

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

9-87-81

**Н.Н.Блиников, О.И.Бровко, А.И.Михайлов,  
Г.П.Пучков, С.В.Романов,  
А.П.Царенков, К.В.Чехлов**

**ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА УСКОРЕНИЯ  
В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ  
МОДЕЛЬНОМ СИНХРОТРОНЕ**

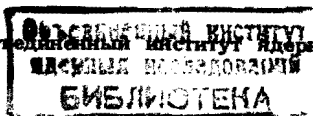
**1987**

При разработке высокочастотной ускоряющей системы сверхпроводящего модельного синхротрона СПИН предусмотрена возможность ускорения ионов в диапазоне изменения отношения массы иона к его заряду  $A/Z = 1:34$ , т.е. от протонов до 7-зарядных ионов урана, которые обеспечивает источник Пеннинга.

Начальная частота обращения частиц по орбите, определяемая напряжением инжектора 750 кВ, лежит в пределах от 38 кГц для  $U^{7238}$  до 220 кГц для протонов. Конечная частота обращения, определяемая максимальным магнитным полем ускорителя 2,2 Т, соответственно лежит в пределах /0,38:5,14/ МГц. С целью сужения диапазона модуляции частоты принята во внимание возможность ускорения на кратных частотах в зависимости от сорта ускоряемых ионов. На рис.1 представлены кривые зависимости частоты ускоряющего напряжения  $f$  от индукции ведущего магнитного поля "В" для некоторых конкретных случаев отношения  $A/Z$  и принятых кратностей ускорения  $h$ . Из рисунка следует, что минимальная частота, равная 110 кГц, имеет место у кривой 3 ( $A/Z = 4$ ,  $h = 1$ ), а максимальная, равная 5,14 МГц, - у кривой 1 для протонов ( $A/Z = 1$ ,  $h = 1$ ). С учетом некоторого запаса рабочий диапазон модуляции частоты принят в пределах от 0,1 МГц до 5,2 МГц.

Структурная схема высокочастотной ускоряющей системы представлена на рис.2. Система связи частоты ускоряющего напряжения с ведущим магнитным полем по своему построению во многом аналогична разработанной ранее и используемой на синхрофазотроне/1-3/. Информация о скорости изменения магнитного поля берется с индукционной катушки 1, размещаемой в охлаждаемом гелием дипольном магните измерительного периода ускорителя. Катушка охватывает всю рабочую область магнита, содержит 520 витков провода и обеспечивает напряжение 10 В при скорости изменения магнитного поля 10 Т/с. Передача напряжения от катушки до реверсивного В-таймера 3 и управляемого аттенюатора осуществляется двухжильным витым экранированным кабелем.

Управляемый аттенюатор на входе интегратора 7 имеет 32 цепочки, поочередно включаемые электронными ключами  $K_1, K_2 \dots K_{32}$ . Поочередная работа ключей обеспечивается устройством 9, имеющим 32 выхода. Информация о магнитном поле в устройстве 9 подается от реверсивного В-таймера. В этом таймере, имеющем шаг преобразования 0,1 мТ, использован принцип двух поочередно работающих интеграторов на базе операционных усилителей типа К544УД2А с компенсацией дрейфа МДМ-каналами. В качестве компа-



