



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

---

В.А. Вагин, В.Д. Володин, А.Д. Панфилов, Н.Н. Пляшкевич,  
А.П. Саенко, И.Н. Семенюшкин, В.Л. Степанюк, К.В. Чехлов, Н.В. Шустров

1478

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ КРАТНОГО УСКОРЕНИЯ  
ПРОТОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ  
НА ЧАСТОТЕ 69 МГц  
В СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

Дубна 1983

В.А.Вагин, В.Д.Володин, А.Д.Панфилов, Н.Н.Пляшкевич,  
А.П.Саенко, И.Н.Семенюшкин, В.Л.Степанюк, К.В.Чехлов, Н.В.Шустров

1478

2217/3 ч8

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ КРАТНОГО УСКОРЕНИЯ  
ПРОТОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ  
НА ЧАСТОТЕ 60 МГц  
В СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

## § 1. Введение

В процессе разработки электродинамического сепаратора антипротонов с импульсом 5 Гэв/с, описанного в работах <sup>1,2/</sup>, появилась необходимость экспериментальной проверки эффективности предлагаемого метода банчеровки пучка в камере синхрофазотрона за счет перехвата протонов в режим кратного ускорения. С этой целью была создана макетная высокочастотная система (СКУ), состоящая из резонатора, автогенератора и импульсного модулятора (см. рис. 1).

Кратко изложим принцип работы системы. Описываемая система в конце цикла основного ускорения синхрофазотрона производит перезахват протонов в режим кратного ускорения на постоянной частоте 69 Мгц и осуществляет ускорение на этой частоте в течение времени  $\tau = 10 \pm 50$  мсек. Ускоренный на кратной частоте пучок выводится системой азимутальной асимметрии магнитного поля на внешнюю мишень, в результате чего на выходе из мишени возникают периодические азимутально короткие сгустки вторичных частиц.

С помощью СКУ были проведены следующие исследования:

1. Выяснена зависимость коэффициента перезахвата протонов в режим кратного ускорения от параметров системы.
2. Определена величина фона вторичных частиц в промежутках между сгустками и отработаны эффективные методы его подавления.
3. Произведена экспериментальная проверка технических характеристик СКУ, подобраны оптимальные режимы ее работы, отработаны отдельные узлы с точки зрения надежности и удобств эксплуатации.

Результаты исследований по первым двум пунктам изложены в других работах, в частности, в <sup>1/3/</sup>. В настоящей работе приводится описание СКУ, соображения по выбору и расчету наиболее важных ее узлов, а также результаты испытаний системы как на испытательном стенде, так и непосредственно в камере синхрофазотрона. Кроме того, приведены результаты исследований работы электровакуумных приборов при большой длительности импульса ( $\tau = 50$  мсек), а также по выяснению электрической прочности резонатора, помещенного в вакуум при наличии достаточно сильных магнитных полей рассеяния в синхрофазотроне ( $H = 100$  эрстед) и больших длительностей в/ч импульса.

## 1. Резонатор

Резонатор СКУ находился в камере синхрофазотрона на вводном прямолинейном промежутке. Конструктивно он был выполнен в виде четвертьволнового отрезка коаксиальной линии с прямоугольным поперечным сечением (рис. 2). Выбор конструкции и основных размеров резонатора определялся апертурой камеры и поперечным сечением рабочей области пучка в начальный момент ускорения. Собственная добротность для указанной конструкции резонатора определялась по формуле

$$Q_0 = \frac{S\ell}{\delta \left[ \left( \frac{p_1 + p_2}{2} \right) \ell + S \right]}, \quad (1)$$

где  $\delta$  - глубина скин-слоя,  $S$  - поверхность поперечного сечения между внешним и внутренним проводниками,  $\ell$  - длина резонатора ( $\ell = \frac{\lambda_0}{4}$ ),  $p_1$  - периметр поперечного сечения внешнего проводника,  $p_2$  - периметр поперечного сечения внутреннего проводника. Формула (1) выведена с учетом условия  $p_1 - p_2 \ll p_1$ .

Расчет дает для резонатора с собственной частотой  $f_0 = 69$  МГц и с размерами, показанными на рис. 2, величину  $Q_0 = 7000$ . Соотношение (1) не учитывает потери на излучение. Без экрана (рис. 2) эти потери, как показывает опыт, весьма существенны, и добротность в этом случае определяется только потерями на излучение ( $Q_0 = 500$ ). Наличие экрана резко снижает излучение. Это объясняется тем, что для конфигурации поля во внутренней полости резонатора (рис. 3) существенными модами, которые возбуждаются полем на зазоре, являются волны типа  $E_{nm}$  и, в первую очередь,  $E_{11}$ . Однако для этих мод и для указанных размеров внутренняя полость резонатор-экран является запертым волноводом.

Произведем расчет необходимой длины экрана. Ослабление мощности излучения для длины экрана  $h$

$$N = e^{-2\beta h}, \quad (2)$$

где  $\beta = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\lambda_{kp}^2} - \frac{1}{\lambda_0^2}}$ ,  $\lambda_{kp} = \frac{2ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}$  - критическая длина волны для поля  $E_{11}$ ,

$\lambda_0$  - длина волны в свободном пространстве,  $a$  и  $b$  - поперечные размеры экрана (и внутренней полости резонатора).

