

C3450

T-524

+



588/74

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ГЛАЗОВ, А.А. и др.

Б 1-9-7609.

Б 1-9-7609^х

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

А.А.Глазов, В.И.Данилов, Ю.Н.Денисов, В.А.Кочкин,
Б.Н.Марченко, Л.М.Онищенко, Н.П.Сеченов, Т.Н.Томилина,
А.В.Шестов

Б 1-9-7609

УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫВЕДЕННОГО ПРОТОННОГО
ПУЧКА СИНХРОЦИКЛОТРОНА ЛЯП С ПОМОЩЬЮ
С-ЭЛЕКТРОДА



14 декабря 73

- г.Дубна, 1973 г. -

А Н Н О Т А Ц И Я

В настоящей работе описана система растяжки выведенного протонного пучка синхроциклотрона ДЯП, действие которой основано на доускорении пучка в синхроциклотронном режиме с помощью вспомогательного электрода. Длительность выведенного пучка увеличена в десять раз, что позволило снизить фон в физических экспериментах на выведенном протонном пучке в несколько десятков раз при достаточной интенсивности для всех экспериментов, выполняемых на этом пучке.

1. Временная структура ускоренного в синхроциклотроне пучка обусловлена импульсным характером работы этого ускорителя. Длительность пучка ускоренных частиц в таком ускорителе составляет обычно несколько процентов от периода модуляции. В синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем при периоде модуляции около 9 миллисекунд импульс ускоренных частиц имеет длительность около половины миллисекунды.

Для целого ряда физических экспериментов такое распределение ускоренных частиц во времени является неудовлетворительным, так как приводит, с одной стороны, к неравномерной загрузке регистрирующей аппаратуры и, с другой, к возникновению сильного фона. Для такого рода экспериментов увеличение длительности пучка (растяжка пучка) равносильно экономии машинного времени и улучшению статистики.

На синхроциклотроне ЛЯИ с 1964 года эксплуатируется так называемая "магнитная" растяжка пучка /1/, которая увеличивает длительность сброса пучка на внутреннюю мишень до 6 мсек. К сожалению, невозможно использовать это устройство для растяжки выведенного пучка протонов.

2. Наиболее простой схемой, пригодной для растяжки выведенного протонного пучка, является доускорение пучка в синхроциклотронном режиме с помощью вспомогательного ускоряющего электрода (С-электрода).

Такая схема используется в настоящее время на синхроциклотроне ЛЯИФ АН СССР /2/, такую же схему планируется использовать

на синхроциклотроне *CERN* после его реконструкции.

Частицы ускоренного в синхроциклотроне пучка характеризуются некоторым распределением по амплитудам радиальных колебаний. Устройство вывода пучка преобразует амплитудное распределение частиц во временное, причем при заданном амплитудном спектре ширина временного распределения (или длительность выведенного пучка) зависит от темпа поступления частиц с различными амплитудами в выводное устройство.

Идея рассматриваемой схемы растяжки пучка состоит в том, чтобы, начиная с некоторого момента цикла ускорения уменьшить набор энергии частицами за оборот (и, соответственно, набор радиуса). При этой новой величине набор^е энергии частицы набирают оставшуюся часть энергии за время, сравнимое с периодом цикла модуляции.

Для достижения указанной цели обычно применяют вспомогательный электрод, частота и амплитуда напряжения на котором изменяются по определенной программе при помощи отдельного высокочастотного генератора. В идеальном случае процедура состоит в перезахвате ускоряемых частиц из области устойчивости основного дуанта в области устойчивости С-электрода и их последующем ускорении с помощью С-электрода до радиуса вывода. Подробно возможности этой схемы и требования к ее параметрам рассмотрены в работах */3,4/*. Из этого рассмотрения следует, что необходимая величина амплитуды напряжения на С-электроде должна составлять около $\frac{3}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cdot U$ кв, где θ - угловая протяженность С-электрода. Величина косинуса равновесной фазы должна

быть равна $\cos \varphi_s = 0.07$, а требуемый диапазон частот при максимальной амплитуде радиальных колебаний 10 см ^{/5/} достигает 325 кгц.

3. По конструктивным соображениям азимутальная протяженность С-электрода, который может быть размещен в камере синхроциклотрона, не превышает 35° ; при этом требуемая амплитуда напряжения на электроде равна 5 кв. Емкость такого электрода, размещенного в камере синхроциклотрона вблизи радиуса 275 см и имеющего радиальную ширину 30 см будет около 200 пф.

Различные схемы питания С-электрода рассмотрены в ^{/3/}. Простейшая схема питания С-электрода состоит из низкодобротной (шунтированной сопротивлением) резонансной линии, образующей вместе с емкостью С-электрода широкополосный резонансный контур (рис.1), и широкополосного генератора. Достоинством этой схемы является простота ее осуществления по сравнению с другими схемами и возможность широкого варьирования частотной программы С-электрода. Основным ее недостаток - большая потребляемая мощность, что делает невозможным использование такой схемы при больших амплитудах напряжения на электроде. Однако, при указанных выше параметрах ($V = 5$ кв, $C = 200$ пф, $f = 14$ мгц, $Q = \frac{1}{A}f = 43$) величина потребляемой мощности не превысит $P = 5$ квт, что вполне приемлемо.