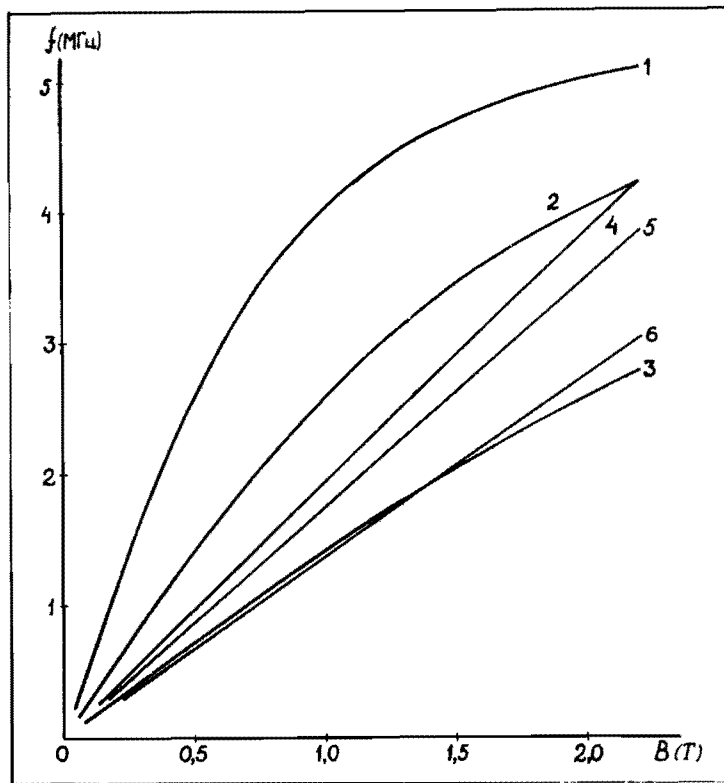


Рис.1. Кривые зависимости частоты ускоряющего напряжения "f" от индукции ведущего магнитного поля "B" при ускорении: 1 - протонов ( $A/Z = 1, h = 1$ ); 2 - ядер ( $A/Z = 2, h = 1$ ); 3 - ионов  $A/Z = 4$  при  $h = 1$ ; 4 - ионов  $C_{12}^{+1}$  ( $A/Z = 12, h = 4$ ); 5 - ионов  $Sn_{120}^{+5}$  ( $A/Z = 24, h = 8$ ); 6 - ионов  $U_{238}^{+7}$  ( $A/Z = 34, h = 8$ ).

Для учета остаточного поля используется опорный пермаллоевый датчик 2, настроенный на значение поля 10 мТ. Цифровой компаратор магнитного поля 4, получая информацию от опорного датчика и В-таймера, позволяет устанавливать любое значение магнитного поля с точностью 0,1 мТ, с которого начинается работа интегратора 7 посредством коммутации элект-

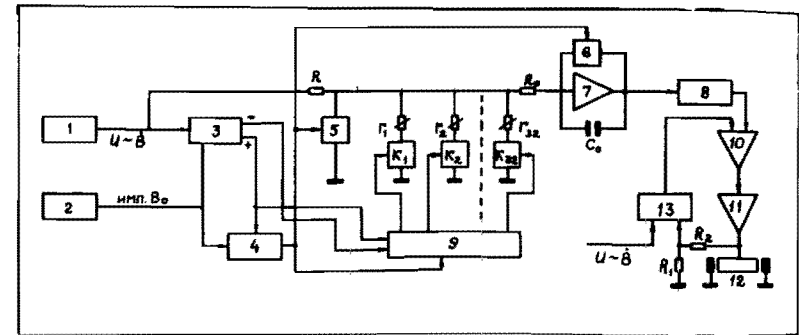


Рис.2. Структурная схема высокочастотной ускоряющей системы: 1 - индукционная катушка; 2 - опорный пермаллоевый датчик; 3 - реверсивный В-таймер /выход "+" несет информацию о растущем во времени магнитном поле, а выход "-" - о спадающем/; 4 - цифровой компаратор магнитного поля; 5,6 - электронные ключи интегратора; 7 - интегратор; 8 - задающий генератор; 9 - устройство управления работой электронными ключами  $K_1 \dots K_{32}$ ; 10 - широкополосный регулируемый усилитель; 11 - мощный выходной усилитель; 12 - ускоряющий электрод; 13 - блок АРУ.

ронных ключей 5 и 6 и ключей  $K_1 \dots K_{32}$  аттенюатора. Это сделано с целью использования минимального количества цепочек аттенюатора при широком диапазоне модуляции частоты ввиду того, что магнитное поле при инжекции разного сорта частиц изменяется в больших пределах /от 37,9 мТ для протонов до 0,221 Т для ионов урана/. Интервалы магнитного поля, в течение которых поочередно работают ключи  $K_1 \dots K_{32}$ , изменяются от 20 мТ до 0,13 Т, что в соответствии с расчетной кривой аппроксимации нелинейной зависимости отрезками прямых приводит к максимальному отклонению пучка по радиусу не более  $\pm 0,5$  мм для любого сорта ускоряемых ионов. Интегратор 7 с термостатируемой цепью обратной связи и автоматической подстройкой дрейфа развивает на выходе напряжение  $\approx 70$  В. Сравнительно высокое напряжение интегратора, понижаемое в 10 раз прецизионным делителем на входе задающего генератора 8, позволяет существенно снизить шумовые и фоновые составляющие в частоте генератора. Генератор выполнен по схеме с преобразованием частоты. Частота частотно-модулируемого генератора изменяется в пределах  $13,6 \div 18,7$  МГц. Частота кварцевого гетеродина равна 13,5 МГц. Разностная частота изменяется в 52 раза от 0,1 до 5,2 МГц. В качестве варикапов

используются кремниевые стабилитроны Д814Д. Стабильность частоты в начале диапазона  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ , в конце  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ . В генераторе предусмотрены изменение начальной частоты от 0,1 до 0,5 МГц и возможность коррекции частоты по информации о радиальном и фазовом движении пучка.

