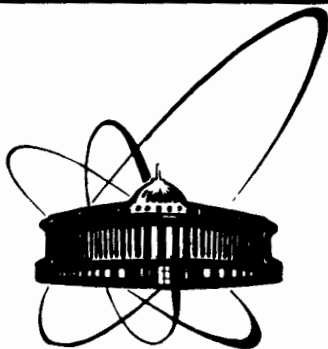


Э/Х - 83



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

5100/83

9-83-540

О.И.Бровко, А.И.Михайлов, К.В.Чехлов

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА  
УСКОРЕНИЯ ЛЕГКИХ ЯДЕР  
В СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

Направлено в журнал  
"Приборы и техника эксперимента"

1983

При реализации предложения по ускорению ядер в синхрофазотроне /1/ потребовалось расширение диапазона перестройки частоты высокочастотной ускоряющей системы, а с вводом в эксплуатацию инжектора ЛУ-20 /на энергию 20 МэВ для протонов и 5 МэВ/нуклон для легких ядер/ и увеличение амплитуды ускоряющего напряжения. Это привело к необходимости реконструкции ускоряющей системы.

## 1. АМПЛИТУДА УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

В качестве ускоряющего элемента служит "пролетный" электрод, размещенный в одном из прямолинейных участков вакуумной камеры синхрофазотрона. Формирование области фазовой устойчивости начинается с некоторого минимального значения амплитуды ВЧ напряжения на электроде  $U_{э \text{ min}}$ , определяемого параметрами ускорителя в соответствии с соотношением

$$U_{э \text{ min}} = \frac{\rho_0 \dot{\Pi} B}{2 \sin \pi q \frac{l_э}{\Pi}} \quad (B), \quad /1/$$

где  $\rho_0$  - радиус кривизны центральной орбиты в электромагните ускорителя, равный 28 м;  $\Pi$  - периметр орбиты, равный 208 м;  $B$  - скорость нарастания индукции ведущего магнитного поля, составляющая в начале ускорения 0,356 Т/с;  $q$  - кратность ускорения;  $l_э$  - длина ускоряющего электрода по направлению движения пучка, равная 6,1 м.

Радиальный полуразмер области фазовой устойчивости  $\Delta R_{\text{max}}$  для начального участка ускорения частиц после инжекции определяется из выражения

$$\Delta R_{\text{max}} \approx \frac{\Pi}{2\pi} \sqrt{2 \frac{Z}{A} \cdot \frac{a^2}{a-1} \frac{eU_э \sin \pi q \frac{l_э}{\Pi}}{\pi q W_{IH}}} (\sin \phi_s - \phi_s \cos \phi_s), \quad /2/$$

где  $Z/A$  - отношение заряда частицы в единицах элементарного заряда к массовому числу;  $a$  - коэффициент расширения орбит, равный 2,56;  $W_{IH}$  - кинетическая энергия инжектируемых частиц, приходящаяся на один нуклон;  $\phi_s$  - равновесная фаза

На рис.1 представлены результаты расчета зависимости радиального полуразмера области устойчивости от амплитуды  $U_э$  для на-

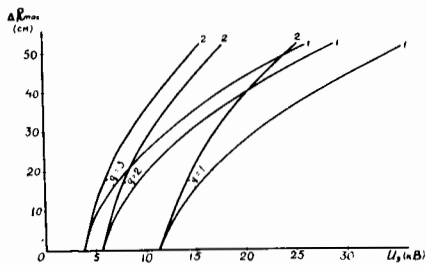


Рис.1. Зависимость радиального полуразмера области устойчивости  $\Delta R_{\max}$  от амплитуды ВЧ напряжения на ускоряющем электроде  $U_3$  на начальном участке ускорения протонов /кривые "1"/ и ядер /кривые "2"/ при различных кратностях  $q = 1 \div 3$ .

чального участка ускорения протонов /кривые "1",  $Z/A = 1$ ;  $W_{iH} = 20$  МэВ/ и ядер /кривые "2",  $Z/A = 0,5$ ;  $W_{iH} = 5$  МэВ/нуклон/ при различных кратностях  $q = 1 \div 3$ . Из рисунка следует, что наиболее заметное снижение  $U_3$  при одном и том же значении  $\Delta R_{\max}$  наблюдается при переходе от первой кратности ко второй.