При  $h = 30$  см  $N > 2 \times 10^{-4}$ , что соответствует добротности излучения  $Q > 5 \cdot 10^4$ . Ввиду того, что длина резонатора  $\ell = 102$  см, то излучение внутри полости в другую сторону от зазора тем более незначительно. Измеренная добротность резонатора с экраном  $Q_0 = 6500$ , что хорошо согласуется с расчетом.

Волновое сопротивление  $Z_0$  с достаточной степенью точности можно подсчитать, заменяя прямоугольное сечение внешнего и внутреннего проводников конфокальными эллипсами. Тогда используется известное соотношение

$$Z_0 = 138 \lg \frac{a_1 + b_1}{a_2 + b_2}, \quad (3)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  - большие полуоси эллипса внутреннего и внешнего проводника,  $b_1$  и  $b_2$  - малые полуоси. Причем  $2a_2$  и  $2b_2$  равны соответствующим размерам поперечного сечения внешнего проводника, а  $2a_1$  и  $2b_1$  - соответствующим размерам внутреннего проводника.

Фактор времени пролета протонов  $T$ , рассчитанный по измеренному методу малых возмущений распределению напряженности в/ч электрического поля вдоль оси резонатора, составил для энергии протонов  $W = 5 \pm 10$  ГэВ  $T \geq 0,95$ .

Для эффективной работы СКУ необходимо было обеспечить высокую стабильность ее частоты <sup>/3/</sup> (не хуже  $\frac{\Delta f_0}{f_0} \leq 10^{-4}$ ). В связи с этим были проведены измерения стабильности частоты резонатора  $f_0$  при воздействии на него температурных изменений, вибрации, магнитного поля. Оказалось, что уход частоты резонатора в камере при наличии полей рассеяния  $H = 90$  э, составил  $\frac{\Delta f_0}{f_0} \leq 2 \cdot 10^{-5}$  за 4 часа.

Для контроля напряжения на щели резонатора использовалась петля связи площадью  $1 \text{ см}^2$ , помещенная в пучность магнитного поля. Калибровка петли производилась как по результатам измерения мощности автогенератора при известной добротности резонатора, так и непосредственным измерением напряжения на щели методом зонда с высокоомной подводкой <sup>/5/</sup>.

Для устранения возникшего в резонаторе резонансного высокочастотного разряда (РВР) использовалось постоянное смещение. Для этого внутренний и внешний проводники резонатора изолировались друг от друга с помощью емкостей (рис. 4). Внешний проводник резонатора заземлялся, а на внутренний - подавалось отрицательное напряжение смещения. Величина смещения, необходимая для подавления РВР, оказалась равной 800 вольт, что хорошо количественно согласуется с теорией РВР.

В заключение приводим основные рабочие параметры резонатора:

1. Собственная резонансная частота  $f_0 = 69$  МГц.
2. Собственная добротность:
  - а) без разделительных емкостей  $Q_0 = 6500$ ,
  - б) с разделительными емкостями  $Q_0 = 3500$ .
3. Волновое сопротивление  $Z_0 = 8$  ом.
4. Стабильность частоты в рабочих условиях  $\frac{\Delta f_0}{f_0} \leq 2 \cdot 10^{-5}$ .

## 2. Автогенератор, модулятор и источники питания

Для получения высокого коэффициента перезахвата  $\sigma \geq 0,7$  должна быть обеспечена

чена амплитуда напряжения на зазоре резонатора  $V_m = 120 \text{ кв} / \sqrt{3}$ . Отсюда требуемая в/ч мощность равна

$$P = \frac{V_m^2}{2R},$$

где  $R$  - шунтовое сопротивление резонатора. Для  $\frac{\lambda_0}{4}$  - отрезка двухпроводной линии, закороченного на одном конце,

$$R = \frac{4}{\pi} Q_0 Z_0.$$

Подставляя известные значения параметров резонатора  $Q_0$ ,  $Z_0$  и величину  $V_m$ , получим требуемый расход в/ч мощности в резонаторе

$$P = \frac{\pi V_m^2}{8 Q_0 Z_0} = 200 \text{ квт.}$$

Такая мощность обеспечивается автогенератором в импульсном режиме. Импульсная мощность модулятора при к.п.д. автогенератора  $\eta = 0,25$  должна быть равной

$$P_M = \frac{P}{\eta} = 800 \text{ квт.}$$

Характерным режимом СКУ является работа в течение 50 мсек при периоде повторения  $10 \pm 12$  сек. Создание импульсных высокочастотных устройств на такие мощности при длительности импульсов  $\tau = 50$  мсек представляет известные трудности, так как существующие электровакуумные приборы не предназначены для работы при таких  $\tau$ . В связи с этим представляет интерес рассмотрение возможности применения существующих электровакуумных приборов на этих длительностях.

Рассмотрим факторы, ограничивающие длительность импульса в мощных импульсных электровакуумных приборах.