4. С-электрод, расположенный в вакуумной камере ускорителя (рис.2), конструктивно представляет собой в плане сегмент круга со средним радиусом $R = 2750$ мм, шириной по радиусу 300 мм и

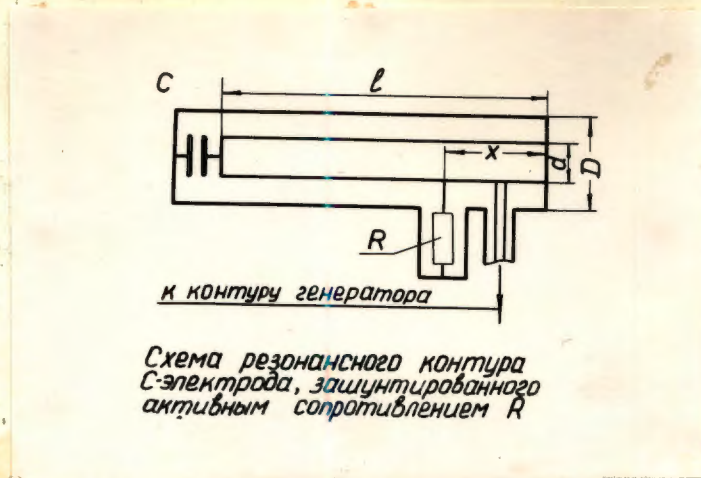


Рис.1. Принципиальная схема резонансной линии.

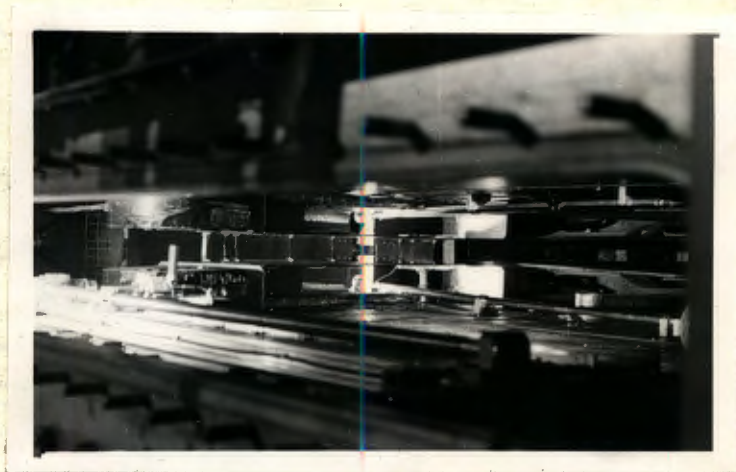


Рис.3. С-электрод в камере ускорителя.

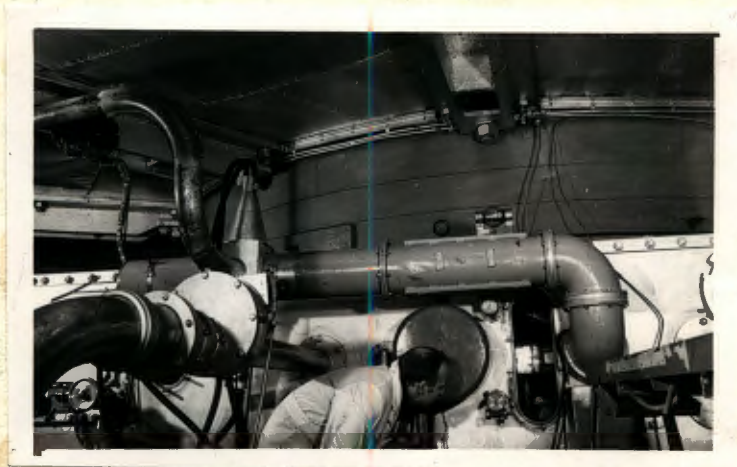


Рис.4. Резонансная линия С-электрода с нагрузочными сопротивлениями и подводным фидером.