## 2. КРАТНОСТЬ УСКОРЕНИЯ

Перестройка частоты ВЧ напряжения на ускоряющем электроде, служащем в качестве емкости параллельного колебательного контура мощного выходного каскада ускоряющей системы, обеспечивается изменением индуктивности при подмагничивании ферритового сердечника. Требуемая величина индуктивности и пределы ее изменения определяются известным соотношением

$$L = \frac{1}{4\pi^2 q^2 f_0^2 C}, \quad /3/$$

где  $f_0$  - частота обращения пучка частиц, изменяющаяся в синхрофазотроне в диапазоне  $/0,15 \div 1,44/$  МГц<sup>2</sup>;  $C$  - суммарная емкость контура, равная  $1,3$  нФ и включающая в себя емкость электрода  $/1050$  пФ/, емкость измерительных емкостных делителей  $/150$  пФ/ и паразитную емкость монтажа  $/100$  пФ/.

Объем феррита  $V_{\Phi}$ , необходимый для реализации требуемой индуктивности, определяется на основании соотношения <sup>/3/</sup>

$$V_{\Phi} = \frac{\mu \mu_0 C U_3^2}{B^2} \quad (\text{м}^3), \quad /4/$$

где  $\mu$  - относительная магнитная проницаемость феррита, зависящая не только от подмагничивания, но и от переменной индукции  $B_{\sim} /T/$ ;  $\mu_0$  - магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

При заданных значениях емкости контура и амплитуды напряжения объем феррита определяется его параметрами. Величина индукции ограничивается некоторым пределом, характерным для каждой марки феррита, превышение которого ведет к разрушению последнего.

Магнитная проницаемость выбирается с учетом обеспечения требуемого перекрытия контура по частоте.

Индуктивность катушки с ферритовым сердечником, включенной в колебательный контур, можно представить в виде

$$L = \frac{\mu - 1}{\mu_1} L_{\Phi 0} + L_{\text{рас.}}, \quad /5/$$

где  $\mu_1$  и  $L_{\Phi 0}$  - соответственно начальная относительная проницаемость феррита и индуктивность катушки при отсутствии подмагничивания и переменной индукции;  $L_{\text{рас.}}$  - индуктивность рассеяния, включающая в себя индуктивность катушки при полном подмагничивании феррита ( $\mu = 1$ ) и индуктивность монтажа.

Нижняя резонансная частота контура обеспечивается индуктивностью катушки  $L_{\text{нач.}}$  при отсутствии подмагничивания. Учитывая, что  $L_{\Phi 0} \gg L_{\text{рас.}}$  и  $\mu_{\text{нач.}} \gg 1$ , из /5/ имеем

$$L_{\text{нач.}} \approx L_{\Phi 0} \frac{\mu_{\text{нач.}}}{\mu_1}, \quad /6/$$

где  $\mu_{\text{нач.}}$  - магнитная проницаемость феррита при наличии переменной индукции и отсутствии подмагничивания.

Верхняя частота, определяемая индуктивностью  $L_{\text{кон.}}$  имеет место при максимально достижимом практически подмагничивании феррита. Ограничением служит приближение к насыщению  $/\mu = 4 \div 5$  при напряженности подмагничивающего поля порядка  $100$  А/см/, при котором дальнейшее подмагничивание не приводит к заметному изменению  $\mu$ . Поэтому ориентировочно для верхней частоты диапазона имеем

$$L_{\text{кон.}} \approx \frac{3 \div 4}{\mu_1} L_{\Phi 0} + L_{\text{рас.}}, \quad /7/$$

Из выражений /6/ и /7/ следует

$$\frac{L_{\text{кон.}}}{L_{\text{нач.}}} \approx \frac{3 \div 4}{\mu_{\text{нач.}}} + \frac{L_{\text{рас.}}}{L_{\text{нач.}}}. \quad /8/$$

Полагая вклад обоих членов в правой части выражения /8/ одинаковым, из заданного перекрытия по частоте, равного  $10$   $/L_{\text{кон.}}/L_{\text{нач.}} = 0,01/$ , можно оценить порядок величин  $\mu_{\text{нач.}}$  и  $L_{\text{рас.}}$ , т.е.

