

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

P9-84-585

А.А.Глазов, Е.Н.Заплатин, Б.Н.Марченко,
В.А.Кочкин, Л.М.Онищенко

РЕЗОНАНСНАЯ СИСТЕМА УСТАНОВКИ "Ф"

1984

Ускоряющая высокочастотная система установки "Ф" /1/ представляет собой систему с распределенными параметрами, обладающую значительными поперечными размерами. Резонансная система ускорителя усложнена наличием ряда реактивных цепей, обусловленных ламповым блоком, устройством связи, а также элементами вариатора и дуанта. Все это приводит к обилию "паразитных" резонансных частот, которые могут оказаться в рабочем диапазоне или вблизи диапазона частот ускорителя.

Задача возбуждения ВЧ колебаний в резонансной системе связана с решением двух вопросов:

- во-первых, устранением влияния побочных "паразитных" колебаний на программу ускоряющего напряжения;
- во-вторых, трансформацией напряжения от лампы высокочастотного генератора к точке резонансной системы, пригодной для ее возбуждения, и, следовательно, трансформацией входного сопротивления системы к лампе генератора при помощи системы связи.

В оптимальном варианте амплитуда ускоряющего напряжения должна меняться по рабочему диапазону частот в соответствии с характером изменения рабочей частоты и магнитного поля ускорителя. Оптимальность изменения амплитуды ускоряющего напряжения по диапазону частот определяется максимальной интенсивностью ускоренных частиц при минимальной затрачиваемой мощности. Выбор устройства связи и необходимая мощность возбуждения определяются параметрами данной резонансной системы ускорителя.

В установке "Ф" использована прямоугольная в плане плоская полуволновая однородная линия с двумя вращающимися вариаторами частоты. Рабочий диапазон частот для ускорения протонов до энергии 700 МэВ в установке "Ф" $18,8 \div 14,41$ МГц, перекрытие по частоте $f_{\max}/f_{\min} = 1,26$. Схематично вид резонансной системы представлен на рис.1. Каркас дуанта изготовлен из нержавеющей стали, который обтянут 1,5 мм медной плакировкой. Медь дуанта охлаждается дистиллированной водой, ввод которой осуществляется через две индуктивности ввода, расположенные симметрично по обе стороны дуанта в местах наименьшего напряжения. Через эти же индуктивности подается напряжение смещения. В качестве опор дуанта используются три трубчатых керамических изолятора с воздушным охлаждением. Для увеличения жесткости конструкции по оси системы в промежуточной камере установлены три распорные колонны. В центре системы установлена водоохлаждаемая противодуантная рамка длиной 1 м. В однородной линии, образованной системой дуант-камера с размерами шириной 6 м, длиной 7,3 м и с постоянным зазором 78,5 мм /волновое сопротивление $Z_0 = 2,5$ Ом/, можно



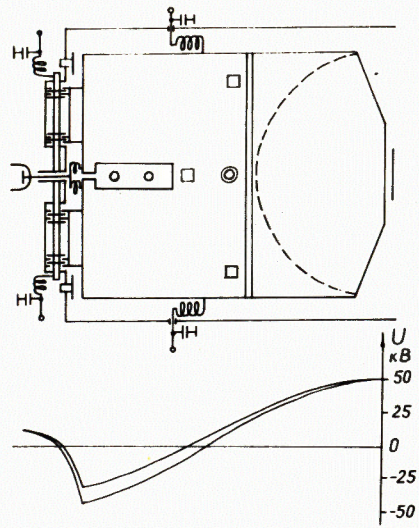
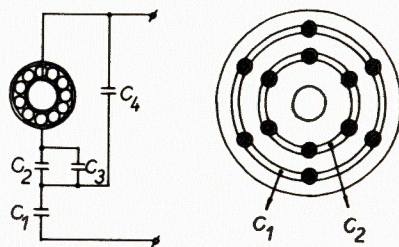


Рис.1. Высокочастотная система фазотрона и распределение напряжения рабочего колебания вдоль резонансной линии.

Рис.2. Эквивалентная схема конструкции опоры ротора вариатора.