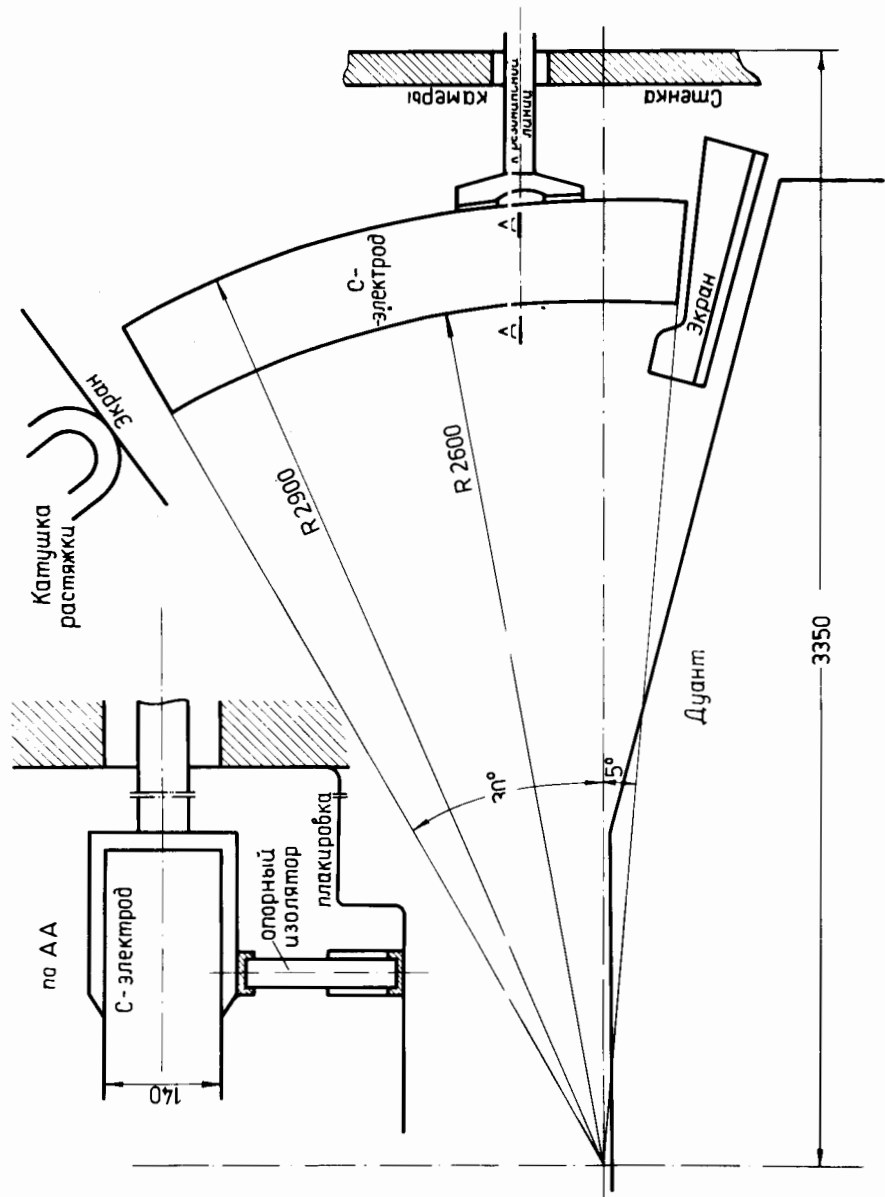


Рис.2. Схема расположения С-электрода в камере ускорителя.

угловой протяженностью 35° . В поперечном сечении он имеет вид лежащей на боку буквы "П", раскрытой к центру камеры; вертикальная апертура электрода равна 140 мм, а расстояние до крышек камеры примерно равно 220 мм. Электрод выполнен из листовой меди толщиной 1 мм и опирается на два трубчатых фарфоровых изолятора, установленных на нижнем полюсе. Крышки вакуумной камеры над и под электродом плакированы медным листом. Токоподвод к С-электроду выполнен в виде медной трубы диаметром 70 мм, выходящей из камеры сквозь кольцевой стеатитовый изолятор, укрепленный на западной боковой стенке камеры. Вся конструкция охлаждается водой.

Расположение С-электрода в камере показано на фото рис.3.

Резонансная линия представляет собой закороченную коаксиальную линию длиной около 2 м, выполненную из медных труб диаметром 75 мм и 200 мм. Внутренняя труба через разделительный конденсатор соединена с токоподводом С-электрода. Разделительный конденсатор необходим, так как на С-электрод, кроме высокочастотного напряжения подается постоянное смещение величиной до 2 кв, препятствующее развитию высокочастотного вакуумного разряда. Смещение подается через дроссель, укрепленный на стенке камеры.

На расстоянии примерно 35 см от закоротки расположено шунтирующее сопротивление. Конструктивно оно выполнено в виде двух водоохлаждаемых нагрузок УВМ-20; сопротивление каждой нагрузки 100 ом. Нагрузки размещены в конических медных экранах и одним концом подсоединены к экрану, а другим - к центральной жиле коаксиальной линии.

Высокочастотная мощность к резонансной линии подводится коаксиальным пятидесятиомным фидером, подключенным к резонансной линии в ту же точку, что и пунтирующие нагрузки. Перестройка резонансной частоты контура осуществляется как перемещением закоротки, так и с помощью переменного вакуумного конденсатора КН1-4, подсоединенного к резонансной линии, в диапазоне 13,5 + 14,75 мгц. Общий вид резонансной линии с подводным фидером и ее размещение показаны на фото рис.4. На рис.7-а показана частотная характеристика резонансной линии при настройке ее на среднюю частоту. Видно, что полса пропускания линии составляет около $\Delta f = 270$ кгц.

Высокочастотный генератор конструктивно выполнен из трех блоков, два из которых - блок мощных каскадов и блок промежуточных каскадов расположены в зале ускорителя, а блок задающего генератора расположен на пульте управления во втором корпусе.