$$\mu_{\text{нач.}} = 600 \div 800, \quad /9/$$

$$L_{\text{рас.}} = 0,005 L_{\text{нач.}}$$

Ферритовые кольца размером /125x85x15/ марки ОКС-500 с начальной магнитной проницаемостью  $\mu_1 \approx 500$ , применение которых допускается в сильных переменных магнитных полях до  $\approx 0,1 \text{ Т}^{1/4}$ , по-видимому, могут удовлетворять оценочной величине  $\mu_{нач}$ , если учесть, что с ростом индукции до 0,08 Т магнитная проницаемость приблизительно линейно возрастает в  $\approx 1,5$  раза с крутизной  $\frac{\partial \mu}{\partial B} \approx 4 \cdot 10^3 \text{ 1/Т}$ , т.е.

$$\mu \approx \mu_1 + \frac{\partial \mu}{\partial B} \cdot B \quad /10/$$

Так как

$$B = \mu \mu_0 \frac{I}{l_{ср}} \cdot \frac{w}{N}, \quad /11/$$

где  $w$  - число витков катушки;  $N$  - число параллельных ветвей индуктивности\*;  $I$  - амплитуда тока в контуре /А/;  $l_{ср}$  - длина средней силовой линии в ферритовом кольце, равная 0,33 м.

Из выражений /10/ и /11/ имеем

$$\mu = \frac{\mu_1}{1 - \mu_0 \frac{I}{l_{ср}} \cdot \frac{w}{N} \frac{\partial \mu}{\partial B}} \quad /12/$$

На основании соотношений /3/, /6/, /9/, /10/, /11/ и /4/ в таблице представлены результаты вычислений основных параметров контурной индуктивности при амплитудах ВЧ напряжения, достаточных для перекрытия областью устойчивости радиальной апертуры +50 см в режимах ускорения ядер при разных кратностях  $q = 1 \div 3$ . Отношение  $w/N = 1/2$  /две одновитковые катушки, четыре двухвитковые катушки и т.д., включенные параллельно/ принято из соображений, чтобы индукция в феррите не превышала 0,1 Т.

Из таблицы следует, что для режима ускорения на 1-й кратности индуктивность контура получается очень громоздкой и для ее реализации требуется 2,35 тонны феррита. Для режима ускорения на 3-й кратности возникают технические трудности, связанные с реализацией заданного частотного диапазона, из-за требования очень малой величины индуктивности рассеяния /0,52 мкГн/, если учесть, что индуктивность одного лишь ввода в вакуумную камеру для подачи ВЧ напряжения на ускоряющий электрод равна 0,35 мкГн. Из этих соображений вариант ускорения частиц в синхрофазотроне в режиме 2-й кратности является оптимальным.

\* Чтобы избежать высоких потенциалов на входе и выходе обмотки подмагничивания, индуктивность выполняют в виде четного числа параллельных ветвей /  $N = 2; 4$  и т.д./.

Таблица

| Кратность                    | 1     | 2     | 3     |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| Начальная частота /МГц/      | 0,15  | 0,3   | 0,45  |
| Конечная частота /МГц/       | 1,44  | 2,88  | 4,32  |
| $L_{нач}$ /мкГн/             | 870   | 216   | 97    |
| $L_{рас}$ /мкГн/             | 4,35  | 1,08  | 0,52  |
| $U_{э}$ /кВ/                 | 25    | 17    | 15    |
| $I_{нач}$ /А/                | 31    | 42    | 55    |
| $\mu_{нач}$                  | 650   | 740   | 860   |
| $B_{нач}$ /Т/                | 0,038 | 0,059 | 0,09  |
| $V_{\phi}$ /м <sup>3</sup> / | 0,46  | 0,1   | 0,039 |
| Масса феррита /кг/           | 2350  | 510   | 200   |
| Число ферритовых колец       | 4700  | 1020  | 400   |