1) Используемые для получения больших импульсных токов радиолампы с оксидным катодом не пригодны для работы при  $\tau$  в несколько миллисекунд ввиду того, что с увеличением длительности импульса происходит отравление катода и его эффективность резко падает. Поэтому следует применять радиолампы с вольфрамовым торированным катодом, эффективность которого хотя и гораздо ниже, чем у оксидного (70-100 ма/вт вместо  $10^3 - 10^4$  ма/вт), но не зависит от длительности импульса. Выпускаемые промышленностью мощные триоды ГИ-4А, ГИ-18Б имеют вольфрамовые торированные катоды с эмиссией, достаточной для получения больших импульсных мощностей вне зависимости от длительности.

2) Нагревом сетки в течение импульса обычно пренебрегают в режимах работы с  $\tau$  в несколько микросекунд, однако для  $\tau = 50$  мсек этот нагрев может оказаться существенным и, следовательно, стать ограничивающим фактором при получении более высоких уровней в/ч мощности.

Если принять в расчет максимально допустимое повышение температуры сетки  $\Delta t$  с доп. за время импульса  $\tau$ , то максимальная допустимая импульсная мощность рассеяния сетки

$$P_{ст} = P_{с доп.} + \frac{\Delta t_{с доп.} M \cdot c}{0,24 \tau}, \quad (4)$$

где  $P_{с доп.}$  - максимально допустимая средняя мощность рассеяния сетки в ваттах,  $M$  - масса сетки в граммах,  $c$  - удельная теплоемкость материала сетки и  $k$  - коэффициент неравномерности разогрева сетки.

Для лампы ГИ-18Б, которая использовалась в качестве ключевой лампы модулятора при  $P_{с доп.} = 300$  вт,  $\Delta t_{с доп.} = 600^\circ \text{C} / 12$ ,  $M = 23$  г,  $c = 0,063$  кал/г град. (молибден),  $k = 0,8$  и  $\tau = 50$  мсек получим  $P_{ст} = 6 \cdot 10^4$  вт, что в 200 раз превышает допустимую мощность рассеяния сетки ГИ-18Б в непрерывном режиме. Аналогичные расчеты, проведенные для применяемых нами ламп ГИ-4А, ГУ-80, ГМ-1А и др. показали, что при длительности импульса  $\tau = 50$  мсек эти лампы могут отдать ту же мощность, что и при обычной для них длительности  $0,3 \pm 1$  мсек.

3) Электрическая прочность ламп с увеличением  $\tau$  уменьшается и при миллисекундных длительностях приближается к прочности в непрерывном режиме.

#### а) Автогенератор

Автогенератор СКУ собран на лампе ГИ-4А по схеме с заземленной сеткой (рис. 5) и представляет собой емкостную трехточку. Лампа ГИ-4А - мощный усилительный триод с водяным охлаждением анода, предназначенный для работы при длительности импульса  $\tau \leq 1000$  мсек. Максимальная выходная мощность ГИ-4А составляет 1200 квт при  $E_a = 35$  киловольт. Как уже отмечалось выше, оказалось возможным применить эту лампу при длительности импульса  $\tau = 50$  мсек.

Анодный контур автогенератора - четвертьволновой резонатор коаксиального типа с волновым сопротивлением  $Z = 28$  ом, перестраиваемый с помощью короткозамкнутого плунжера. Катодная линия тоже коаксиальная с волновым сопротивлением 58 ом и неизменной длиной. Для осуществления обратной связи применялась специальная емкость  $C_{об} = 14 \pm 20$  пФ. Связь анодного контура автогенератора с фидером кондуктивная на расстоянии  $l_{об} = 20 \pm 25$  см от закороченного конца. Связь фидера с резонатором индуктивная с помощью петли связи  $S = 30 \text{ см}^2$ .

Поскольку добротность резонатора больше добротности анодного контура автогенератора, то система может возбуждаться на паразитных частотах связи (так называемые "фидерные" колебания). Для подавления "фидерных" колебаний использовался известный метод "гасящего" сопротивления  $1/10$ . Посредине фидера, длина которого

была равна  $\frac{\lambda_e}{4}$ , размещалось гасящее сопротивление (рис. 6). Величина гасящего сопротивления, выбранная из условий минимума рассеиваемой в нем мощности, составила согласно расчету  $R_{\Gamma} = 230$  ом. Экспериментально найденное критическое значение  $R_{\Gamma} < 200$  ом. Использовалось селитовое сопротивление длиной 150 мм и диаметром 15 мм. На рис. 7 показана экспериментальная кривая зависимости выходной мощности автогенератора от анодного напряжения. Необходимая мощность  $P = 200$  квт получается при анодном напряжении 9,5–10 кв. Экспериментально измеренный к.п.д. автогенератора составил в среднем величину  $\eta = 28\%$ . Распределение мощности вдоль фидера показано на рис. 8. КСВН фидера равен 2,2, что довольно хорошо согласуется с рекомендованным в работе <sup>/10/</sup> с точки зрения минимума рассеиваемой в  $R_{\Gamma}$ -мощности при сохранении устойчивости системы на основной частоте.