Блок мощных каскадов, принципиальная схема которого показана на рис.5, состоит из двух каскадов: оконечного, собранного на триоде ГУ-23А и предоконечного, собранного на триоде ГУ-10А. Генератор развивает мощность до 25 квт при мощности возбуждения 500 вт.

Связь мощного генератора с нагрузкой осуществляется переменным конденсатором КН1-4, что позволяет подобрать оптимальную величину связи. Для предотвращения генерации в четвертом каскаде (ГУ-10А) применяется нейтринирование.

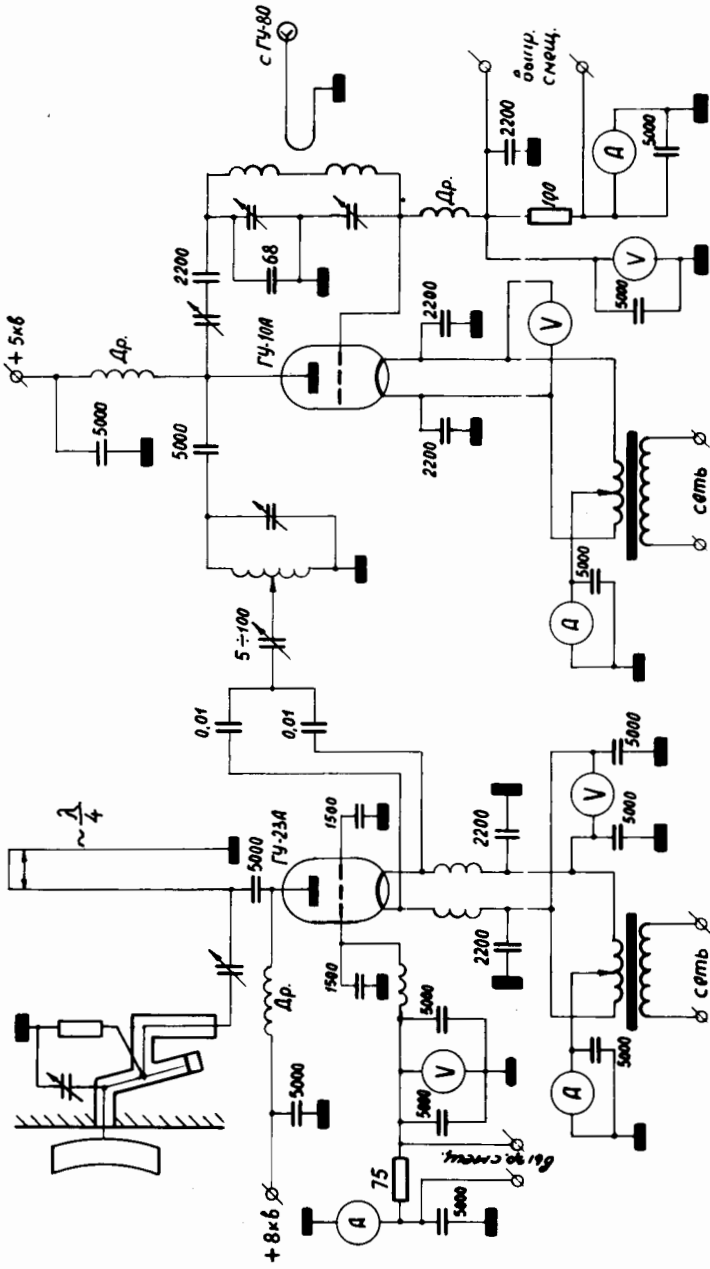


Схема оконечных каскадов.

Рис.5.

Блок промежуточных каскадов, принципиальная схема которого показана на рис.6, состоит из трех каскадов, собранных на лампах 6П9— первый каскад, ГУ-50 - второй каскад и ГУ-80 - третий каскад. Выход ГУ-80 соединен со входом мощного генератора с помощью кабеля и регулируемой петли связи.

На рис.7-б показана частотная характеристика всего генератора (без задающего), нагруженного на 75 ом, а на рис.7-в - частотная характеристика генератора, нагруженного на резонансный контур С-электрода. Видно, что суммарная полоса пропускания в этом последнем случае составляет около 480 кГц, что превышает требуемую. Увеличение полосы пропускания всего тракта по сравнению с полосой резонансного контура С-электрода (рис.7-а) объясняется, повидимому тем, что генератор работает в перенапряженном режиме.

Режим работы 2-5 каскадов генератора по постоянному току показан в таблице I (генерируемая частота здесь равна 14,1 МГц) при величине анодного напряжения 5-го каскада $E_a = 4.4$ кв и амплитуде возбуждения на сетке 6П9- 3 в.