### 3. УСКОРЯЮЩАЯ СИСТЕМА

Интенсивность пучка, захваченного в режим синхротронного ускорения, возрастает с ростом амплитуды ускоряющего напряжения до тех пор, пока суммарная величина амплитуд бетатронных и синхротронных радиальных колебаний, радиального искажения орбиты и отклонения пучка по радиусу из-за ошибок в частоте ускоряющего напряжения не станет соизмеримой с полуразмером радиальной апертуры ускорителя. Неоднократно проведенные исследования указывали на то, что рост интенсивности пучка в синхрофазотроне практически прекращается, когда радиальный полуразмер области устойчивости достигает 35 см. Как следует из рис.1,  $\Delta R_{max} = 35$  см на начальном участке ускорения протонов в режиме 2-й кратности соответствует амплитуда ВЧ напряжения на ускоряющем электроде 17 кВ. Эта амплитуда и принята в качестве одного из основных параметров. При этой амплитуде на начальном участке ускорения ядер область устойчивости почти полностью перекрывает радиальную апертуру ускорителя. Таким образом, ускоряющая система синхрофазотрона при ускорении частиц в режиме 2-й кратности должна обеспечивать амплитуду ВЧ напряжения на уровне 17 кВ в диапазоне частот /0,3÷2,88/ МГц.

На рис.2 представлена структурная схема высокочастотной ускоряющей системы. Широкополосный усилитель состоит из 4-х каскадов, три из которых расположены в главном здании ускорителя вбли-

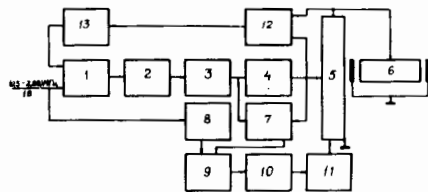


Рис.2. Структурная схема ускоряющей системы синхрофазотрона: 1 - предварительный усилитель; 2 - промежуточный усилитель; 3 - предоконечный каскад; 4 - выходной каскад; 5 - контурная линия с ферритом ОКС-500; 6 - ускоряющий электрод; 7 - фазовый детектор; 8 - нелинейный частотный детектор; 9 - сумматор; 10 - преобразователь "напряжение - широта"; 11 - мощный усилитель класса Д; 12 - емкостной делитель напряжения; 13 - блок АРУ.

зи ускоряющего электрода. Первые три каскада - аperiodические, выходной каскад - резонансный. Предварительный транзисторный усилитель "1" с регулируемым коэффициентом усиления усиливает сигнал, поступающий от задающего генератора и модулируемый по частоте в диапазоне  $0,3 \div 2,88$  / МГц. С выхода предварительного усилителя сигнал на уровне до 20 В передается на вход промежуточного усилителя "2" по кабелю длиной 400 м с волновым сопротивлением 150 Ом. Промежуточный усилитель, выполненный на 9 транзисторах типа КТ903Б, обеспечивает амплитуду  $180 \div 90$  В /соответственно для начала и конца диапазона/ на нагрузке входной цепи предоконечного лампового каскада "3". Предоконечный и выходной /"4"/ каскады выполнены на двух тетрадах ГУ-44А каждый. Эти каскады могут работать либо из одной /любой/ лампы, либо на двух при их параллельном включении. Включение и отключение ламп - дистанционное.

Нагрузкой выходного каскада, принципиальная схема которого изображена на рис.3, является параллельный колебательный контур. В качестве емкости контура служит емкость ускоряющего электрода "6" по отношению к камере ускорителя, в качестве индуктивности - короткозамкнутая коаксиальная линия "5"\*. Схематически конструкция линии показана на рис.4. Линия состоит из 2 параллельных отрезков длиной по 7,5 м. Каждый отрезок состоит из 2 токопроводящих труб: внутренней, диаметром 85 мм, на которую надеты ферритовые кольца  $125 \times 85 \times 15$  / марки ОКС-500, и наружной, диаметром 300 мм. Между кольцами размещены теплоотводящие алюминиевые шайбы  $130 \times 85 \times 1$ /. На каждом отрезке линии содержится по 480 ко-

\* В качестве первого варианта индуктивности были изготовлены 64 тороидальные четырехвитковые катушки, заполненные 12-ю ферритовыми кольцами марки ОКС-800  $125 \times 85 \times 15$  / каждая и включенные по 8 шт. в 8 параллельных ветвей. Однако впоследствии от этого варианта пришлось отказаться из-за громоздкости конструкции, сложности охлаждения феррита и невозможности получить амплитуду на контуре выше 12 кВ вследствие чрезмерно больших потерь мощности в феррите при модуляции частоты в районе 2 МГц.

Рис.3. Принципиальная схема выходного каскада.