### б) Модулятор

Были рассмотрены различные варианты схем импульсного модулятора мощностью около 1 Мвт при длительности импульса  $t \leq 50$  мсек. Наиболее простая и широко используемая в импульсной технике тиратронная схема модулятора с искусственной линией оказалась неприменимой ввиду сложности и громоздкости искусственной линии на такую длительность. Кроме того, искусственная линия не позволяет оперативно изменить длительность импульса и длительность переднего фронта при физических исследованиях, проводимых с помощью СКУ <sup>/3/</sup>. Поэтому была принята схема модулятора с частичным разрядом емкости на жестких лампах. Недостаток ее – сложность электронной части (требуется многокаскадный подмодулятор) – полностью окупается гибкостью и удобством этой схемы в работе. Схема позволяет дистанционно регулировать фронт, длительность и другие параметры импульса. Для выбранной нами схемы (рис. 9) были использованы лампы ГИ-18Б. Это импульсный генераторный триод с воздушным охлаждением анода, предназначенный для генерирования и усиления колебаний низкой частоты. Максимально допустимая длительность импульса – 0,3 мсек. Были использованы две ГИ-18Б, соединенные параллельно, так как при этом значительно уменьшается мощность, необходимая для раскачки ламп. В качестве накопительной емкости использовались батарея 3-киловольтных конденсаторов. Для обеспечения длительности импульса 50 мсек при спаде не более 25% требуется емкость  $C = 890$  мкф при рабочем напряжении не менее 16,5 кв. Необходимо отметить, что в схеме модулятора не используются межкаскадные импульсные трансформаторы, так как изготовить импульсный трансформатор на длительность 50 мсек с хорошей формой оказалось очень трудно. Поэтому схема избегает катодными повторителями. В частности, для раскачки ГИ-18Б использовался катодный повторитель на ГМ-1А. Выбор этой лампы определяется ее высоким входным сопротивлением, что очень важно при многокаскадном соединении катодных повторителей. Этими же соображениями руководствовались при

выборе лампы ГИ-17. Остальные каскады – обычные импульсные усилители. В фильтрах анодных цепей модулятора использовались большие емкости, доходящие до 2000–3000 мкф. В качестве источников анодного питания ламп модулятора использовались обычные выпрямители, один на 16,5 кв 0,5 а, другой на 8 кв 0,5 а. Общий вид модулятора показан на рис. 8.

### в) Схема запуска

Схема запуска показана на рис. 10. Она предназначалась для включения СКУ в определенный момент цикла ускорения, для формирования импульса модулятора, а также для срыва основного ускоряющего напряжения синхрофазотрона  $V_1$ . Схема запуска включает в себя схему сравнения частот, бланкирующую схему, схемы задержек и схему формирования импульса модулятора.

Схема сравнения частот создает опорный импульс для запуска СКУ и перестройки режима работы ускорителя. Этот импульс соответствует моменту, когда выполняется кратное соотношение между рабочей частотой СКУ  $f_0$  и основной ускоряющей частотой синхрофазотрона  $f_1$ . Точность включения схемы сравнения по частоте не хуже  $\pm 100$  гц., что соответствует точности включения по времени в рабочей области цикла ускорения не хуже  $\pm 3$  нс. Такая точность обусловлена требованием стабильности коэффициента перезахвата <sup>/3/</sup>.

Бланкирующая схема позволяет устранить запуск системы импульсом, вырабатываемым схемой сравнения на спадающем участке магнитного поля ускорителя. Длительность бланкирования  $t_{\delta}$  подобрана так, что схема запуска автоматически настраивается на рабочий импульс ( $t_{\delta} = 4 \pm 6$  сек).

Схемы задержек служили для получения различных временных соотношений между включением СКУ и выключением основного ускоряющего напряжения

Схема формирования импульса модулятора предназначалась для оперативной регулировки фронта, формы и длительности импульса, а также для коррекции спада вершины импульса вследствие разряда накопительных емкостей. Подъем вершины импульса осуществлялся путем сложения прямоугольного и пилообразного напряжений. Регулировка длительности переднего фронта производилась за счет включения шунтирующих емкостей. Сформированный импульс передавался из зала электроники в корпус синхрофазотрона по кабелю РКТЗ-150 длиной 400 метров. Для такой передачи применялся специальный согласующий каскад, выполненный по схеме катодного повторителя.

### 3. Некоторые результаты динамических испытаний СКУ

Предварительные испытания СКУ проводились на специальном стенде, в состав которого входили:

а) вакуумная система, состоящая из стальной бочки диаметром 2,2 м и длиной 2,5 м, форвакуумного насоса ВН-6 и трех диффузионных насосов ВА-5. Охлаждение насосов - водяное. Азотные ловушки не использовались. Рабочее давление в бочке  $8 \cdot 10^{-6}$  мм.рт.ст;

б) линейный модулятор на тиратроне ТР-1-40/15, дающий импульсы амплитудой до 15 кв при токе 100 а и длительности 0,7 мсек. Частота повторений 1 гц.

