

C345e5

E-645

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

4233/2-72

11/41-72

9 - 6632



И.Б.Енчевич, Б.Н.Марченко, Н.П.Сеченов,
Т.Н.Томилина, А.В.Шестов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

МАКЕТ
ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ С-ЭЛЕКТРОДА
ДЛЯ РАСТЯЖКИ ПУЧКА
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ

1972

9 - 6632

И.Б.Енчевич, Б.Н.Марченко, Н.П.Сеченов,
Т.Н.Томилина, А.В.Шестов

МАКЕТ
ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ С-ЭЛЕКТРОДА
ДЛЯ РАСТЯЖКИ ПУЧКА
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Введение

В течение ряда лет на синхроциклотроне ОИЯИ с энергией 680 Мэв успешно функционирует система растяжки пучка вторичных частиц. Работа ее основана на действии переменного во времени магнитного поля, искажающего орбиты частиц после отключения ускоряющего высокочастотного напряжения^{/1/}.

В принципе, такую же систему можно использовать и для растяжки выведенного пучка протонов. Однако на практике это привело бы к размещению в камере синхроциклотрона новой системы катушек либо в районе дуанта, либо вблизи высокоактивной системы регенеративного вывода пучка. Это чрезвычайно затруднило бы реализацию и эксплуатацию такого устройства. Если же потребуются растяжка внутреннего пучка на энергиях, отличных от предельной для данного ускорителя, то нужна система передвижных катушек. Создание такой системы вызывает значительные технические трудности как из-за ограниченности места, так и из-за больших динамических усилий на устройство перемещения катушек. Тем не менее растяжка пучка частиц, энергию которого можно было бы варьировать хотя бы в небольших пределах, весьма желательна для ряда физических экспериментов.

Растяжку пучка можно осуществить и посредством соответствующего изменения во времени частоты и амплитуды ускоряющего напряжения.

Возможности использования основной ускоряющей системы для растяжки пучка ограничены ввиду следующих причин: во-первых, механическая система перестройки частоты посредством вариатора требует определенного времени для возврата в исходное положение перед началом последующего цикла ускорения; во-вторых, при помощи такой системы нельзя осуществлять растяжку пучка во время работы по основной ускорительной программе.

Несмотря на это, основная высокочастотная система с электронной перестройкой частоты - например, с ферритами /2/ или варикапами /3/ - могла бы существенно улучшить растяжку. Однако проведенные оценочные расчеты показали, что высокочастотная мощность, потребляемая основной ускоряющей системой, так же, как и необходимый теплоотвод, возрастут при этом в несколько раз.

Для высокочастотной растяжки пучка по самостоятельной программе можно использовать известный способ многокаскадного ускорения в синхроциклотроне /4,5,6/. В этом случае в ускорительную камеру помещается дополнительный электрод C -образной формы (C -эл.). Высокочастотная программа питания C -эл. определяется требованиями желаемой программы растяжки пучка, способом перехода от основной программы ускорения частиц к вспомогательной, а также параметрами пучка.

Такая система может быть использована для растяжки как выведенного, так и циркулирующего пучков и может служить резервом для катушек растяжки, хотя в этом случае растянутый пучок будет обладать микроструктурой.

1. Различные режимы работы системы растяжки пучка при помощи С -эл.

Работа системы растяжки характеризуется в основном двумя факторами: эффективностью ϵ и полезной частью цикла DC^{x/}: эффективность определяется отношением числа частиц при работе ускорителя в данном режиме с растяжкой пучка и без нее. Полезная часть цикла определяется выражением /7/:

$$DC = \frac{1}{T} \frac{[\int_0^{T_p} i(t) dt]^2}{\int_0^{T_p} i^2(t) dt},$$

где T - период модуляции, T_p - длительность импульса пучка, $i(t)$ - распределение интенсивности пучка частиц во времени.

В случае равномерного распределения пучка в течение времени T_p

$$DC = \frac{T_p}{T}.$$

Действие дополнительного электрода при в.ч. растяжке пучка начинается с некоторого промежуточного радиуса, до которого частицы доводятся основной в.ч. программой дуанта.

Вспомогательный электрод растяжки пучка может работать в нескольких режимах.

1. Возможно осуществить плавный переход от синхротронного ускорения основным дуантом к такому же ускорению вспомогательным электродом. При этом требуется начинать работу вспомогательного электрода строго синхронно с работой основного дуанта и несколько раньше, чем наступает начало вывода пучка или вторичных частиц /8/.

^{x/} DC - duty cycle.

Амплитуду ускоряющего напряжения на основном электроде следует постепенно уменьшать, а на вспомогательном — постепенно увеличивать до момента исчезновения основного ускоряющего напряжения. Если при этом набор энергии за оборот останется неизменным, фазовых потерь пучка не будет.

2. Можно создать переход к ускорению дополнительным электродом с помощью адиабатического захвата /9/. Для этого, после выключения ускоряющего напряжения основного дуанта и достижения пучком заданной энергии, вспомогательный электрод включается при постоянной частоте (в циклотронном режиме) и амплитуде, нарастающей от нуля до заданного значения в течение времени порядка периода фазового колебания. Затем за счет плавного понижения частоты достигается требуемый режим растяжки. Здесь пучок, потерявший азимутальную фазовую структуру после отключения ускоряющего напряжения основного дуанта, вновь приобретает фазовую структуру при включении в.ч. программы С-эл. благодаря адиабатическому росту напряжения.

3. В случае работы вспомогательного электрода в режиме, в котором частота ускоряющего напряжения на С-эл. изменяется по закону многократной пилы с понижающейся производной ($\dot{\omega} < 0$), между работой основного и вспомогательного электродов отсутствует высокочастотная фазировка. Ускоренный основным дуантом пучок теряет свою фазовую структуру после отключения ускоряющего напряжения, и при последующем включении вспомогательного электрода происходит многократный захват части дрейфующих частиц. В среднем за каждый модуляционный цикл энергия дрейфующего пучка уменьшается, и 100%-ная эффективность при таком способе растяжки невозможна.