возбудить частотный диапазон $18,84 \div 13,45$ МГц при изменении емкости вариаторов от 1000 до 6000 пФ. Вариаторы выполнены в виде конденсатора с вращающимся ротором, ось которого параллельна кромке дуанта. Ротор вариатора состоит из 59 дисков, каждый имеет по азимуту десять семиградусных лопаток. Расчет профиля статорных пластин базировался на предположении о линейном изменении емкости от угла поворота, что хорошо соответствует необходимому закону изменения частоты ^[2]. Предполагалось также линейное изменение рабочего зазора от 7 до 4 мм в зависимости от угла поворота ротора, что обеспечивает примерное постоянство напряженности электрического поля в вариаторе.

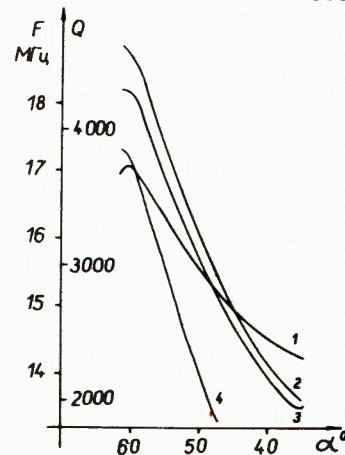
В качестве устройства, заземляющего ротор по высокой частоте, используется пластинчатый коллекторный конденсатор с угловой протяженностью пластин 284° . В этом случае в нем одновременно находятся 8 роторных лопаток каждого диска и при зазоре в коллекторном конденсаторе, равном 1,5 мм, его емкость составляет 32000 пФ. Эквивалентная схема конструкции опоры ротора вариатора ^[3] представлена на рис.2. Шарикоподшипник установлен внутри несущей обоймы, выполненной в виде трех колец, отделенных друг от друга цилиндрическими изоляторами из высокочастотной керамики. При необходимости уменьшения тока через подшипник вариатора предусмотрена возможность соединения среднего кольца с валом через полицилиндрический конденсатор, емкость которого во много раз превышает $C_2 + C_3$ между внутренним и средним кольцами. Измеренное напряжение на валу роторов вариатора установки "Ф" составляет всего 4% от ускоряющего напряжения, поэтому полицилиндрические конденсаторы, имеющие малые рабочие зазоры ~ 1 мм, не использовались.

2

Для создания в центральной части фазотрона циклотронных условий ускорения предусмотрена возможность получения на начальной стадии ускорения примерно постоянной частоты ускоряющего напряжения /максимум частотной программы/. Для этого на задней торцевой поверхности дуанта установлены симметрично относительно оси дуанта два плоских переменных конденсатора /триммера/.

Помимо рабочего колебания с синфазным напряжением на вариаторах в системе возможно поперечное паразитное колебание с противофазным напряжением на вариаторах. Измерения на макете показали, что частотная программа паразитной моды колебаний наиболее сильно зависит от угла поворота ротора и при частоте 17,6 МГц происходит пересечение основной и паразитной частотных программ. Для устранения этого в задней части дуанта был сделан продольный разрез специальной формы, параметры которого /длина и регулируемая конструктивная емкость на входе/ определяют частоту паразитного колебания.

Для измерения параметров высокочастотной ускоряющей системы в процессе наладки установки "Ф" был разработан ряд вспомогательных устройств. Для измерения распределения амплитуд высокочастотного напряжения были изготовлены емкостные делители с детектированием высокочастотного напряжения. Большой объем данных привел к необходимости использования полуавтоматического комплекса для измерения напряжения в 16 точках с помощью вольтметра, специально приспособленного для измерений на распределенной системе значительных размеров, с записью результатов на ленте с помощью ЦПУ при одновременной индикации на цифровом вольтметре. Одновременно записывались номер канала и частота. Для исследования динамического поведения системы использовался характеристикограф Х1-38. Привод вариатора при измерениях осуществляется от системы с шаговым двигателем. Минимальный шаг составлял $0,5$ градуса. Для измерения сопротивления в отдельных точках системы использовался импедансметр.



На рис.3 приведены основные результаты измерения частотных характеристик различных типов колебаний в зависимости от угла поворота вариатора. Частотная зависимость поперечного колебания измерена при зазоре

Рис.3. Зависимости добротности системы /1/, рабочей частоты без триммеров /2/ и с триммерами /3/ и поперечной моды колебания /4/ от угла поворота ротора вариатора.

