

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА СИНХРОЦИКЛОТРОНА ФТИ АН СССР НА ЭНЕРГИЮ ПРОТОНОВ 1 ГЭВ

Н. К. АБРОСИМОВ, Д. Г. АЛХАЗОВ, С. П. ДМИТРИЕВ, А. В. КУЛИКОВ,
Г. Ф. МИХЕЕВ, Н. Н. ЧЕРНОВ

Физико-Технический институт им. А. Ф. Иоффе АН СССР

И. В. ГУСЕВ, Д. И. ЕГОРОВ, И. М. РОЙФЕ, Е. В. СЕРДЕНКО,
Е. П. ХАЛЬЧИЦКИЙ

*Научно-исследовательский институт электрофизической
аппаратуры им. Д. В. Ефремова*

Докладчик И. М. Ройфе

Высокочастотные системы крупных синхроциклотронов с энергией ускоряемых частиц близкой к величине 1 Гэв, которую принято считать предельной для этого типа ускорителей, имеют размеры дуанта и камеры соизмеримые с длинами волн рабочего диапазона. Эта особенность, наряду с требованием получения необходимого для ускорения протонов до энергии 1 Гэв перекрытия по частоте (от 28,9 Мгц до 13,9 Мгц), явилась определяющей при решении проблемы создания высокочастотной системы синхроциклотрона ФТИ АН СССР.

Рассматривая возможные схемы решения высокочастотной системы синхроциклотрона на энергию 1 Гэв, следует отметить, что большинство из них уже исследовались ранее при создании синхроциклотронов в Дубне [1, 2, 3], Беркли [4], ЦЕРНе [5] и других местах.

При разработке синхроциклотрона в Дубне [1] был проведен анализ возможных схем вариаторов [2] и учтены свойства дуанта как системы с распределенными параметрами в двух измерениях [3], так как следовало уже считаться с возможностью возникновения паразитных поперечных колебаний дуанта. Эта проблема играла существенную роль и при создании синхроциклотрона в Беркли [4], где была использована схема непосредственного подключения к дуанту двух вариаторов. Такая схема является, по-видимому, наиболее оптимальной для

синхроциклотронов с относительно высокой энергией ускоряемых протонов. Следует отметить также тенденцию к использованию возможности изменения зазора дуант-камера [5].

При построении высокочастотной системы синхроциклотрона ФТИ АН СССР мы стремились к осуществлению варианта с минимально возможными величинами коэффициента перекрытия по емкости вариатора

$$K_c = \frac{(C_{\text{вар}})_{\text{max}}}{(C_{\text{вар}})_{\text{min}}}$$

$$K_u = \left(\frac{U_v}{U_0} \right)_{\text{max}}, \quad \text{где } U_v \text{ — напряжение в емкостном зазоре вариатора,}$$

U_0 — ускоряющее напряжение.

Основным критерием выбора того или иного варианта было требование минимального значения произведения $K_c \times K_u$.

Была рассмотрена возможность приблизить систему дуант-камера по своим характеристикам к сосредоточенной емкости путем существенного изменения геометрии дуант-камера. Однако на примере сравнения простейших схем колебательной системы, составленной из сосредоточенных постоянных, и схемы, где дуант является системой с распределенными параметрами типа отрезка однородной линии, можно показать, что в одинаковых условиях при одинаковых значениях K_c в последней схеме величина K_u заметно меньше. Этот результат позволяет сделать вывод о преимуществе системы, использующей волновые свойства контура дуант-камера.

В синхроциклотроне ФТИ АН СССР была использована схема подключения двух вариаторов непосредственно к дуанту. Схема дуанта и подключения вариаторов приведена на рис. 1. В такой системе существенное значение имеет ширина и место подключения вариаторов, а также форма дуанта и зазора дуант-камера. При выборе параметров системы производилось варьирование этих факторов с целью получения наиболее оптимального варианта с наименьшим значением $K_c \times K_u$, а также с достаточным разнесением частот основного продольного и поперечных типов колебаний. Для удовлетворения этих требований была разработана новая схема вариатора, представленная на рис. 2.

Ротор вариатора имеет 6 лопастей и заземлен по высокой частоте через емкость $C_{\text{рз}}$ образованную пластинами ротора и заземленных статорных пакетов («земляные» пакеты), а также полицилиндрическими конденсаторами, служащими одновременно для защиты подшипников вариатора от высокочастотных токов.

Высоковольтные статорные пакеты разбиты на две группы: «дуантные» пакеты, образующие емкость C_1 и подключенные непосредственно к задней части дуанта, и «индуктивные» пакеты, образующие емкость C_2 и подключенные к задней части дуанта через индуктивные дуги L_1 и L_3 . Диаграмма изменения емкостей C_1 и C_2 , представлена на рис. 2б. Зазоры между пластинами ротора и дуантных и индуктивных пакетов составляют 7 мм.