В принципе, осуществим режим, когда часть пучка доводится до конечной энергии без захвата в устойчивое фазовое движение. В этом

случае используется движение по неустойчивым незамкнутым траекториям вокруг сепаратрисы $\cos \phi_s > 1/10$.

4. При работе вспомогательного электрода в режиме, аналогичном предыдущему (3), но с возрастающей производной ($\dot{\omega} > 0$), энергия дрейфующего пучка в среднем увеличивается, но пучок тоже расплывается и частично тормозится, т.ч. 100%-ная эффективность невозможна. Здесь также осуществима реализация режима при $\cos \phi_s > 1$.

5. Возможна работа вспомогательного электрода в стохастическом режиме, когда частота в.ч. напряжения соответствует частоте дрейфующего пучка и модулируется случайным образом; эффективность также ниже 100%, а время доведения частиц до конечной энергии зависит от амплитуды ускоряющего напряжения.

Синхроциклотронный и адиабатический (1 и 2) режимы растяжки пучка вспомогательным электродом являются одноцикловыми по отношению к основному периоду модуляции, остальные режимы - многоцикловыми. Недостатком одноцикловых систем является то, что для высокой эффективности вторичного захвата амплитуда ускоряющего напряжения на С-эл. должна быть порядка амплитуды ускоряющего напряжения на дуанте. Величина амплитуды определяется энергетическим разбросом дрейфующего пучка и для адиабатического перехода тем выше, чем больше разброс. При постепенном переходе в синхроциклотронный режим с привязкой по в.ч. фазе требуемое напряжение примерно вдвое меньше, но осуществить такую привязку довольно трудно. Так, например, для реконструированного синхроциклотрона ЦЕРНа при энергетическом разбросе $\Delta E = 4$ Мэв и угловой протяженности С-эл. $\gamma = 45^\circ$ для адиабатического захвата требуется амплитуда ускоряющего напряжения $18 \cdot 10^6$ в, а при фазировке - $12 \cdot 10^6$ в.

^{x/} Максимальный набор энергии ΔE_c для частицы, пролетающей через С-эл., равен $\Delta E_c = 2U_c \sin \gamma / 2$, где U_c - амплитуда ускоряющего напряжения на С-эл.

Многоцикловые системы, уже испытанные в работе, обеспечивают эффективность порядка 50%, но требуемая при этом амплитуда ускоряющего напряжения, всего несколько киловольт, — значительно ниже, чем в предыдущих случаях. Расчеты для той же системы показали, что при амплитуде напряжения на С-эл. порядка 3 кв можно ожидать эффективность вывода порядка 50% в течение нескольких десятков выводящих циклов даже при $\cos \phi_s = 1$. Учитывая полезную часть цикла в течение высокочастотного периода (микроструктуры пучка), можно сказать, что по эффективности выведенного пучка режим с $\cos \phi_s = 0,5$ наиболее предпочтителен. Для сравнения в табл. 1 показаны характеристики пучков синхроциклотронов ОИЯИ и ЦЕРНа для различных способов растяжки.

Ниже приводятся результаты первого этапа работы по макетированию высокочастотной системы для растяжки пучков, а именно: блок-схемы в.ч. растяжки пучка при помощи С-эл., экспериментального макета С-эл., системы его в.ч. питания и результаты измерений, проведенных на макете.

II. Исходные данные для макетирования

Внутри ускорительной камеры синхроциклотрона ОИЯИ на 680 Мэв находится большое количество различных действующих устройств, взаимное расположение которых позволяет сконструировать С-эл. с азимутальной протяженностью $\gamma \leq 40^\circ$.

Измерения на синхроциклотроне показали, что суммарная амплитуда радиально-фазовых и бетатронных колебаний циркулирующего пучка протонов 11 при работе с мишенью лежит в пределах 15 — 16 см, при этом на амплитуды больше 12 ± 2 см приходится примерно 10% интенсивности пучка.

Измерения диапазона частот вывода при работе с выведенным пучком протонов /12/ показали, что вывод протонов начинается на частоте $f_1 = (14,231 \pm 0,004)$ МГц, что соответствует радиусу орбиты $r_1 = 271,5 \pm 0,1$ см; заканчивается вывод на частоте $f_2 = (14,036 \pm 0,004)$ МГц на радиусе $r_2 = 277,0 \pm 0,1$ см. Это значит, что в выведенном пучке протонов присутствуют амплитуды, не превышающие величины $(5,5 \pm 2,0)$ см.

Амплитуда ускоряющего напряжения дуанта на частоте 14 МГц изменяется в пределах 12-14 кв /6/.

Соответствующие данные для внутренней мишени, установленной на конечном радиусе, таковы: $f_1 = (14,796 \pm 0,004)$ МГц - начало растяжки пучка, $f_2 = (14,060 \pm 0,004)$ МГц - конец растяжки пучка для 100%-ной интенсивности.

Если же ограничиться 90%-ной интенсивностью, то началу растяжки будет соответствовать частота $f_1 = (14,440 \pm 0,004)$ МГц, частота конца растяжки при этом не изменится и останется равной $f_2 = (14,060 \pm 0,004)$ МГц.

Приведенные выше результаты экспериментальных измерений послужили основой для требований при разработке устройств высокочастотной растяжки пучка.

1. Блок-схема высокочастотной растяжки пучка при помощи С-электрода.

При выборе блок-схемы макета в основном исходили из следующих соображений:

во-первых, хотелось, чтобы резонансная система, которую надо было изготовить собственными силами, была возможно проще;

во-вторых, было желательно для высокочастотного генератора использовать оборудование, имеющиеся в отделе синхротрона.