Таблица I

каскад параметр	ГУ-23А	ГУ-10А	ГУ-80	ГУ-50
$I_{\text{катода}}, A$	4.2	1.2	0.3	0.065
$I_{\text{сетки}}, A$	0.9	0.5	0	0

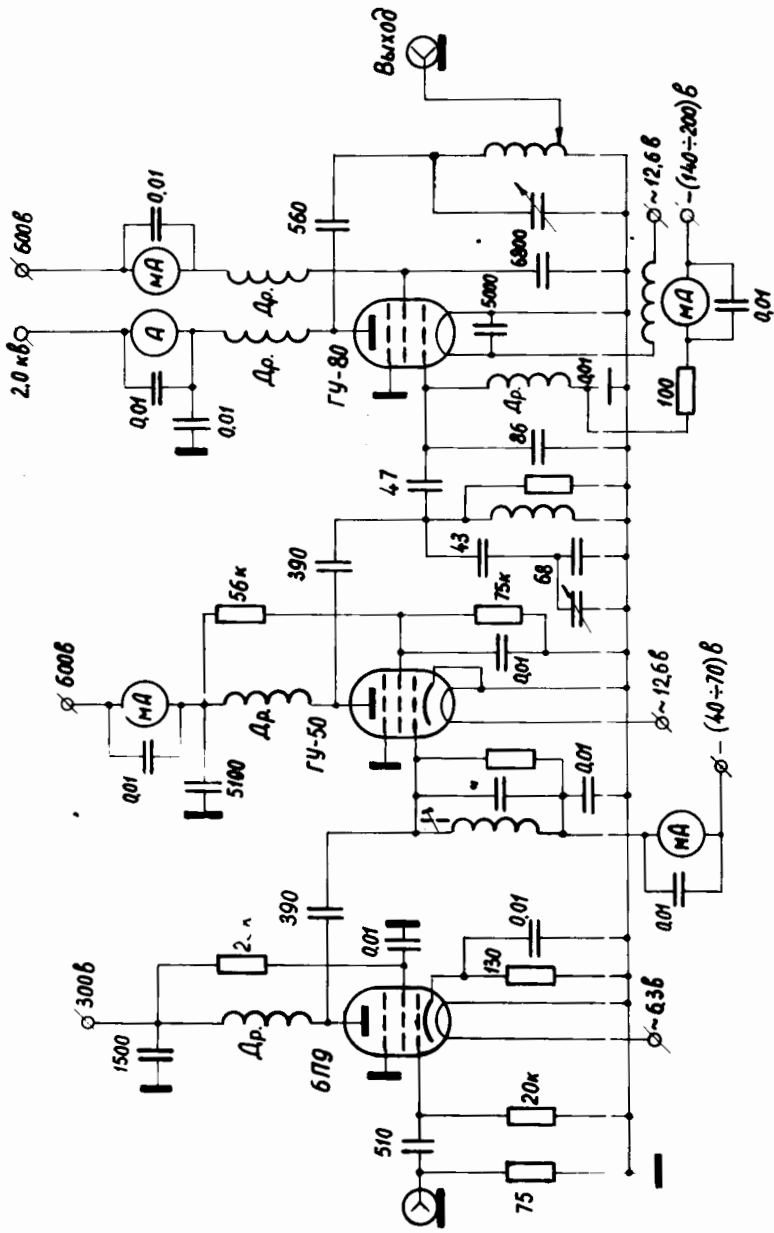


Схема промежуточных каскадов.

РЧ0.6.

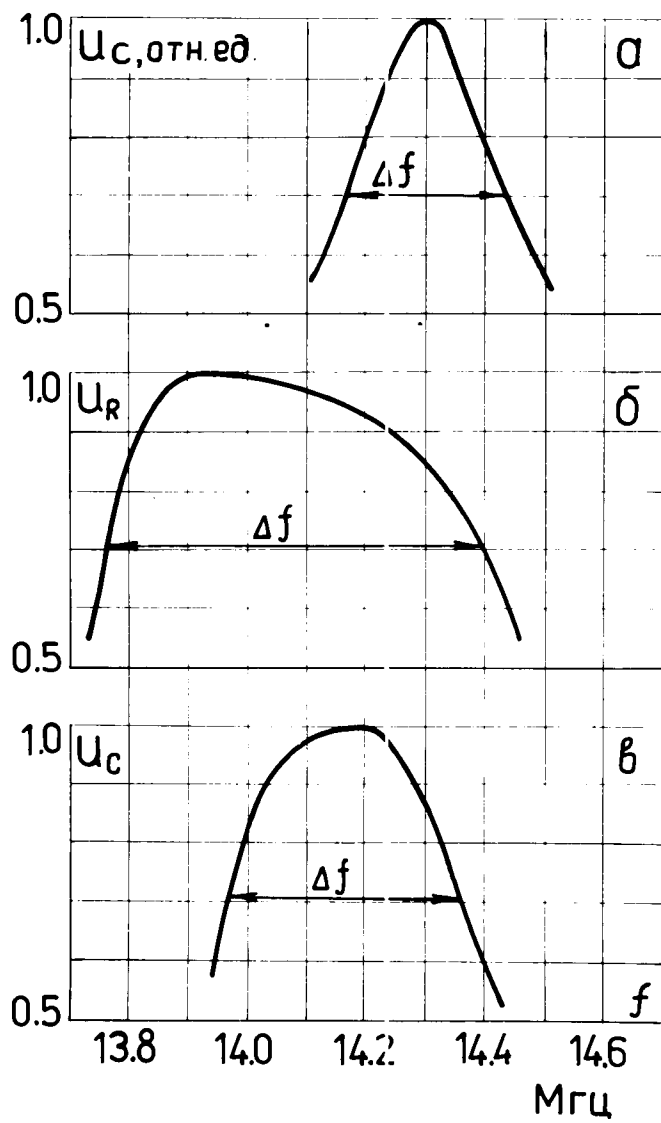


Рис.7. Частотные характеристики
 а) резонансной линии
 б) генератора, нагруженного на 75 ом.
 в) генератора, нагруженного на резонансный контур С-электрода.