В результате испытаний и доводки системы на стенде было получено напряжение 125 кв на зазоре резонатора при длительности  $\tau = 0,7$  мсек. При этом требовалась предварительная тренировка в течение 12-18 часов. Для того чтобы уменьшить опасность выхода из строя резонатора из-за пробоев его конденсаторов, повышение напряжения в начальный период тренировки производилось более медленно, чем в конце. В дальнейшем тиратронный модулятор заменили рабочим модулятором с  $\tau = 50$  мсек. При испытаниях системы с этим модулятором выяснилось, что увеличение длительности импульса с 0,7 мсек до 50 мсек приводит к значительному снижению электрической прочности резонатора. Предельное напряжение на зазоре резонатора для  $\tau = 50$  мсек не превышало 80 кв.

Дальнейшее испытание СКУ производилось в камере синхрофазотрона. Испытания в рабочих условиях позволили выявить существование еще одного нежелательного явления, связанного с в/ч напряжением, постоянным смещением, вакуумом и свойствами поверхности резонатора. Это так называемый одноэлектродный ОРВР<sup>18/</sup> или, кратко, ОРВР, который хотя и не вносил в/ч потерь в резонатор, но приводил при высоких в/ч напряжениях и больших длительностях к ионизации остаточного газа и, в конечном счете, к плазменному пробое. Этим и объясняется факт снижения электрической прочности резонатора при испытаниях на стенде на длительностях  $\tau$  до 50 мсек. В камере ускорителя влияние ОРВР проявлялось более отчетливо из-за присутствия рассеянного магнитного поля, величина которого в области зазора резонатора достигала в конце цикла ускорения  $H = 90$  эрстед. Потоки слабоэнергичных электронов, возникавшие при ОРВР, закручивались магнитным полем, что приводило к значительному увеличению длины траекторий электронов и, следовательно, повышало их ионизирующую способность. Устойчивая амплитуда в/ч напряжения в резонаторе не превышала 60 кв. На рис. 11 (а, б, в, г) показана форма в/ч импульсов в резонаторе при разных значениях магнитного поля. Увеличение в/ч напряжения до предельной амплитуды для фиксированного магнитного поля, как правило, уменьшало искажения формы в/ч импульса. ОРВР возникал во внутренней полости экрана резонатора на расстоянии  $10 \pm 25$  см от зазора. Внешне это проявлялось в виде свечения остаточного газа по всему внутреннему периметру экрана в узкой полосе. Так как СКУ позволила получить при  $V_m = 50$  кв устойчивый и стабильный пере захват  $36 \pm 40\%$  протонов с энергией до 10 Гэв и в даль-

нейшем провести необходимые физические исследования режима кратного ускорения, то поэтому никаких специальных мер для подавления ОРВР не применялось.

#### Л и т е р а т у р а

1. В.Н.Зубарев, В.С.Кладничкий, А.Б.Кузнецов, С.В.Мухин, Л.С.Охрименко, Н.Б.Рубин, И.Н.Семенюшкин. Физические основы антипротонного канала. Препринт ОИЯИ Р-371, Дубна, 1959.
2. А.Б.Кузнецов. Вопросы теории ввода и вывода частиц в синхрофазотроне. Диссертация ОИЯИ, Дубна, 1961.
3. В.А.Вагин, А.Д.Панфилов, И.Н.Семенюшкин, В.Л.Степанюк, К.В.Чехлов. Некоторые результаты исследований режима кратного ускорения на частоте 60 мгц в синхрофазотроне ОИЯИ. Препринт ОИЯИ, Дубна, 1963 (в печати).
4. Я.Н.Фельд. Распространение электромагнитных волн вдоль эллиптического цилиндра. Труды ЛЭИМС, 38, 1939.
5. А.С.Бондарев, В.П.Сазонов, М.М.Сбитнева, Г.Ф.Семенов. Применение зонда в высокоомной подводке для исследования электромагнитных полей в резонаторах и волноводах. "Электроника", вып. 2, 1959.
6. Л.Альварец, Г.Браднер, Дж. Франк, Г.Гордон, Дж.Гоу, Л.Маршалл, Ф.Оппенгеймер, В.Пановский, Х.Рихман, Д.Вудьярд, Берклиевский протонный линейный ускоритель. "Проблемы современной физики", № 4, 1956.
7. Б.А.Загер, В.Г.Тишин. Резонансный высокочастотный разряд в циклотроне. Препринт ОИЯИ Р-811, Дубна, 1961.
8. Б.А.Загер, В.Г.Тишин. Резонансный высокочастотный разряд и возможности его подавления. Препринт ОИЯИ 1058, Дубна, 1962.
9. Г.Брюннинг. Физика и применение вторичной электронной эмиссии. "Советское радио", Москва, 1958.
10. А.П.Федотов, К.К.Шембель. К вопросу о возбуждении колебаний в высокооборотном объемном резонаторе от автогенератора. "Радиотехника и электроника", № 12, 1956.
11. Д.П.Линдэ. Основы расчета ламповых генераторов СВЧ, Госэнергоиздат, 1959.
12. П.А.Остряков. Тепловые расчеты электронных ламп с сетками. Связьиздат, 1957.
13. М.А.Михеев. Основы теплопередачи. ГЭИ, 1956.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 ноября 1963 г.