Поскольку мощность генератора /13/ растет пропорционально требуемой ширине полосы $\Delta f = f_1 - f_2$, для начала решили ограничиться случаем растяжки только выведенного пучка протонов, требующего $\Delta f \approx 200$ кгц (для растяжки внутреннего пучка $\Delta f \approx 750$ кгц).

Это и обусловило выбор многократной пилы для высокочастотной растяжки пучка C -электродом. Блок-схема, для осуществления выбранного способа представлена на рис. 1. Система C -эл. имеет внешнее возбуждение, в остальном она аналогична основной высокочастотной системе. Как в том, так и в другом случае необходима жесткая синхронизация с частотой модуляции основного ускоряющего напряжения, а также манипуляции выходного каскада, питающего C -электрод.

В связи с тем, что девиация частоты в.ч. генератора, питающего C -электрод, существенно меньше, чем в ускоряющей системе дуанта, частотная модуляция может быть осуществлена при помощи варикондов или ферритов.

Для работы в режиме многократной пилы, как показывают расчеты, сделанные в работе /14/, и оценки, произведенные нами, на C -электроде требуется амплитуда ускоряющего напряжения U_c порядка нескольких киловольт. С некоторым резервом нами выбрано $U_c = 10$ кв.

Девиация частоты, которую должен обеспечить частотный модулятор для растяжки пучка протонов, должна лежать в пределах $\pm 0,1$ Мгц. Последовательность включения и отключения ускоряющего напряжения на дуанте и C -электроде показана на диаграмме рис. 2.

2. C -электрод

Как уже было сказано во введении, азимутальная протяженность C -электрода не может быть сделана больше 40° .

Радиальная протяженность C -электрода определяется двойной амплитудой радиально-фазовых и бетатронных колебаний и припуском

в несколько сантиметров на компенсацию провисания поля вдоль открытой кромки. На основании исходных данных для макетирования радиальная протяженность C -электрода была выбрана равной 30 см, а апертура C -электрода была выбрана равной апертуре дуанта, т.е. 12 см.

Высота ускорительной камеры в районе расположения C -электрода равна 60 см. На радиусах от 304 см до 276 см на верхней и нижней крышках камеры расположены кольцевые шиммы высотой 7,0 см, что уменьшает высоту камеры на этих радиусах до 46 см.

Перечисленных выше данных достаточно для того, чтобы сделать предварительный расчет величины емкости C -электрода.

На рис. 3 изображен C -электрод внутри ускорительной камеры синхроциклотрона.

Емкость C -электрода рассчитывалась как емкость плоского вакуумного конденсатора и с учетом макетной конструкции получалась равной $C = 100$ мкф. Измерения емкости C -электрода на макете дали величину $C = 112,5$ мкф.

3. Резонансная система

Резонансная система C -электрода должна работать в диапазоне частот от 14,23 до 14,03 Мгц. Для получения резонанса на частоте 14,13 Мгц к C -электроду был подсоединен соответствующий отрезок коаксиальной линии, эквивалентный отрезку $\lambda/4$ для частоты $f_0 = 14,13$ Мгц.

Линия была изготовлена из медных труб с наружным диаметром внутренней трубы $d = 22$ мм и внутренним диаметром наружной трубы $d = 100$ мм. При этом волновое сопротивление линии ρ определяется выражением $\rho = 138 \lg \frac{D}{d}$ и равно в данном случае 90 ом.

Таблица 1.

Что Модуляция	Время ускорен. пучка по ос-нованию ма-кромп., мсек, %	Длительность пучка по ос-нованию ма-кромп., мсек, %	В.ч. Микроструктура		Эффективная длит. пучка на подвысооте, μ сек	Интенсивность	Примечание
			$J, \text{M} \cdot \text{r} \cdot \text{ч}$	$t, \text{M} \cdot \text{c} \cdot \text{c} \cdot \text{c}$ на подвысооте, %			
Где		$0,9 \pm 0,8$ $\sim 10\%$	≥ 14	~ 70 100%	$1 \div 2\%$	100%	Вторичн. пучок с внут. мин. без растяжки.
			3,0	без вч. микроструктуры	$25 \div 30\%$ $2,0 \div 2,5$	40 \div 55%	Вторичн. пучок с растяжкой (стар. сх.-симу-содельн. гон.).
СЦ	≤ 9 100%	$5,5 \div 6,0$	без вч. микроструктуры	$50 \div 60\%$ $\sim 5,0$	40 \div 50%	Вторичн. пучок с растяжкой (нов. сх.-пилло-образн. гон.)	
		60 \div 70%	5,5	60	70%	Вторичн. пучок с растяжкой пиллообр. током форсиров. режим (в неф. спективе)	
ЛШ	≤ 4	$\leq 0,5$ $\leq 5\%$	14	70 100%	$\leq 0,5\%$	Выведенный протонный пучок без растяжки	
		60	60 100%	25%	Выведенный протонный пучок без растяжки		
CERN Sc	54	18	8,5	1%	80% $+10\%$ П -10% Р	50%	Растяжка С-электрод со стехастич. захватом.
CERN SCIP	~ 500 100%	2	10 \div 1,5	Р, П без вч. микроструктуры		Растяжка при помощи катушки.	
		100%		Р, П с вч. микроструктурой		Растяжка С-электродом.	

