и для настройки ионооптических элементов каналов. В табл. 2 представлен пример измерения зависимости коэффициента прохождения пучка по IX каналу от тока вертикального корректирующего магнита, расположенного в зале фазотрона. Измерения выполнены при среднем токе пучка  $\sim 0,3$  мкА, что соответствует импульсному току  $\sim 20$  мкА. Первый датчик, установленный на выходе из зала фазотрона, используется в качестве мониторингового для последующих и показывает относительную интенсивность пучка. Для остальных датчиков системы результат представляется в процентах прохождения протонного пучка до соответствующей точки.

Таблица 2

MONITOR	POINT1	POINT2	POINT3	POINT4	COMMENTS
583.0	96.1	91.0	85.9	65.4	CORR.=9A
753.7	94.4	91.8	88.2	67.4	CORR.=12A
729.8	95.5	91.5	89.3	67.3	CORR.=15A
751.8	96.0	90.1	88.2	64.6	CORR.=18A
763.1	95.4	87.9	85.5	60.5	CORR.=21A

С целью уменьшения влияния случайных наводок на результат для каждого измерения производится усреднение показаний датчиков по 1000 импульсам, что при существующей частоте посылок ускорителя (250 Гц) требует всего 4 секунды. При этом разброс показаний от измерения к измерению не превышает  $\pm 1\%$ .

Линейность одного из каналов системы проверялась сравнением его показаний с показаниями ионизационной камеры, имеющей малое ( $\sim 0,8$  мм) межэлектродное расстояние<sup>13</sup>. В интервале значений среднего тока протонов от 0,3 до 2 мкА и в пределах ошибки измерения  $\sim 2\%$  отклонений от линейности не наблюдалось.

В одном из сеансов проводилось сравнение значений коэффициента прохождения пучка, измеренных с помощью системы МИД и калориметром<sup>12</sup>. Полученное различие составило около 1,5%, что находится в пределах погрешности метода калориметрирования.

В процессе эксплуатации системы выяснилось, что чувствительность датчиков подвержена временному дрейфу, который, однако, не превышает  $\pm 1\%$  за час работы и легко контролируется с помощью калибровочного генератора.

Резюмируя сказанное, можно утверждать, что точность измерения коэффициента прохождения в интервале значений среднего тока пучка  $0,3 \div 3$  мкА не хуже  $2 \div 3\%$ .

Следует отметить, что выбранный режим работы МИД не дает информации об абсолютной интенсивности пучка. Однако для того, чтобы перевести датчик в затухающий колебательный режим работы, достаточно заменить входное сопротивление усилителя на емкость, а сигнал на блок пик-детекторов подать, минуя интегратор. Нижний предел диапазона измеряемого тока пучка при этом несколько увеличится.

С целью улучшения помехозащищенности системы в настоящее время для всех датчиков изготавливаются электромагнитные экраны из железа, один из которых был опробован во время сеанса. Экран практически не повлиял на чувствительность датчика, но снизил уровень помех почти в 5 раз.

В настоящее время ведутся также работы по изготовлению трех МИД большего размера, предназначенных для работы с вакуумными каналами с внешним диаметром 150 мм (например, на XII канале).

Кроме того, предполагается подавать сигналы калибровочного генератора в промежутке между макроимпульсами ускорителя, что повысит стабильность работы системы при длительной ее эксплуатации без остановки ускорителя и упростит процесс измерения.

В заключение автор выражает признательность О.В.Савченко за постоянное внимание и поддержку в работе, а также С.А.Густову и И.В.Мирохину за проведение калориметрирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Желепов В.П. и др. – В сб.: Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-87-105, 1987, т.2, Дубна, с.155.
2. Абазов В.М. и др. ОИЯИ, 9-87-322, Дубна, 1987.
3. Зельчинский М., Шишкин А.Л. – ОИЯИ, Р13-88-142, Дубна, 1988.
4. Москалев В.А. и др. – Измерение параметров пучков заряженных частиц. М.: Атомиздат, 1980.
5. Антюхов В.А. и др. – ОИЯИ, 10-80-650, Дубна, 1980.
6. Журавлев Н.И. и др. – ОИЯИ, 10-7332, Дубна, 1973.
7. Маконин С.В. и др. – ИФВЭ, 86-180, Серпухов, 1986.
8. Абазов В.М. и др. – ОИЯИ, 18-88-207, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 марта 1989 года.