Изменение частотной программы в верхней половине диапазона обеспечивается за счет изменения емкости C_1 . Для уменьшения эффективной начальной емкости вариатора и увеличения тем самым верхней граничной частоты рабочего диапазона используется индуктивность $L_1 + L_2$.

Изменение частотной программы в нижней половине диапазона обеспечивается за счет изменения емкости C_2 , которая вместе с индуктивностями L_1 и L_3 образует последовательную LC-цепочку, резонансная частота которой лежит несколько выше частотной программы, за счет чего эффективная емкость вариатора существенно увеличивается.

Необходимая форма кривой частотной программы обеспечивается за счет соответствующей формы пластин индуктивных пакетов.

В вариаторе предусмотрена возможность регулирования величины индуктивностей L_1 и L_3 , что позволяет в определенных пределах изменять граничные частоты рабочего диапазона и осуществлять симметрирование системы вдоль ускоряющей щели.

Основные частотные характеристики системы приведены на рис. 3.

При наладке высокочастотной системы синхроциклотрона ФТИ АН СССР особую проблему представляла задача подавления различных типов паразитных колебаний среди которых к наиболее опасным относятся:

1. Паразитные колебания, связанные с собственными резонансами ротора вариатора и совпадающие по частоте с основной частотной программой при определенных углах поворота вариатора.

2. Объемные колебания системы дуанта-камеры, находящиеся в пределах рабочего диапазона (~ 27 мгц).

3. Поперечные типы колебаний резонансной системы.

Разрывы основной программы, связанные с паразитными колебаниями вариаторов, были устранены путем соответствующего подбора формы и места установки земляных пакетов вариаторов. Вывести частоту объемных колебаний камеры за пределы рабочего диапазона не удалось, а разрывы частотной программы, вызванные этим типом паразитных колебаний, были ликвидированы путем тщательного симметрирования системы по вертикали с помощью подвижных плакировок, расположенных в задней части дуанта.

Что касается поперечных типов колебаний резонансной системы, находящихся в пределах рабочего диапазона, то их подавление потребовало создания соответствующей системы связи резонансной системы с высокочастотным генератором. Использована симметричная система связи, наиболее удобная для симметрирования системы вдоль ускоряющей щели (см. рис. 4). Фидер прямой связи выполнен в виде двух коаксиальных линий, имеющих волновое сопротивление 50 ом и соединяющих аноды генераторных ламп с правой и левой половиной дуанта, симметрично относительно его продольной оси. Напряжение обратной связи на катоды ламп подается через разветвляющийся Т-образный фидер обратной связи с индуктивных элементов обоих вариаторов. Для по-

лучения необходимых коэффициентов трансформации фидеров прямой и обратной связи и уменьшения фазовых сдвигов в фидере обратной связи к анодам и катодам генераторных ламп подключены специально разработанные безиндукционные сосредоточенные емкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Л. Минц, И. Х. Невяжский, Б. И. Поляков. Радиотехника и электроника, 1, 893, 1956.
2. Б. И. Поляков, Высокочастотная система фазотрона, диссертация, 1956.
3. А. Д. Власов, Радиотехника и электроника, 1, № 7, 1956.
4. Смит, Маккензи, Ридель, Кернз, Бейкейр, Парк, Торнтон, Электрические системы синхротрона на 740 Мэв лаборатории излучений Калифорнийского университета, Беркли, 1957 г.
5. MSC—23/.91, 1967, Private communication.

ДИСКУССИЯ

Залманзон: Имеется ли стабилизация питания генератора высокой частоты и какой тип ламп использован в генераторе, а также какова неравномерность ускоряющего напряжения в частотном диапазоне?

Ройфе: В схеме питания ГВЧ имеется система стабилизации анодного напряжения, но она не использовалась. В ГВЧ применены две лампы ГК-5А с максимальной мощностью 250 квт каждая. В рабочем диапазоне изменение ускоряющего напряжения не превышает 25%.

Джелепов: Какова допустимая асимметрия системы по вариаторам?

Ройфе: Асимметрия порядка 10% не ухудшала работы ускорителя.

Джелепов: Каково допустимое смещение дуанта по вертикали?

Ройфе: Используя регулируемые плакировки, можно допустить смещение дуанта по вертикали до 1 см.