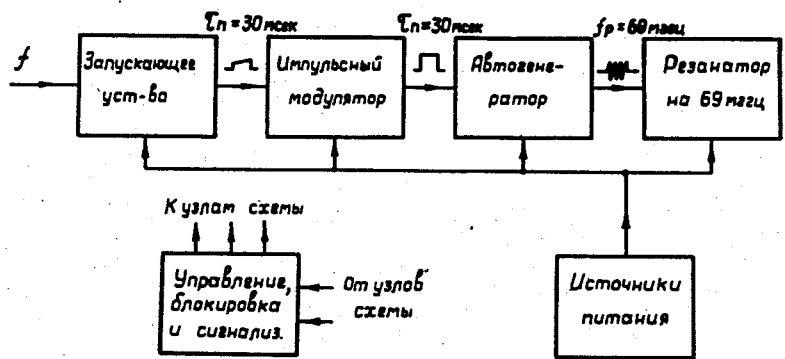


Рис. 1. Блок-схема системы кратного ускорения.

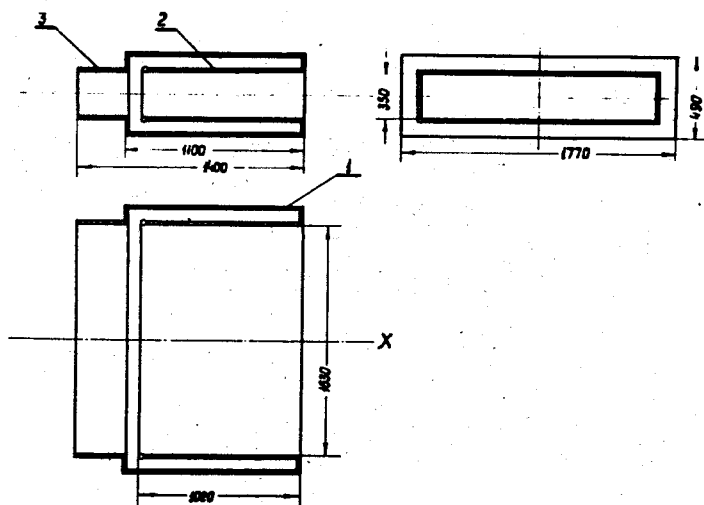


Рис. 2. Резонатор системы кратного ускорения.  
1 - внешний проводник, 2 - внутренний проводник, 3 - экран.

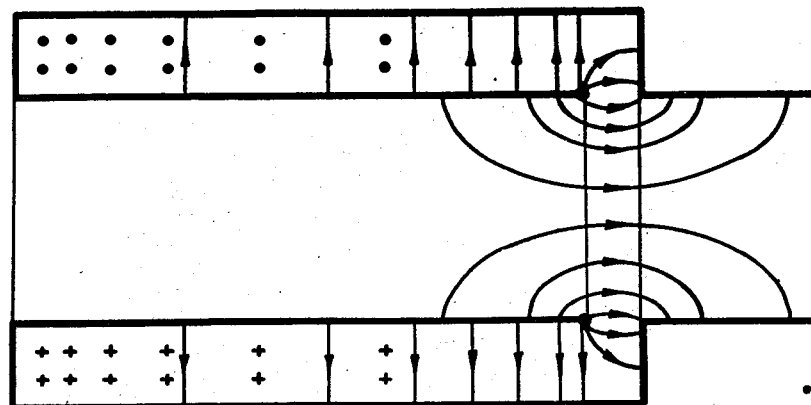


Рис. 3. Конфигурация в/ч поля в резонаторе.

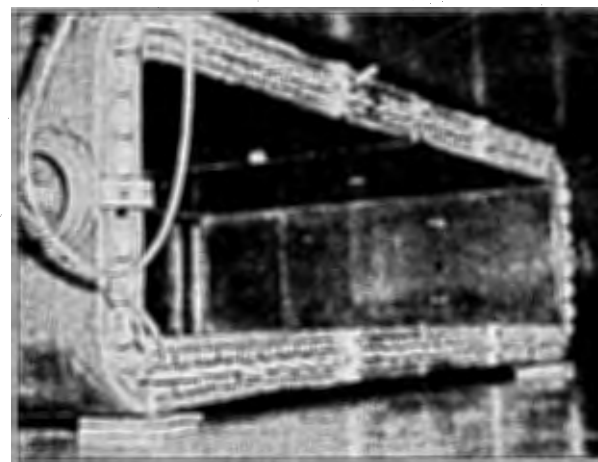


Рис. 4. Резонатор в камере синхрофазотрона.





Рис. 5. Автогенератор вместе с фидером у камеры синхрофазотрона.