В таблице 2 показана зависимость амплитуды напряжения на С-электроде от величины анодного напряжения 5-го каскада при тех же условиях.

Таблица 2

E_a , кв	1.7	2.2	2.7	3.2	3.7	4.2	4.6	5.6	6.3
U_c , кв амп	4.05	4.9	5.75	6.45	7.35	8.05	8.8	10.0	11.2

Общий вид генератора и его расположение в зале ускорителя показаны на фото рис.8.

Принципиальная схема задающего генератора показана на рис.9. Он представляет собой перестраиваемый электронным образом - с помощью варикава Д901 - высокочастотный генератор, собранный на транзисторе IT308A, с последующим двухкаскадным усилителем и обеспечивает на нагрузке 75 ом сигнал амплитудой около 6 в в диапазоне 1 Мгц. Зависимость частоты генератора от напряжения смещения на варикаве показана на рис.10. Модуляция частоты задающего генератора осуществляется пилообразным напряжением, формируемым блоком формирования пилы. Максимальная амплитуда "пилы" составляет 20 в, что обеспечивает глубину модуляции по частоте не менее 400кГц. Частота модуляции регулируется с помощью переключателя В1 в пределах 50 гц + 6 кГц; имеется также возможность внешнего запуска, что позволяет синхронизировать частоту модуляции С-электрода с частотой модуляции основного дуанта.