Расчетное значение длины отрезка линии

$$l = \frac{\lambda}{2\pi} \arctg \frac{l}{\rho \omega C} \cong 2,9 \text{ м},$$

длина линии, при которой получался резонанс, — близка к расчетной. Такая резонансная система имела полосу пропускания $\Delta f = 25$ кГц и

$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 300$. Для расширения полосы пропускания внутренняя медная труба в резонансной линии была заменена стальной трубой того же диаметра, при этом полоса пропускания увеличилась примерно в 5 раз. По результатам измерений на макете построены графики (см. рис. 4). Потери в резонансной линии можно определить следующим образом /15/:

Максимальная величина тока I_{max} в фидере длиной $l = 2,9$ м с волновым сопротивлением $\rho = 90$ ом и амплитудой напряжения на С -эл. $U_c = 10$ кв будет равна

$$I_{max} = \frac{U_c}{\rho \sin \beta l} = 146 \quad ; \quad \beta l = \frac{2\pi}{\lambda} l = 2\pi \frac{2,9}{21,4} = 0,85; \quad \sin \beta l = 0,75.$$

Сопротивление погонного метра медного фидера при работе на высокой частоте определяется выражением

$$R_1 = 4,2 \sqrt{f} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right),$$

где r , R — радиусы внутренней и внешней труб в см, f — частота в гц /16/. В нашем случае $R_1 = 17,6 \cdot 10^{-3}$ ом/м. Мощность потерь для линии длиной $\lambda/4$ можно определить по формуле

$$P_{\lambda/4} = \frac{R_1 I_{max}^2}{2} \int_0^{\lambda/4} \cos^2 \beta x dx.$$

Для фидера из медных труб длиной $\lambda + l$, где $l = 2,9$ м, потери будут равны 2,25 квт.

Для фидера, в котором внутренняя труба из железа, потери составят $\approx 11,25$ квт.

4. Высокочастотный генератор с независимым возбуждением

В качестве высокочастотного генератора для питания С-электрода в первом варианте макетирования было решено использовать имеющийся генератор, изготовленный ранее для каскадного фазотрона /4/. По первоначальному проекту генератор был рассчитан на частоту 25 Мгц, потом перед проведением измерений он был перестроен на частоту 14,1 Мгц.

Блок-схема генератора представлена на рис. 5. Связь выходного каскада в.ч. генератора с резонансной системой была кондуктивной. Результаты измерений, проведенных на генераторе, нагрузкой которого служила резонансная система С-электрода, представлены в табл. 2.

Таблица 2

E_a кв	I_a а	U_a кв	P квт	U_c кв	$k = \frac{U_c}{U_a}$	Материал внутр. трубы фидера
0,8	0,5	0,4	0,4	5,5	14	Медь
2,8	1,4	1,9	4,0	3,9	2	Железо

Из табл. 2 видно, что коэффициент трансформации напряжения с анодов выходных каскадов на С-электрод лежит в пределах 14 для фидера с внутренней трубой из меди. Измерения производились при анодном напряжении на лампах ГУ-45, равном 0,8 кв. Повышение напряжения приводило к перегреву изоляторов в конструкции С-электрода, которые на макете не имеют принудительного охлаждения.

Из-за отсутствия охлаждения внутренней трубы резонансная частота системы во времени.

5. Задающий генератор и модулятор

В качестве задающего генератора был выбран автогенератор собранный на лампе 6Н15П. Схема автогенератора с усилительными каскадами изображена на рис. 6.

Собственная частота автогенератора 14,1 Мгц, незначительное изменение частоты на $\pm (0,1 \div 0,2)$ Мгц осуществляется изменением напряжения на варикапе, включенном в контур генератора пилообразного напряжения, подаваемого на варикап, может осуществляться при настройке в пределах от 0 до 30 в. Частота пилообразного напряжения меняется от 100 гц до 5 кгц.

Схема генератора пилообразного напряжения приведена на рис. 8 представлена зависимость частоты автогенератора от напряжения на варикапе, на рис. 9 - амплитудно-частотная характеристика задающего генератора.

На выходе схемы можно получить амплитуду напряжения $\approx 50 \div 70$ в, достаточную для раскачки предварительного генератора, питающего С-электрод.

Выводы

1. Измерения на макете С-электрода показали возможность на С-электроде выбранной конструкции получить необходимые частоты.

2. Для повышения стабильности частоты и амплитуды напряжения на С-электроде необходимо осуществить стабилизацию резонансной системы.

Для фидера, в котором внутренняя труба из железа, потери составят $\approx 11,25$ квт.

4. Высокочастотный генератор с независимым возбуждением

В качестве высокочастотного генератора для питания C -электрода в первом варианте макетирования было решено использовать имеющийся генератор, изготовленный ранее для каскадного фазотрона /4/. По первоначальному проекту генератор был рассчитан на частоту 25 Мгц, потом перед проведением измерений он был перестроен на частоту 14,1 Мгц.

Блок-схема генератора представлена на рис. 5. Связь выходного каскада в.ч. генератора с резонансной системой была кондуктивной. Результаты измерений, проведенных на генераторе, нагрузкой которого служила резонансная система C -электрода, представлены в табл. 2.

Таблица 2

E_a кв	I_a а	U_a кв	P квт	U_c кв	$k = \frac{U_c}{U_a}$	Материал внутр. трубы фидера
0,8	0,5	0,4	0,4	5,5	14	Медь
2,8	1,4	1,9	4,0	3,9	2	Железо

Из табл. 2 видно, что коэффициент трансформации напряжения с анодов выходных каскадов на C -электрод лежит в пределах 14 для фидера с внутренней трубкой из меди. Измерения производились при анодном напряжении на лампах ГУ-45, равном 0,8 кв. Повышение напряжения приводило к перегреву изоляторов в конструкции C -электрода, которые на макете не имеют принудительного охлаждения.

Из-за отсутствия охлаждения внутренней трубы резонансной линии изменялась резонансная частота системы во времени.

5. Задающий генератор и модулятор

В качестве задающего генератора был выбран автогенератор, собранный на лампе 6Н15П. Схема автогенератора с усилительным и буферным каскадами изображена на рис. 6.