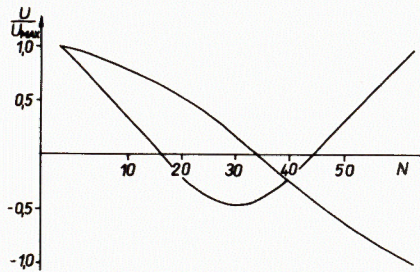


Рис.4. Распределения напряжения "паразитных" мод колебаний вдоль ротора вариатора.

в конденсаторе 6 мм. Кривая 3 характеризует влияние триммеров на основную частотную программу. Распределение напряжений рабочего колебания /для низшей и высшей частот диапазона/ вдоль оси высокочастотной системы фазотрона показано на рис.1.

В резонансной системе был обнаружен ряд "паразитных" контуров с частотами в рабочем диапазоне или вблизи него, которые приводили к местным уменьшениям ускоряющего напряжения в рабочей программе. Одно из паразитных колебаний, на частоте 19 МГц, было обусловлено резонансом в блокировочных конденсаторах дуантного ввода. Изменением в конструкции ввода удалось исключить его влияние.

При исследовании вариатора частоты были обнаружены колебания, имеющие соответственно частоты 16,69 и 7,93 МГц. Измерения с характеристикографом показали, что паразитные возбуждения соответствуют волновой и полуволновой модам колебаний низкоомной линии, образованной роторными и коллекторными пластинами вариатора. Распределение напряжения этих типов колебаний показано на рис.4. Для увеличения частоты λ -моды колебаний с тем, чтобы она оказалась выше верхней рабочей частоты, была уменьшена емкость коллекторного конденсатора в вариаторе. Полуволновая мода должна была при этом оставаться при частоте ниже нижней рабочей. Частоты увеличились соответственно до 22,6 МГц и 11,6 МГц. Распределения напряжения на вариаторе рабочего типа колебания для различных частот приведены на рис.5. Видно, что на правом роторе напряжение выше, чем на левом, но это превышение незначительное: от 2,5% на верхних частотах, до 7% на нижних.

Результаты исследования рабочего типа колебаний системы приведены на рис.6. Ускоряющее напряжение в диапазоне частот почти постоянно, спад напряжения вдоль ускоряющей кромки к краям дуантов находится в пределах /10 ÷ 15%. Превышение напряжения на вариаторах над ускоряющим на верхних частотах связано с относительно малой /1,4 м/ длиной подключения вариаторов к резонансной линии. На этом же рисунке представлены частотные зависимости напряжений на вариаторах, подшипниках и дросселях дуантных вводов. Поскольку в установке "Ф" горизонтальный ионный источник подходит к дуанту в центральной части на расстояние до 7 мм, создавая дополнительную емкость с дуанта на "землю", то происхо-

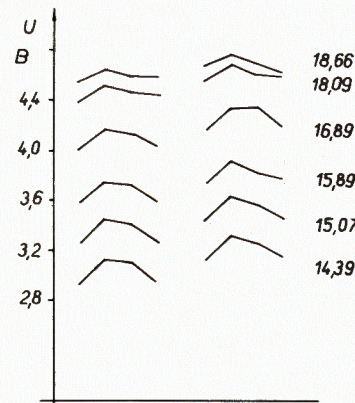
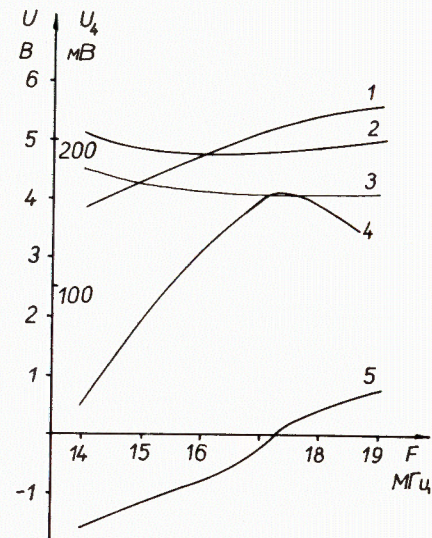


Рис.6. Частотные зависимости напряжений на вариаторах /1/, в центре /2/ и на краях ускоряющей кромки дуанта /3/, на подшипниках роторов /4/ и на дросселях ввода /5/.

Рис.5. Распределения напряжения на вариаторе рабочего типа колебания для различных частот.