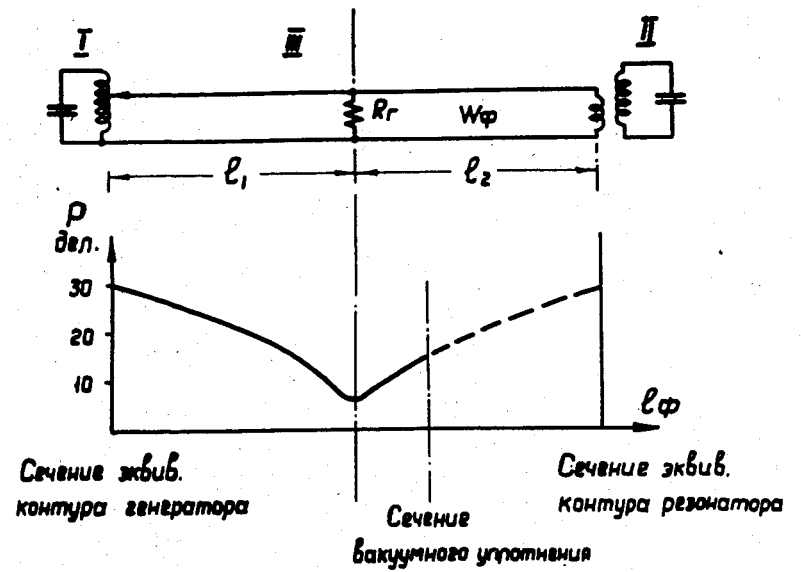


Рис. 6. Распределение мощности по фидеру.

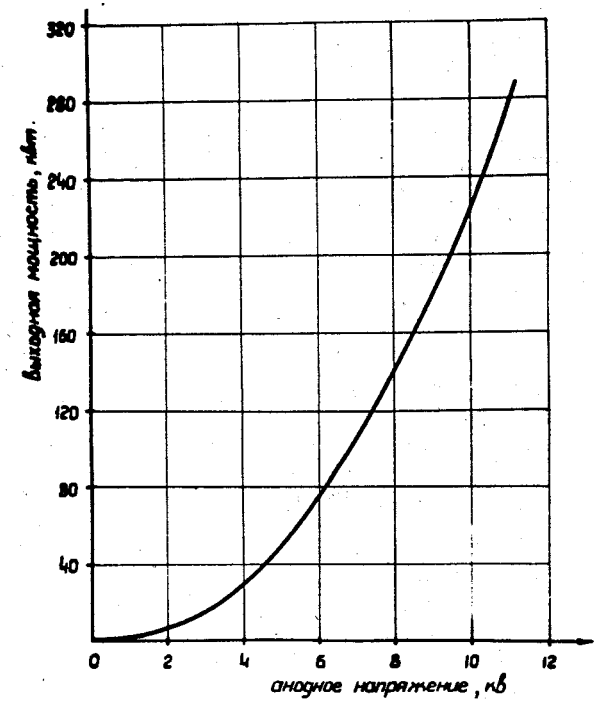


Рис. 7. Зависимость выходной мощности автогенератора от анодного напряжения.

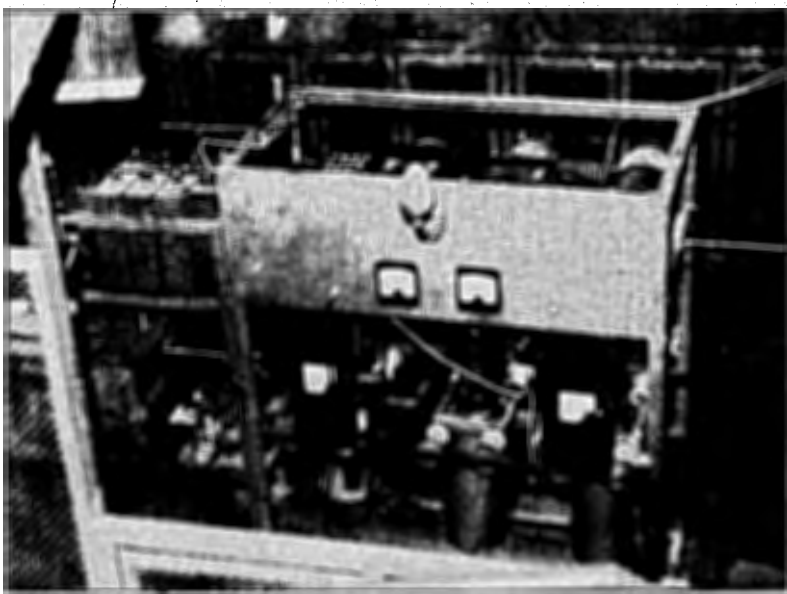


Рис. 8. Внешний вид модулятора.

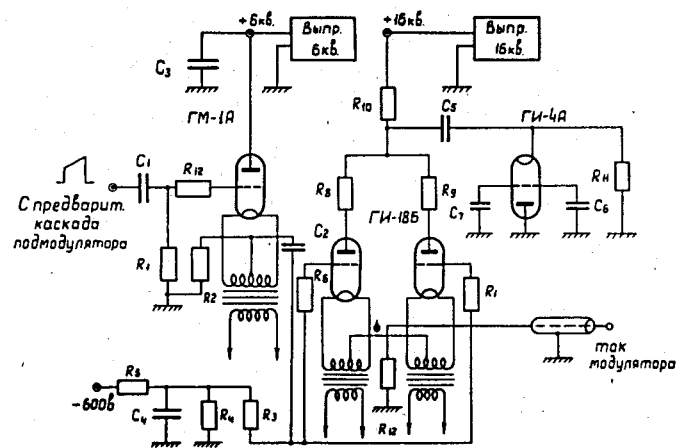


Рис. 9. Схема модулятора.