Собственная частота автогенератора 14,1 Мгц, необходимое изменение частоты на $\pm (0,1 \div 0,2)$ Мгц осуществляется изменением напряжения на варикапе, включенном в контур генератора. Амплитуда пилообразного напряжения, подаваемого на варикап, может регулироваться при настройке в пределах от 0 до 30 в. Частота пилы может изменяться от 100 гц до 5 кгц.

Схема генератора пилообразного напряжения приведена на рис. 7, на рис. 8 представлена зависимость частоты автогенератора от напряжения на варикапе, на рис. 9 - амплитудно-частотная характеристика задающего генератора.

На выходе схемы можно получить амплитуду напряжения $\sim 50 \div 70$ в, достаточную для раскачки предварительного каскада генератора, питающего С-электрод.

Выводы

1. Измерения на макете С-электрода показали возможность на С-электроре выбранной конструкции получить необходимый диапазон частот.

2. Для повышения стабильности частоты и амплитуды ускоряющего напряжения на С-электроре необходимо осуществить водяное охлаждение резонансной системы.

3. Питание C -электрода от генератора, находящегося на расстоянии более 500 м от ускорителя, представляет неудобство т.к. фидер для соединения генератора с C -электродом, помещенным в реальные условия работы, требует существенного ремонта и конструктивных изменений, которые невозможно производить при работающем ускорителе. Система УБС также требует ремонта.

4. Более целесообразным представляется размещение генератора с независимым возбуждением в непосредственной близости от ускорителя так, чтобы длина фидера, соединяющего генератор с C -электродом, не превышала 21 м.

Проделанные эксперименты позволяют считать, что наиболее целесообразно ориентироваться на многоцикловый режим действия C -электрода с гибкой схемой управления, обеспечивающей возможность работы как с положительным, так и с отрицательным значениями ω .

Измерения на макете показали, что осуществление одноконтурной полосовой системы с внешней модуляцией в качестве рабочего варианта не встретит особых трудностей.

Опыт работы такой системы мог бы оказаться полезным также и при разработке аналогичной системы для установки Φ . В случае необходимости предлагаемую систему можно без больших затрат, если это потребуется, перевести в другой режим.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Б.И. Ключина, изготовившего макет части ускорительной камеры, C -электрода и выполнившего все механические работы по перестройке генератора независимого возбуждения и согласованию резонансной системы C -электрода. Авторы также благодарят Ю.В. Максимова за участие в комплексных измерениях параметров многокаскадного генератора с манипуляцией выходного каскада.

Авторы весьма признательны В.И. Данилову за интерес, проявленный к работе, и Е.И. Розанову за полезные обсуждения и содействие при ее выполнении.

Литература

1. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич и др. АЭ, 19, вып. 5, стр. 289-292, 1965.
2. Kurt.Enslein. IRE-Trans. on Nucl. Sci., NS-6, No. 1, March, 1959.
3. H.Bruckmann. Nucl.Instr. Meth., 6, No.2, 1960.
А.Л. Минц, Н.К. Каминский. Каскадный фазотрон. ЖТФ, т. XVIII, 1957.
5. A.Cabrespine. Modification de la structure en temps du faisceau du synchrocyclotron, p. 2244, 4 avril, Comptes Rendus, tome 250, No. 14, 1960.
6. A.Cabrespine. Methodes permettant d'ameliorer la structure en temps du faisceau externe du synchrocyclotron, Laboratoire de physique et le Radium, tome 21, No. 5, p. 332, Mai 1960.
7. M.Ianovici, S.Lindbäck. Study of duty cycle of proton beams extracted with different time dependences of the Kim coil field, for the improved SC. CERN, MSC-62-1. April 10, 1972.
8. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич и др. . ОИЯИ, Б1-1515, Дубна, 1963.
9. S.Lindbäck. On the operation of a Cee in the improved synchrocyclotron. CERN-MS-69-1, April, 1969.
10. S.Lindback. Beam stacking and long burst operation in synchrocyclotrons. CERN. MSC (1971).

11. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич, Э.А. Полферов, Е.И. Розанов, А.Н. Сафонов. Препринт ОИЯИ, Р9-3968, Дубна, 1968.
12. И.Б. Енчевич, Т.Н. Томилина. Препринт ОИЯИ, Р9-3970, Дубна, 1968.
13. A.Fiebig. RF band.band amplifies driving reactive loads. CERN 64-27. MSC Division, 4th June 1964.
14. S.Lindbäck. Characteristics and Tolerances on Frequency and Voltage Programmes. MSC/PR/495, M-1-70, CERN, January 6, 1970.
15. А.Л. Миц, И.Х. Неважский, Б.И. Поляков. Радиотехника и электроника. №7, 1956.
16. Р. Кинг, Г. Мимно, А. Уинг. Передающие линии, антенны и волноводы. Госэнергоиздат, М.-Л., стр. 28, 1948.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 июля 1972 года.