дит перераспределение напряжения по дуанту: напряжение на вариаторах и на краях дуанта вырастает примерно на 7% при постоянном напряжении в центре ускорителя.

Среди различных способов измерения мощности потерь наиболее достоверным является способ с использованием рефлектометра. Возбуждающая линия согласуется с системой $R_{вх} = Z_0$ и измеряется входное и ускоряющее напряжение. При этом мощность потерь $P = [U_y (U_{вх} / U_d)]^2 / 2R_{вх}$, где U_y - предполагаемое ускоряющее напряжение $U_{вх} / U_y = 50$ кВ; U_d и $U_{вх}$ - измеренные напряжения на ускоряющей кромке и в точке возбуждения соответственно.

К сожалению, указанный метод дает завышенные значения мощности потерь, благодаря возмущающему воздействию измерительных устройств, причем ошибка тем больше, чем выше добротность системы. К тому же относительная ошибка расчетной формулы получается значительной из-за наличия степенных членов, что приводит к большим абсолютным величинам ошибки. Наиболее точно измеряемой характеристикой системы является добротность Q /рис.3/, а поскольку величина добротности высока, то можно с довольно хорошей степенью точности посчитать запасенную энергию системы. Поэтому наиболее достоверными являются результаты, полученные расчетно-экспериментальным путем, основанным на измерении добротности и расчете запасенной энергии системы, после чего по известной формуле находилась мощность потерь в рабочем диапазоне частот.

Таблица

f	МГц	18,8	18,18	17,0	16,0	14,41
P						
$d = 80$ мм	кВт	184	192	214	206	239
P						
$d = 60$ мм	кВт	245	256	285	274	318

В таблице приведены результаты, полученные таким путем. Следует также заметить, что зазор между дуантом и камерой не является постоянным в силу неточности исполнения плакировки, а в центре системы есть уменьшение его до $d = 30$ мм на площади полукруга с $R = 0,5$ м. Поэтому в таблице приведены значения мощности потерь, рассчитанные для двух зазоров 80 мм и 60 мм. Реальные же значения, по-видимому, находятся в диапазоне $P = /200 \div 250/$ кВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dzheleпов V.P. et al. IEEE on Nucl.Sci.NS-30, 1983, No 4, p. 2134.
2. Глазов А.А. и др. Труды II Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1972, т. 2, с. 168.
3. Перегуд В.И. и др. Труды V Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1977, т. 1, с. 166.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 августа 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 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.
D2-81-543	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.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 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.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.

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

Настоящий сборник продолжает новую рубрику "Сообщений ОИЯИ". Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно. В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют статус официальных публикаций ОИЯИ.

The present collection opens a new rubric of the JINR Communications entitled *JINR Rapid Communications*. The collection will be issued regularly and is intended for the accelerated publication of important new results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.
Theoretical physics.
Experimental techniques and methods.
Accelerators.
Cryogenics.
Computing mathematics and methods.
Solid state physics. Liquids.
Theory of condensed matter.
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of this new collection have the status of official publications of the JINR.



Глазов А.А. и др.

P9-84-585

Резонансная система установки "Ф"

Описывается работа по исследованию, наладке и подготовке системы к запуску ускорителя. Резонансная система сильноточного фазотрона ОИЯИ /установка "Ф"/ представляет собой прямоугольную в плане однородную длинную линию с размерами $6 \times 7,3 \times 0,785 \text{ м}^3$. Перестройка частоты осуществляется двумя емкостными вариаторами, включенными параллельно линии. Рабочий частотный диапазон системы для ускорения протонов до 700 МэВ $f = 18,18 \div 14,41 \text{ МГц}$. Мощность потерь составляет $200 \div 250 \text{ кВт}$, добротность 3500.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

Glazov A.A. et al.

P9-84-585

Resonance System of the "F" Facility

Investigation, tuning and preparation of a resonance system for launching of an accelerator is described. The resonance system of the JINR high current Fasotron ("F" Facility) is a rectangular transmission line with dimensions $6 \times 7,3 \times 0,785 \text{ м}^3$. The system is tuned by two rotating capacitors. In order to accelerate protons to the energy 700 MeV the frequency range of the system is $(18,18 \div 14,41) \text{ MHz}$. The lost power is $(200 \div 250) \text{ kW}$, quality factor 3500.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984