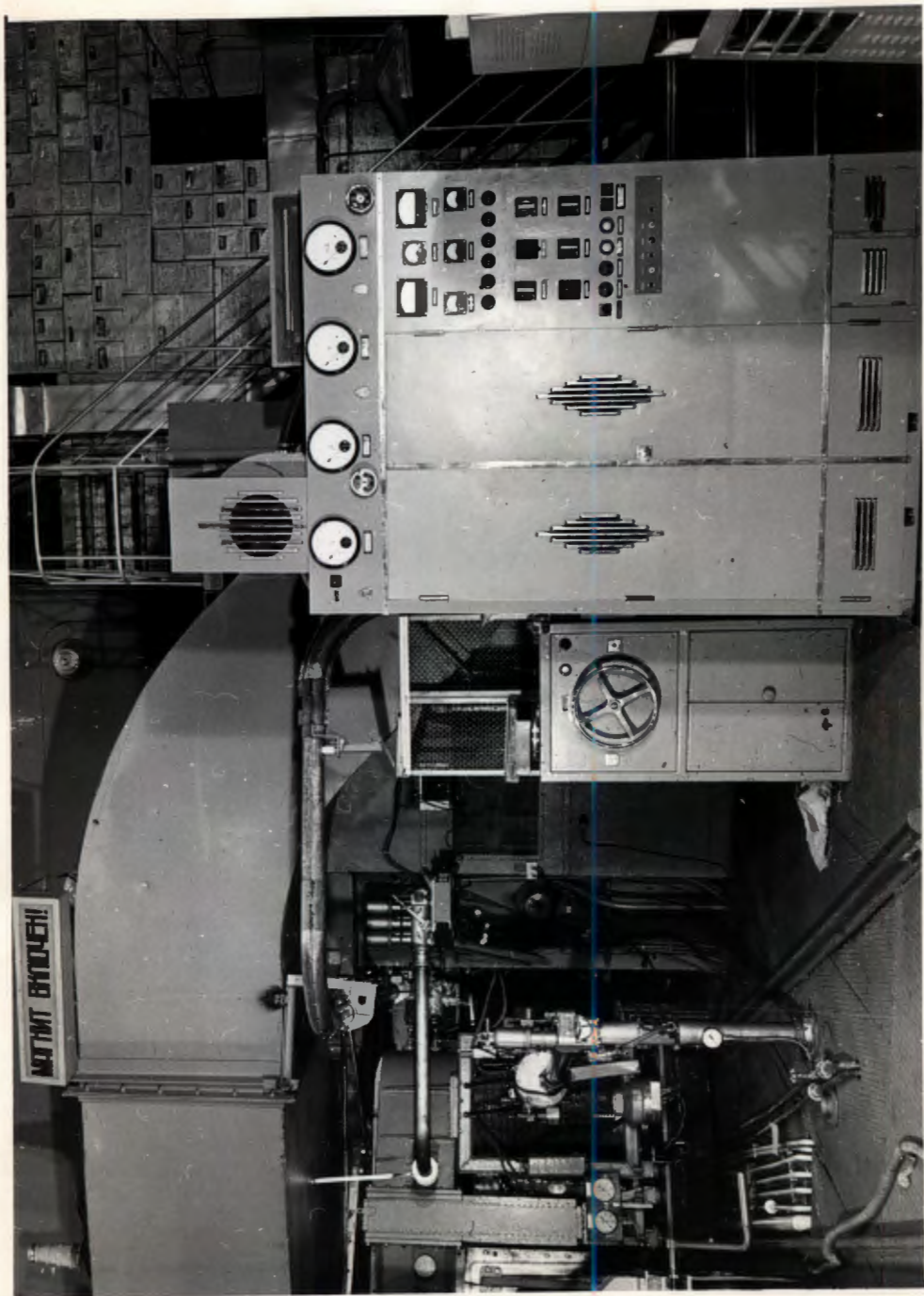


Рис. 8. Шкаф оконечных каскадов в зале ускорителя.

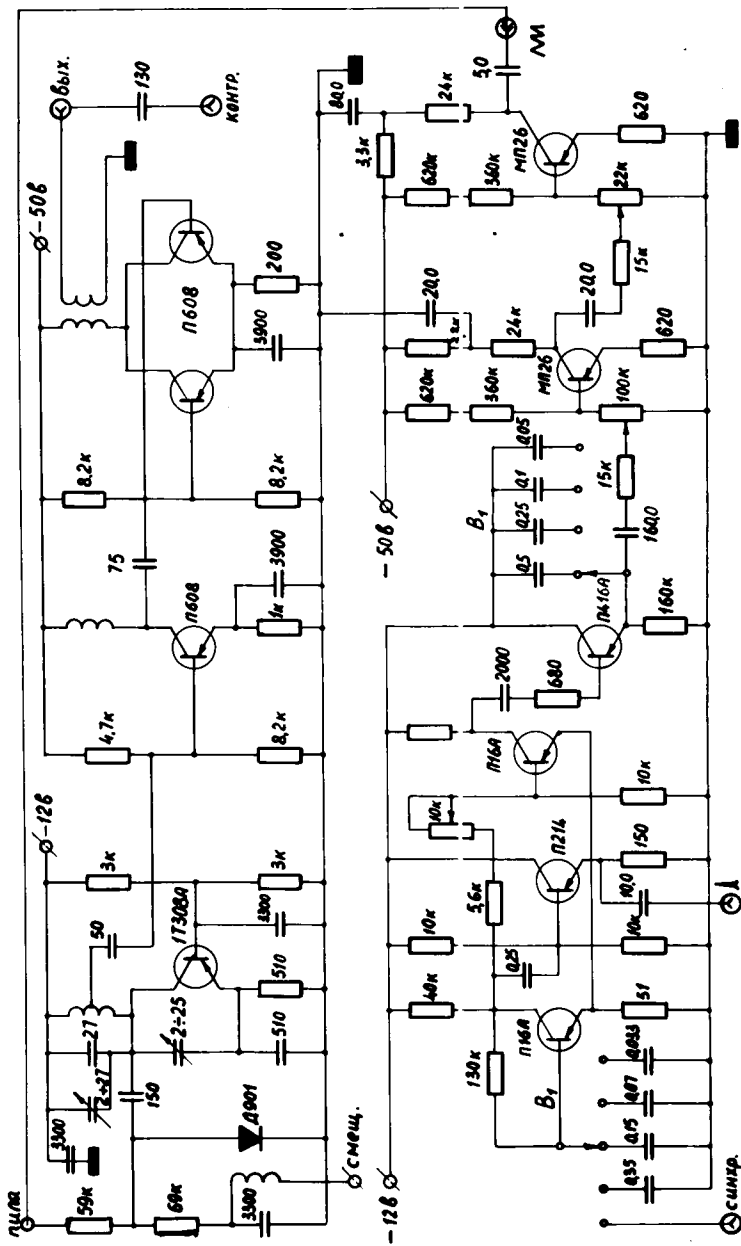


Схема задающего генератора и генератора пилы.

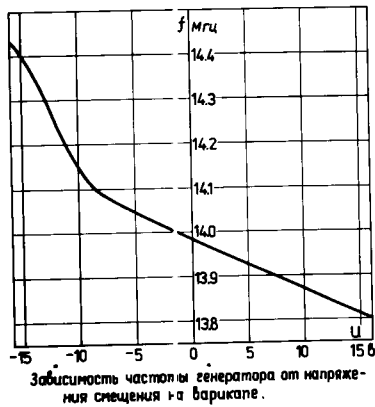
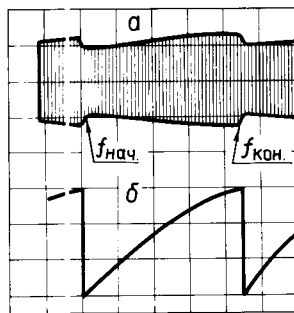


Рис. IО. Зависимость частоты задающего генератора от напряжения смещения на варикапе.