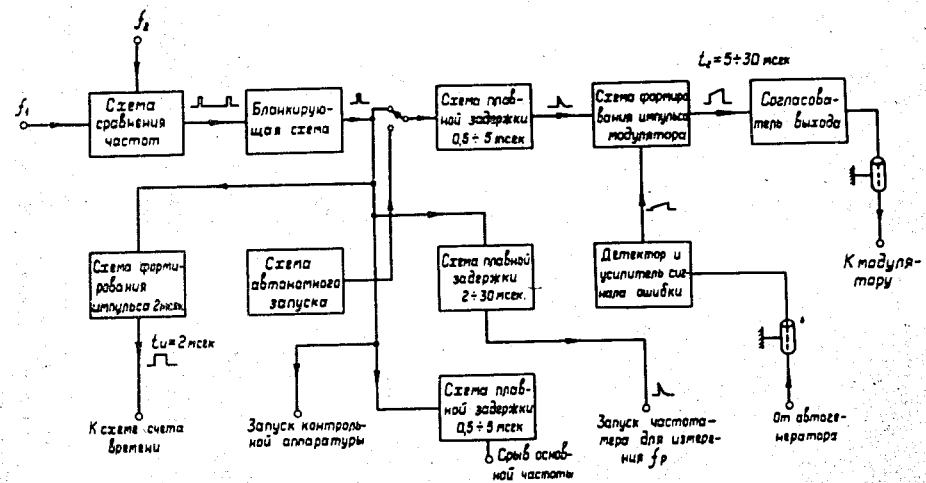


Рис. 10. Блок-схема запускающего устройства.

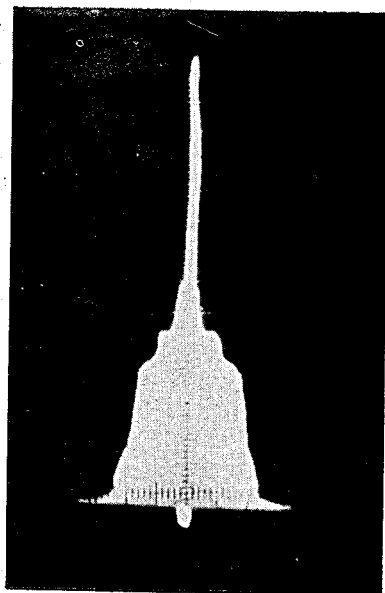
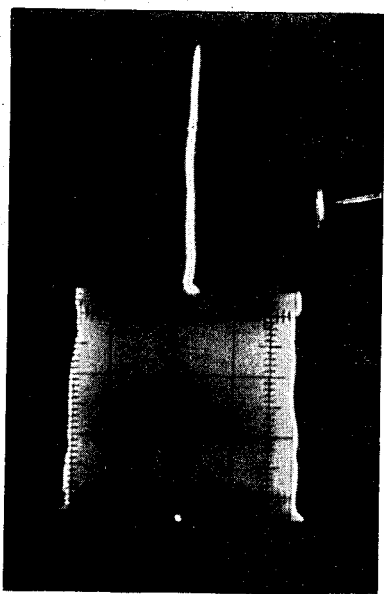
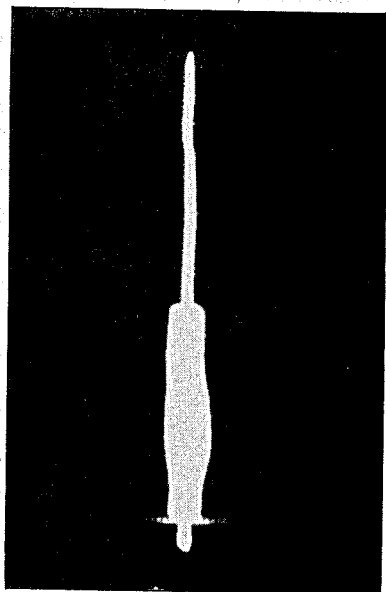
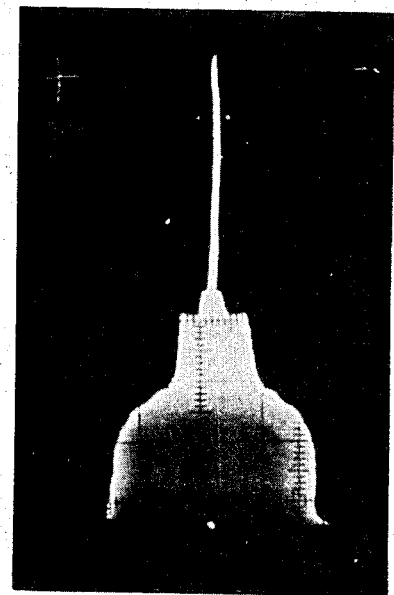


Рис. 11. Форма импульса в/ч напряжения в резонаторе при выходной мощности автогенератора  $P = 12,5$  квт.  
а)  $H = 0$ ; б)  $H = 8$  эрстед; в)  $H = 20$  эрстед  
г)  $H = 50$  эрстед.