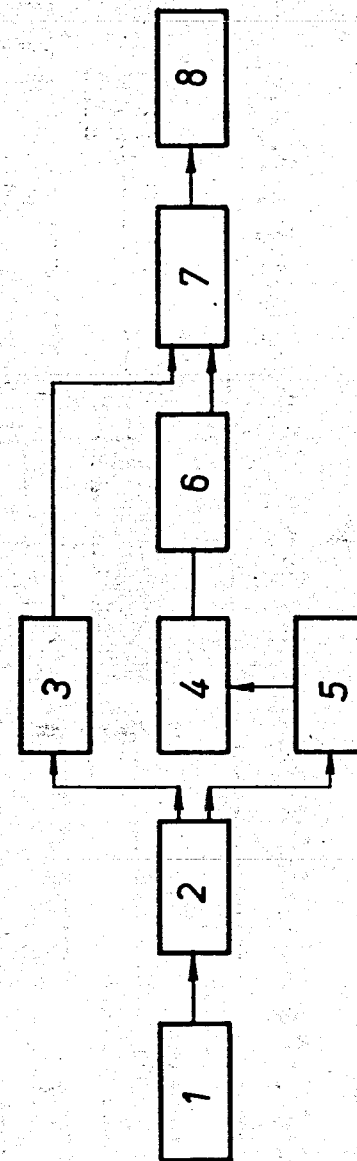


Рис. 1. Блок-схема системы высокочастотной растяжки лучка при мощности S -электрод. 1 - блок фотолаччика; 2 - блок управления; 3 - манипулятор; 4 - задающий генератор; 5 - частотный модулятор; 6 - I - II - каскады предварительного усиления; 7 - выходной каскад; 8 - резонансная линия и S -электрод.

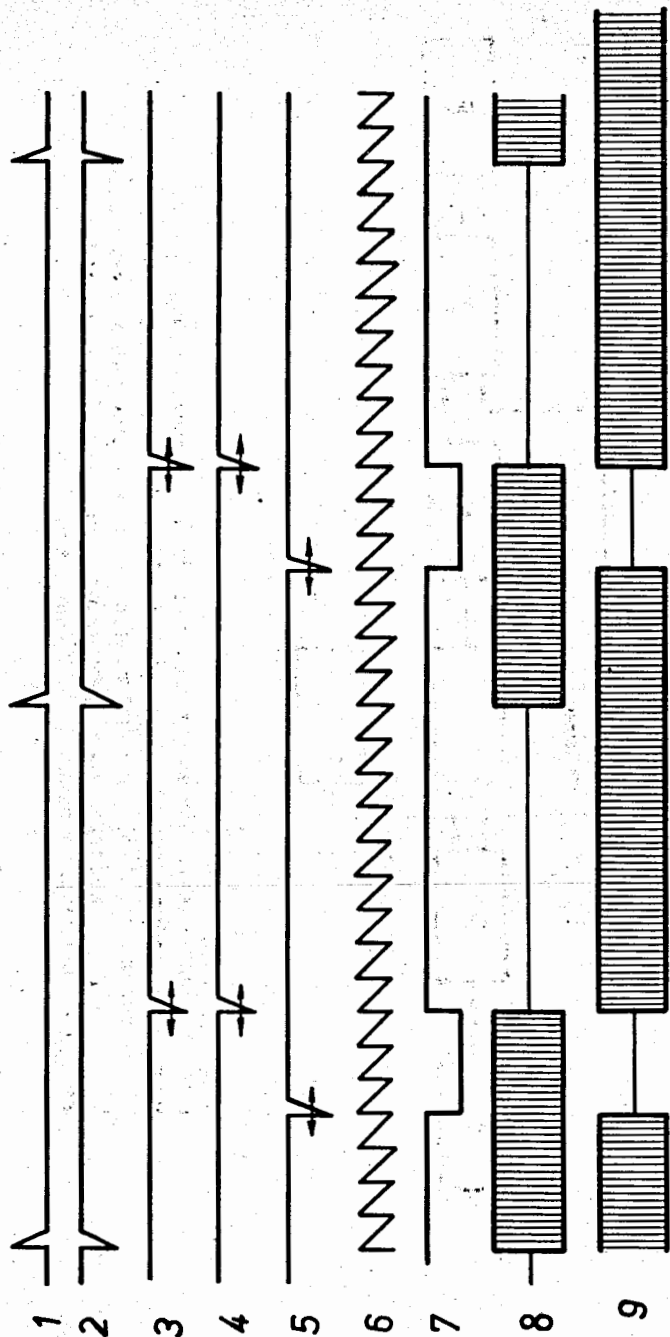


Рис. 2. Диаграмма управляющих импульсов для управления ускоряющим напряжением на дуанте и C -электроде в соответствии с выбранным режимом растяжки лучка. 1 - импульсы синхронизации; 2 - включающие дуант; 3 - отключающие дуант; 4 - включающие C -электрод; 5 - отключающие C -электрод; 6 - генератор пилы; 7 - манипулятор выходного каскада C -эл; 8 - высокочастотное напряжение на дуанте; 9 - высокочастотное напряжение на C -электроде.