Высокочастотный сигнал с амплитудой 1В поступает на широкополосный регулируемый усилитель 10, коэффициент усиления которого может изменяться в 20 раз в зависимости от управляющего напряжения, поступающего с блока АРУ 13. В регулируемом устройстве использованы полевые транзисторы типа КП 303В. С выхода этого усилителя по кабелю с волновым сопротивлением 150 Ом длиной 40 м сигнал подается на мощный выходной усилитель 11, расположенный непосредственно у вывода ускоряющего электрода 12 из камеры ускорителя. Ускоряющий электрод длиной 2,95 м имеет емкость относительно земли 340 пФ.

Выходной усилитель состоит из согласующего каскада и девяти одинаковых модулей, восемь из которых являются выходными, а один работает в качестве предварительного усилителя, обеспечивающего на входах транзисторов выходных модулей необходимую амплитуду сигнала. Кроме того, в состав усилителя входит блок трансформаторов, предназначенный для сложения высокочастотных сигналов выходных модулей и получения на ускоряющем электроде необходимого напряжения с амплитудой 300 В. Каждый модуль обеспечивает на приведенной нагрузке 8 Ом амплитуду напряжения  $/35 \div 40/$  В и представляет собой двухтактный усилитель класса "АВ" на четырех транзисторах типа КТ912 /по два в плече/, установленных на общем теплоотводящем радиаторе. Охлаждение радиаторов - принудительное, воздушное с помощью вентиляторов. Для уменьшения влияния разброса параметров применяемых транзисторов в схемах модулей предусмотрена отрицательная обратная связь по току.

Блок трансформаторов выполнен по типу трансформатор-линия. Для расширения полосы в сторону низких частот применены ферритовые кольца 2000 нм /16x10x4,5/.

Для предотвращения пробоя выходных транзисторов от перенапряжения /например, при аварийном "обрыве" нагрузки/ усилитель снабжен встроенной электронной схемой защиты, действующей на запирающие каскады предварительного усиления. Выходной усилитель питается от стабилизированного источника напряжения +25 В и потребляет ток 70 А при амплитуде в.ч. напряжения на ускоряющем электроде 300 В.

В аппаратуре предусмотрена возможность управления амплитудой ускоряющего напряжения в диапазоне  $/20 \div 300/$  В при подаче в блок АРУ сигнала, пропорционального скорости нарастания магнитного поля.

Проведенные испытания показали, что аппаратура в.ч. ускоряющей системы удовлетворяет техническим требованиям и обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики, стабильность и надежность в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.И., Пучков Г.П., Царенков А.П. Препринт ОИЯИ 9-10712, Дубна, 1977.
2. Михайлов А.И., Пучков Г.П., Царенков А.П. - ПТЭ, № 5, 1978, с.21.
3. Казанский Г.С. и др. В кн.: "Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц", ОИЯИ, Дубна, 1979, т.1, с.333.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 февраля 1987 года.

### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
Д13-85-793	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.
Д3,4,17-86-747	Труды У Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Блинников Н.Н. и др.

9-87-81

Высокочастотная система ускорения  
в сверхпроводящем модельном синхротроне

Сообщается о высокочастотной ускоряющей системе сверхпроводящего модельного синхротрона СПИН с рабочим диапазоном модуляции частоты  $/0,1 \div 5,2/$  МГц. Обоснован выбор оптимального варианта ускорения ионов в пределах изменения отношения массы иона к его заряду от 1 до 34. Приведена структурная схема и дано описание основных узлов аппаратуры задающей электроники и ускоряющей станции.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Blinnikov N.N. et al.

9-87-81

RF Accelerating System at the Superconducting  
Model Synchrotron

The RF accelerating system at the superconducting model synchrotron SPIN with operating modulation within 0.1 upto 5.2 MHz frequency band is described. The choice of optimum ion acceleration variant within the mass to charge ratio from 1 upto 34 is based. The block diagram, basic units of the main electronics units and accelerating station are described.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987