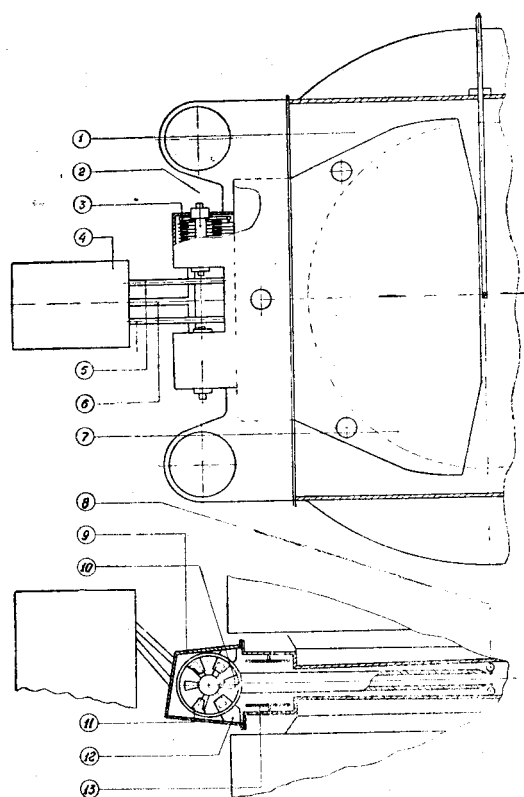


Рис. 1. Общий вид высокочастотной системы. 1—ускорительная камера, 2—ротор вариатора. 3—вариатор, 4—генератор, 5—фидеры прямой связи, 6—фидер обратной связи, 7—дуант, 8—ионный источник, 9—кожух вариатора, 10—дуантный пакет, 11—индуктивный пакет, 12—земляной пакет, 13—регулируемая плакировка.

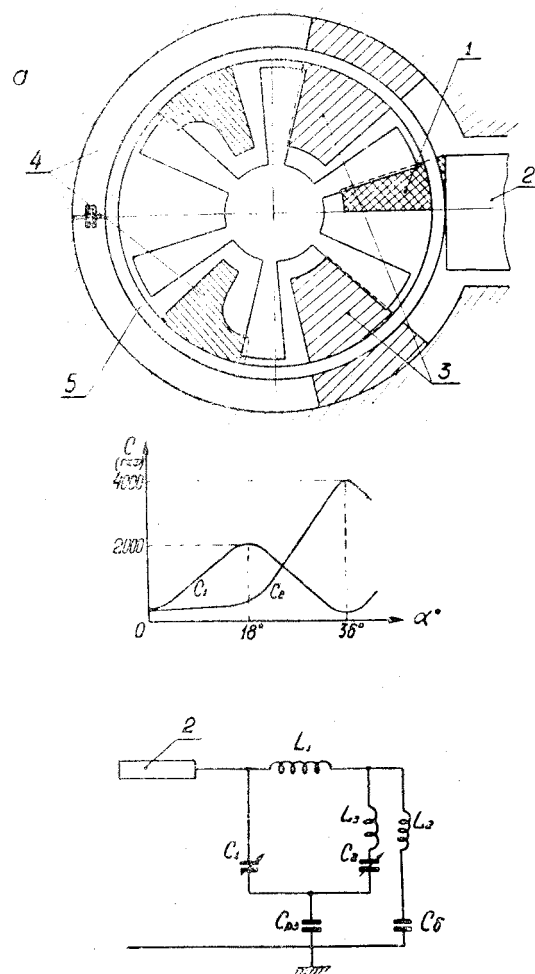


Рис. 2. Схема вариатора. а) конструктивная схема вариатора. 1—дуантный пакет, 2—дуант, 3—земляные пакеты, 4—индуктивные пакеты, 5—индуктивные дуги, в) диаграмма изменения емкости C_1 и C_2 в зависимости от угла поворота ротора вариатора. с) эквивалентная схема вариатора.

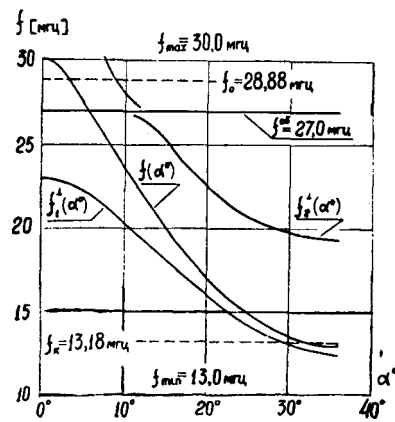


Рис. 3. Основные частотные характеристики высокочастотной системы в зависимости от угла поворота ротора. $f(\alpha^0)$ — основная частотная программа, $f_1'(\alpha^0)$ и $f_2'(\alpha^0)$ — частоты поперечных типов, колебаний f_0 — частота объемных колебаний камеры, f_0 и f_k — частоты, соответствующие началу и концу цикла ускорения

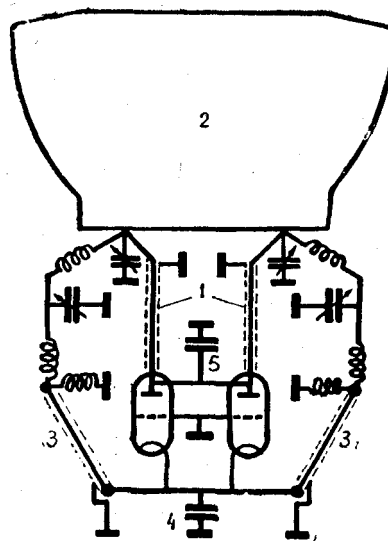


Рис. 4. Принципиальная схема системы связи. 1 — фидеры прямой связи, 2 — дуант, 3 — фидеры обратной связи, 4 — 5 — сосредоточенные емкости.