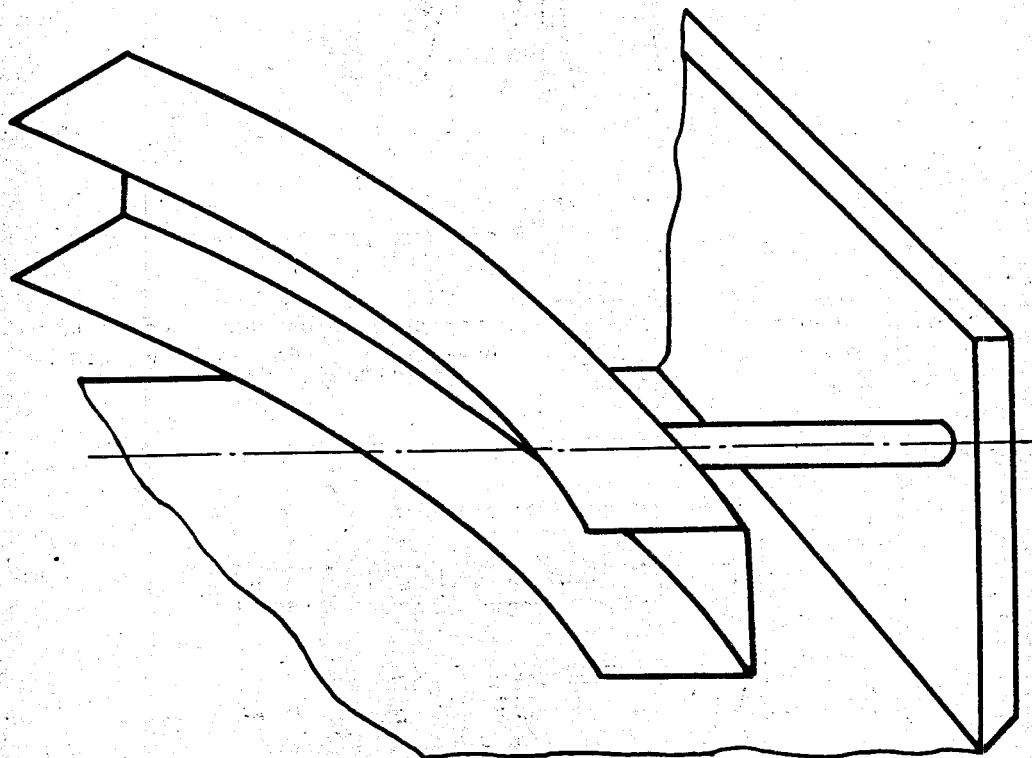


Рис. 3. С -электрод.

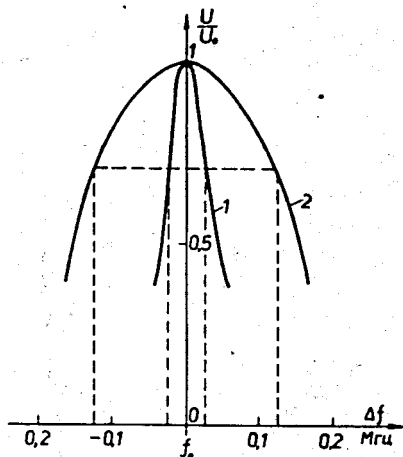


Рис. 4. Резонансные кривые. 1 - внутренняя труба фидера из меди;
 $2 \Delta f = 50$ кгц, $Q = 300$; 2 - внутренняя труба фидера из железа,
 $2 \Delta f = 250$ кгц; $Q = 60$.

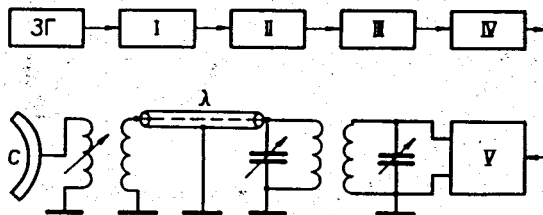


Рис. 5. Блок-схема высокочастотного генератора.

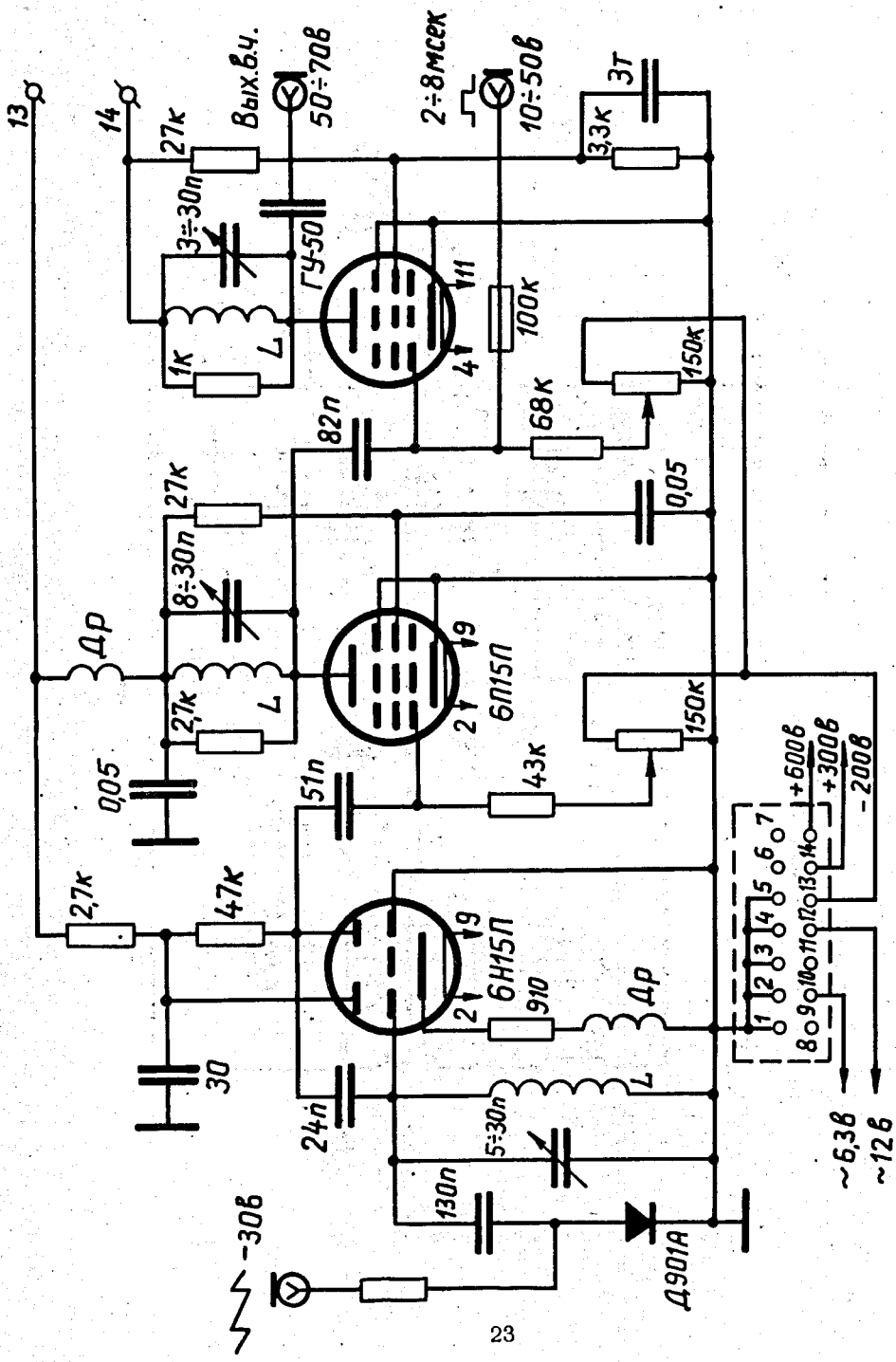


Рис. 6. Частотно-модулированный задающий генератор ($f = 14,13$ МГц).