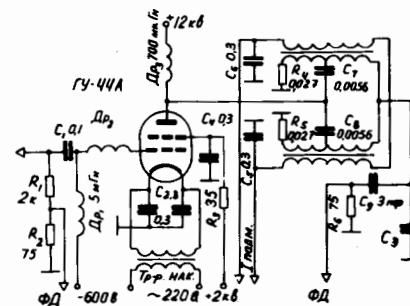
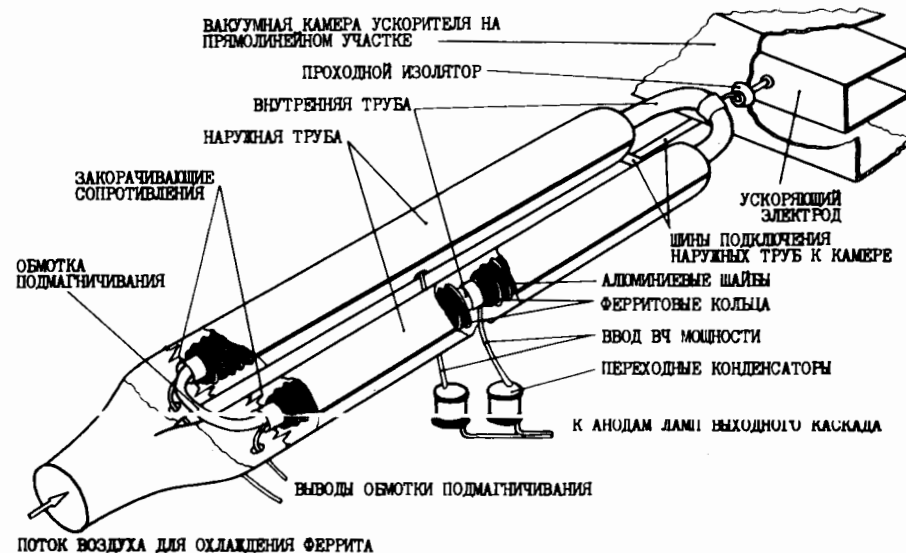


Рис.4. Схематическая конструкция контурной линии.



лец. Для выравнивания потерь мощности в феррите кольца вдоль линии распределены с постепенным возрастанием начальной магнитной проницаемости от 440 на короткозамкнутом конце до 570 на конце, подключенном к электроду. В качестве закорачивающих сопротивлений между наружной и внутренней трубами на каждой ветви служат 8 параллельно включенных нихромовых проводников диаметром 1,2 мм с эквивалентным сопротивлением 0,027 Ом и индуктивностью 0,1 мкГн. Для возможности доступа к кольцам наружная труба изготовлена из листового дюралюминия разборной по конструкции.

Во внутренней трубе размещена обмотка подмагничивания, состоящая из 7 витков проводника сечением  $70 \text{ мм}^2$ . Начало и конец обмотки выведены из труб на короткозамкнутом конце. На этом же конце линии имеется сочленение с воздухопроводом системы воздушного охлаждения. Своим разомкнутым концом линия максимально приближена к выводу ускоряющего электрода из камеры ускорителя и средней частью проходит сквозь шкаф выходного каскада. При этом обеспечи-

вается минимальная индуктивность рассеяния и оптимальная связь анодов ламп с контуром. По высоте линия расположена на уровне 1,7 м от пола.

Настройка контура в резонанс обеспечивается системой автоматического регулирования тока подмагничивания. На входы фазового детектора "7" поступают высокочастотные сигналы, сдвинутые по фазе при резонансе на  $90^\circ$ , с омического делителя во входной цепи выходного каскада и с фазосдвигающей дифференцирующей цепочки, подключенной к контуру /см. рис.3/. В системе тока подмагничивания использован принцип широтно-импульсной модуляции напряжения в мощном усилителе класса Д<sup>4</sup>, содержащем 40 параллельных цепочек с транзисторами типа ГТ806Г. Напряжение с выхода фазового детектора, пропорциональное отклонению фаз от  $90^\circ$ , через сумматор "9" поступает на преобразователь "10" /"напряжение - широта"/. Изменение тока подмагничивания обеспечивается за счет изменения длительности импульсов при постоянной амплитуде 25В, частота следования которых равна 4 кГц, и примерно в 1,5 раза превышает максимальную частоту синхротронных колебаний. В некоторых случаях для модуляции тока подмагничивания предусмотрено использование нелинейного частотного детектора "8", выходное напряжение которого  $U_{\text{чд}} = \Phi(f)$  примерно соответствует характеру кривой тока подмагничивания  $I = F(f)$ .