развертка 2 мсек/см
 чз вствительность 5 в/см

Рис. II. Осциллограмма напряжения на С-электроде (а) и выходного напряжения генератора пилы (б).

"Центральная" частота задающего генератора регулируется с помощью постоянного смещения на вариконе.

Осциллограмма рис. II показывает напряжение на измерительной петле С-электрода (коэффициент трансформации от электрода к петле 1800) и выходное напряжение генератора пилы. Начальная и конечная частоты равны, соответственно, 14,4 и 14,0 Мгц (частота модулированного сигнала определяется его сбиванием с сигналом от ГСС).

Осциллограмма показывает, что созданная аппаратура обеспечивает получение на С-электроде напряжения с амплитудой до 10 кв при максимальной величине девиации 400 кгц.

5. Эксперименты с пучком на первом этапе имели целью получить эффект растяжки выведенного протонного пучка.

В начале был измерен диапазон частот необходимый для вывода всех частиц пучка. Для этого импульс, обрезающий частотную программу основного дуанта, перемещался во времени (соответственно, по частоте) в пределах, соответствующих уменьшению тока выведенного пучка от максимума до нуля. На рис. I2 показана зависимость тока выведенного пучка от частоты обрезания основной частотной программы. Видно, что полный диапазон "выводных" частот равен примерно 300 кгц, что соответствует радиальной ширине пучка коло 9 см.

Затем основная частотная программа обрезалась на частоте около 14420 кгц, при которой основная программа еще обеспечивает вывод частиц с максимальной амплитудой. После этого за-

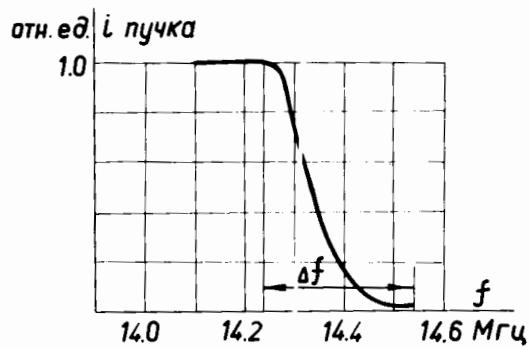


Рис.12. Зависимость тока выведенного пучка от конечной частоты основной частотной программы.

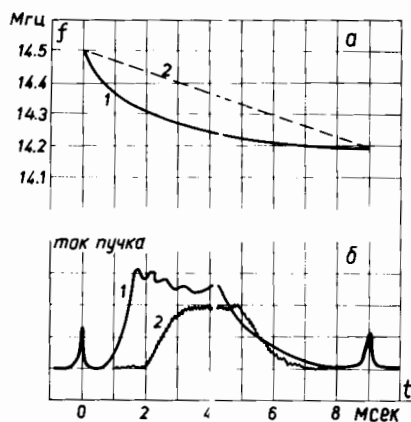


Рис.13. Зависимость частоты С-электрода от времени (а) и осциллограмма выведенного протонного пучка при действии растяжки (б).

пускалась частотная программа С-электрода, причем дэвиация частоты С-электрода устанавливалась в диапазоне от 14435 кгц до 14130 кгц. Импульс, возникающий при прохождении выведенного пучка сквозь ионизационную камеру регистрировался осциллографом. На рис. 13 показана осциллограмма растянутого пучка (внизу) и зависимость частоты С-электрода от времени (вверху). Видно, что выведенный пучок растягивается почти на 6 мсек, или на две трети периода. Неравномерность тока в растянутом пучке связана, повидимому, с выбранным законом изменения частоты С-электрода во времени.

Была сделана попытка оценить эффективность системы растяжки. По измерениям, в которых регистрировалось общее число выведенных протонов без растяжки и при действии системы растяжки, при включении растяжки число регистрируемых частиц уменьшается в три раза, т.е. эффективность системы растяжки составляет около 30%.

6. Прделанная работа показывает принципиальную работоспособность сконструированной аппаратуры. При дальнейшей работе параметры растянутого пучка могут быть улучшены как в отношении увеличения его длительности, так и эффективности.

В заключение авторы выражают благодарность Комарову В.И., Роганову В.С. и Розанову Е.И. за помощь в измерении характеристик растянутого пучка, Юшину Б.И. за изготовление и Кудряшову В.В. за изготовление и помощь в наладке отдельных узлов, Уткину за помощь в конструировании системы растяжки пучка синхроциклотрона ЛЯП.

Комаров В.И. Роганов В.С. Розанов Е.И. Юшин Б.И. Кудряшов В.В. Уткин

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И.Данилов, И.Б.Енчевич и др. АЭ, 19, вып.5, 289, 1965.
2. Н.К.Абросимов и др. ЛИАФ, № I, ноябрь 1972 года, Ленинград.
3. А.А.Глазов, Л.М.Онищенко. ОИИИ, Б1-9-7286, 1973 г., Дубна.
4. И.Б.Енчевич, Б.Н.Марченко и др. ОИИИ, 9-6632, 1972, Дубна.
5. В.И.Данилов, И.Б.Енчевич и др. ОИИИ, Р9-3968, 1968, Дубна.