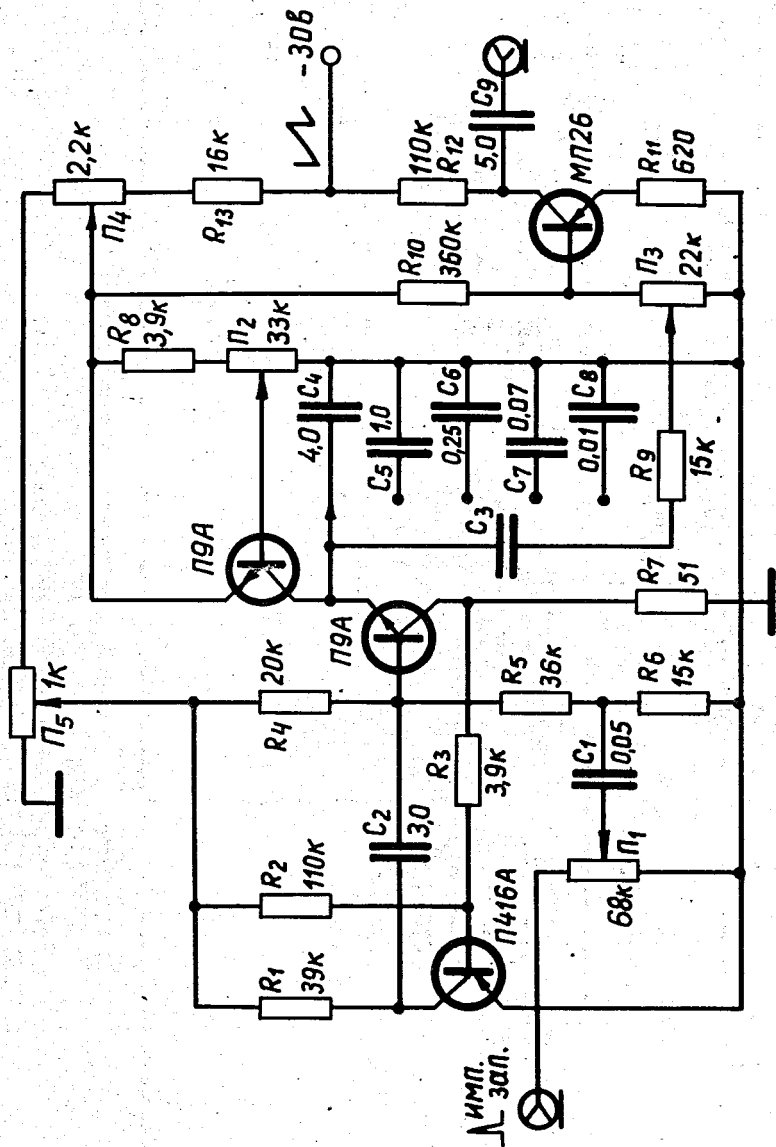


Рис. 7. Генератор пилы.

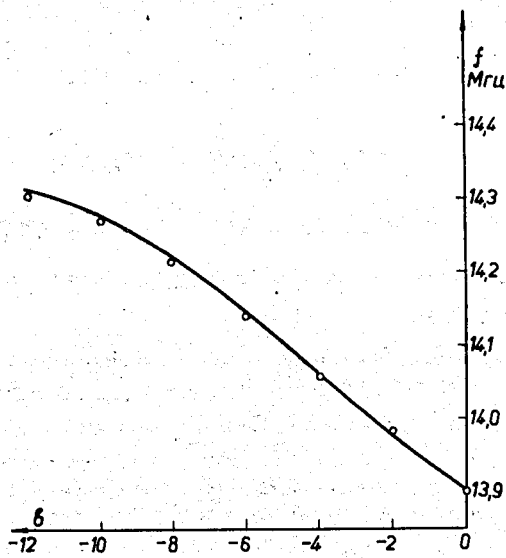


Рис. 8. Зависимость частоты автогенератора от напряжения на варикапе.

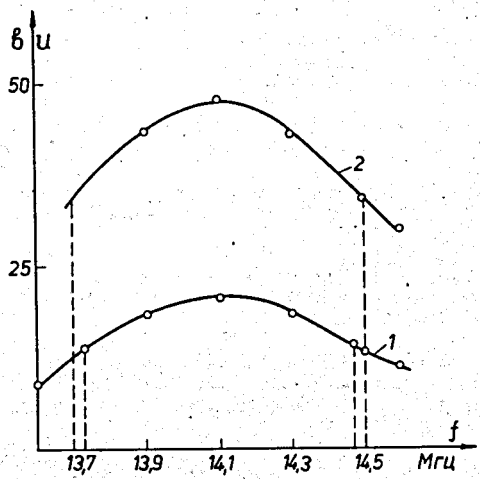


Рис. 9. Амплитудно-частотная характеристика задающего генератора. 1 - буферный каскад; 2 - выходной каскад.