Поддержание амплитуды ВЧ напряжения на ускоряющем электроде на заданном уровне обеспечивает блок АРУ /13/ путем сравнения сигнала емкостного делителя с опорным уровнем и регулирования коэффициента усиления предварительного усилителя.

#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

После проведения комплекса монтажных и наладочных работ в июле 1982 г. ускоряющая система была испытана в различных режимах ускорения ядер и протонов в синхрофазотроне. Исследования показали, что изменение тока подмагничивания в пределах  $0 \div 300$  А обеспечивает перестройку резонансной частоты контура в диапазоне  $0,3 \div 3,0$  МГц. Модуляционная характеристика контура представлена на рис.5.

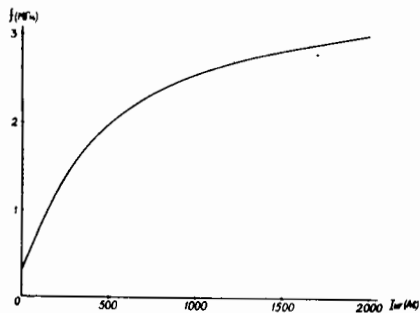


Рис.5. Зависимость резонансной частоты контура от подмагничивающих ампервитков.

Изменение магнитной проницаемости феррита в зависимости от индукции переменного поля, как указывалось выше, приводит к зависимости резонансной частоты контура от амплитуды ВЧ напряжения. Измерения показали, что резонансная частота контура при отсутствии тока подмагничивания падает с ростом амплитуды с крутизной 7 кГц/кВ и при амплитуде  $\approx 13$  кВ совпадает с удвоенной частотой обращения пучка ядер при инжекции. Настройка резонансной частоты контура на начальную частоту 0,6 МГц для режима ускорения протонов обеспечивается начальным током подмагничивания 8А.

Максимальная мощность, потребляемая от ламп выходного каскада, должна иметь место на нижней частоте диапазона, так как при изменении индуктивности контура за счет подмагничивания добротность феррита растет быстрее, чем перестройка частоты контура. Поэтому удельные потери мощности в феррите с ростом частоты должны уменьшаться. Однако, как показали измерения, при амплитудах выше 12 кВ наблюдается возрастание потерь в диапазоне частот  $1 \div 2,3$  МГц. Измеренные в статическом режиме потери на частоте 1,6 МГц увеличиваются с ростом амплитуды, как  $\approx U_{\text{в}}^3$ , и при  $U_{\text{в}} = 15$  кВ равны  $1,6$  Вт/см<sup>3</sup>, т.е. примерно такие же, как и на начальной частоте 0,3 МГц. Несмотря на это, в динамическом режиме перестройки частоты одна лампа ГУ-44А в выходном каскаде обеспечивает амплитуду на контуре 17 кВ в рабочем диапазоне частот. При параллельном включении двух ламп можно получить амплитуду около 20 кВ.

Зависимость интенсивности пучка ускоряемых ядер от амплитуды заметно проявляется в области  $U_{\text{в}} < 12$  кВ. В пределах  $12 \div 17$  кВ интенсивность практически не изменяется.

Реконструкция ускоряющей системы с переходом на 2-ю кратность ускорения позволила повысить интенсивность пучков ускоряемых ядер в 2 раза по сравнению с одноэтапным режимом ускорения на 1-ой кратности <sup>1/5</sup>. За время работы синхрофазотрона в течение года ускоряющая система показала высокие эксплуатационные качества и надежность в работе.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе реконструкции выполнен большой объем работ, связанных с разработкой, макетированием и исследованием характеристик отдельных узлов ускоряющей системы. Авторы благодарны В.В.Слесареву, Ю.М.Старикову и Ю.А.Алексееву за большую помощь в этих работах. Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность И.Н.Семенюшкину за постоянное внимание к выполненным исследованиям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безногих Ю.Д. и др. ПТЭ, 1968, 4, с.202.

2. Михайлов А.И., Пучков Г.П., Царенков А.П. ПТЭ, 1978, 5, с.21.
3. Невяжский И.Х. и др. Радиотехника и электроника, 1956, т.1, вып.7, с.954.
4. Горюнов Э.П. Вопросы радиоэлектроники, сер. ТРС, 1974, вып.6, с.11.
5. Михайлов А.И., Пучков Г.П., Чехлов К.В. ОИЯИ, 9-9901, Дубна, 1976.

### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| D3-11787      | Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.   | 3 р. 00 к. |
| D13-11807     | Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.  | 6 р. 00 к. |
|               | Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/   | 7 р. 40 к. |
| D1,2-12036    | Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978  | 5 р. 00 к. |
| D1,2-12450    | Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.   | 3 р. 00 к. |
|               | Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/  | 8 р. 00 к. |
| D11-80-13     | Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979            | 3 р. 50 к. |
| D4-80-271     | Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.  | 3 р. 00 к. |
| D4-80-385     | Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.  | 5 р. 00 к. |
| D2 81 542     | Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981  | 2 р. 50 к. |
| D10,11-81-622 | Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980                      | 2 р. 50 к. |
| D1,2-81-728   | Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.  | 3 р. 60 к. |
| D17-81-758    | Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.   | 5 р. 40 к. |
| D1,2-82-27    | Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.  | 3 р. 20 к. |
| P18-82-117    | Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981. | 3 р. 80 к. |
| D2-82-568     | Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.  | 1 р. 75 к. |
| D9-82-664     | Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.   | 3 р. 30 к. |
| D3,4-82-704   | Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.   | 5 р. 00 к. |

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 июля 1983 года.

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

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

| Индекс | Тематика   |
|--------|--|
| 1.     | Экспериментальная физика высоких энергий   |
| 2.     | Теоретическая физика высоких энергий   |
| 3.     | Экспериментальная нейтронная физика  |
| 4.     | Теоретическая физика низких энергий  |
| 5.     | Математика   |
| 6.     | Ядерная спектроскопия и радиохимия   |
| 7.     | Физика тяжелых ионов   |
| 8.     | Криогеника   |
| 9.     | Ускорители   |
| 10.    | Автоматизация обработки экспериментальных данных   |
| 11.    | Вычислительная математика и техника  |
| 12.    | Химия  |
| 13.    | Техника физического эксперимента   |
| 14.    | Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами   |
| 15.    | Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях   |
| 16.    | Дозиметрия и физика защиты   |
| 17.    | Теория конденсированного состояния   |
| 18.    | Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники |
| 19.    | Биофизика  |

Бровко О.И., Михайлов А.И., Чехлов К.В.  
Высокочастотная система ускорения легких ядер  
в синхрофазотроне ОИЯИ

9-83-540

Реконструкция ВЧ ускоряющей системы вызвана необходимостью расширения частотного диапазона для обеспечения режимов ускорения легких ядер в синхрофазотроне. Проведенный анализ позволил выбрать оптимальный вариант ускорения на второй кратности, при котором ВЧ напряжение на ускоряющем электроде с амплитудой 17 кВ должно модулироваться в частотном диапазоне  $0,3 \div 2,88$  МГц. Эти требования обеспечиваются четырехкаскадным широкополосным усилителем с мощным выходным резонансным каскадом, который нагружен на параллельный колебательный контур, состоящий из емкости ускоряющего электрода и перестраиваемой индуктивности, выполненной в виде отрезка короткозамкнутой линии с ферритом марки ОКС-500. Перестройка резонансной частоты контура в заданном диапазоне обеспечивается подмагничиванием феррита посредством мощного широтно-импульсного модулятора при изменении тока в пределах  $0 \div 300$  А. Дано описание основных элементов системы и приведены экспериментальные результаты.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Brovko O.I., Mikhailov A.I., Chekhlov K.V.  
RF System for Light Particle Acceleration  
in JINR Synchrophasotron

9-83-540

Retuning of RF accelerating system is caused by the need of frequency range extension in order to realize light nucleus accelerating regime in a synchrophasotron. The carried out analysis permitted to choose the most optimum accelerating variant on the second harmonic of the revolution frequency, when the 17 kV peak RF potential on accelerating electrode should modulate within the  $0,3$  upto  $2,88$  MHz frequency band. These requirements are provided for by the 4-stage wide-band amplifier with a power resonance final stage loaded on a parallel LC circuit. It consists of an accelerating electrode capacity and inductance tuned which is completed as a section of short-circuited coaxial line of OKS-5 tape ferrite. Retuning of resonance circuit in a given range is provided by ferrite magnetization via power pulse-width current modulator into range of  $0$  upto  $300A$ . Basic units of the system and experimental results are described.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой