

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

A659

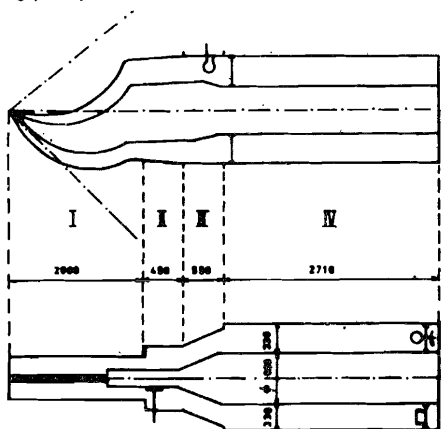
9-87-626

**А.М.Андрянов, Буй Бинь Тхуан, Г.Г.Гульбекян,
Э.Л.Иванов**

**СВЯЗЬ УСКОРЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ
ЦИКЛОТРОНА У-400М
С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ
И ПОДСТРОЙКА РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ**

1987

Принципиальная структура ускоряющей высокочастотной системы циклотрона У-400М представлена в работе /1/. Система состоит из четырех 45-градусных дуантов, расположенных в четырех долях циклотрона с максимальными напряжениями на дуантах до 200 кВ, в диапазоне частот 11,5-25 МГц. Расчет и оптимизация каждой из четырех таких неоднородных коаксиальных линий проводились с использованием программы "Line"/1/. Каждая из таких систем питается от отдельного ВЧ-генератора. Все системы ВЧ-питания должны быть сфазированы между собой для обеспечения синхронности ускорения /3/. На рис.1 представлена структура резонансной коаксиальной линии ускоряющей системы У-400М.



Для возбуждения ускоряющего резонатора рассматривалось 2 типа связи с фидером: индуктивная связь /петля возбуждения/ и емкостная связь.

Рис.1. Структура резонансной коаксиальной линии ускоряющей системы циклотрона У-400М.

ИНДУКТИВНАЯ СВЯЗЬ

Поскольку вся цилиндрическая часть системы используется для перестройки резонансной частоты путем перемещения закорачивающей пластины, то было решено разместить петлю возбуждения в переходном патрубке /III часть, рис.1/. Выбранное сечение определило из расчетов /1/ зависимость ВЧ-тока от частоты /рис.2/, а на рис.3 представлена расчетная зависимость рассеиваемой мощности в резонаторе.

Площадь петли связи вычисляется по формуле /2/:

$$S_{\text{св}} = \frac{\sqrt{2P_{\text{в}}}}{8\pi \cdot \omega \cdot I} (\Pi_{\text{внутр.}} + \Pi_{\text{внешн.}})$$

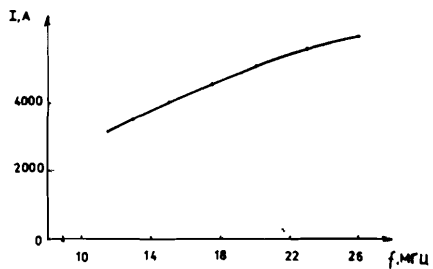


Рис.2. Зависимость ВЧ-тока в сечении III /рис.1/ от резонансной частоты.

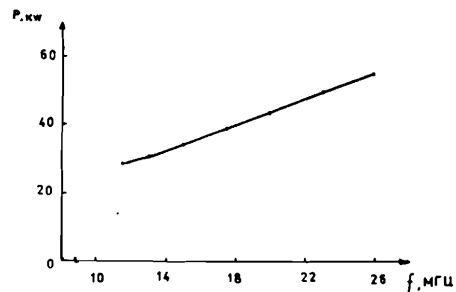


Рис.3. Зависимость рассеиваемой мощности в резонаторе от резонансной частоты.

где $P_{\text{внутр}}$ - периметр внутреннего проводника коаксиальной линии в данном сечении, $P_{\text{внешн}}$ - периметр внешнего проводника коаксиальной линии в данном сечении, W_{ϕ} - волновое сопротивление фидера, P - мощность, рассеиваемая в резонаторе, I - ВЧ-ток в данном сечении, ω - угловая частота резонатора, α - угол поворота петли.

На рис.4 представлена зависимость эффективной площади $S_{\text{cos}\alpha}$ от резонансной частоты для номинальной мощности /сплошная линия/ и мощности, увеличенной в 1,5 раза. В этом случае предлагалась компенсация емкостью индуктивности самой петли связи /рис.5/.

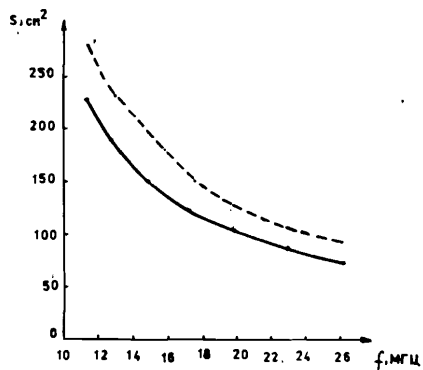


Рис.5. Зависимость емкости компенсации от резонансной частоты.

Рис.4. Зависимость эффективной площади петли связи $S_{\text{cos}\alpha}$ от частоты для номинальной мощности /сплошная линия/ и мощности, увеличенной в 1,5 раза /пунктир/.

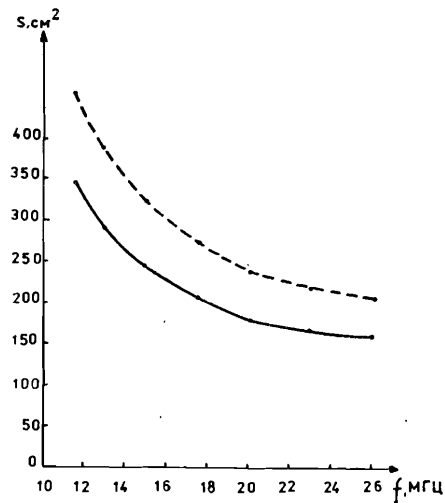
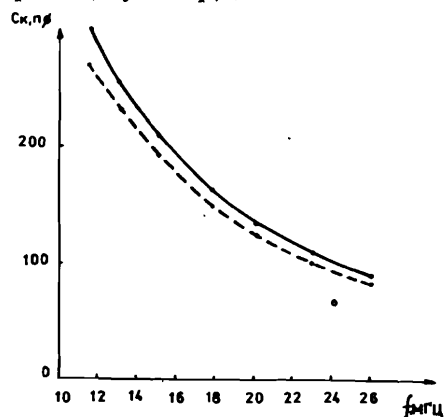


Рис.6. Зависимость эффективной площади петли связи $S_{\text{cos}\alpha}$ от резонансной частоты при компенсации индуктивности петли расстройкой резонатора для номинальной мощности /сплошная линия/ и мощности, увеличенной в 1,5 раза /пунктир/.

Рассмотрен также случай компенсации индуктивности петли связи расстройкой резонатора. При этом для обеспечения активной нагрузки фидера требуется некоторое увеличение эффективной площади петли, как представлено на рис.6.

ЕМКОСТНАЯ СВЯЗЬ

Был также проведен расчет емкостной связи фидера с нагрузкой. При этом емкость располагалась между полюсом магнита и переходным патрубком, как показано на рис.1 /часть II/. Зависимость напряжения на дуанте в данном сечении от резонансной частоты представлена на рис.7.

Увеличение потребляемой мощности и уменьшение напряжения на дуанте в данном сечении с повышением частоты приводит к тому, что величина необходимой емкости связи слабо зависит от частоты, как показано на рис.8, так что можно использовать неперестраиваемую емкость связи. Это удобно в эксплуатации.

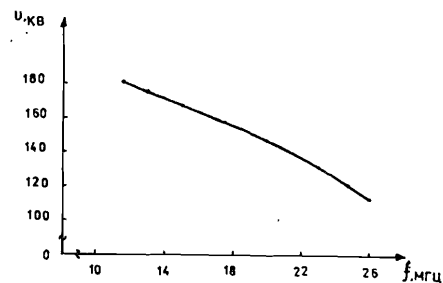


Рис.7. Зависимость напряжения на дуанте в сечении II /рис.1/ от резонансной частоты.

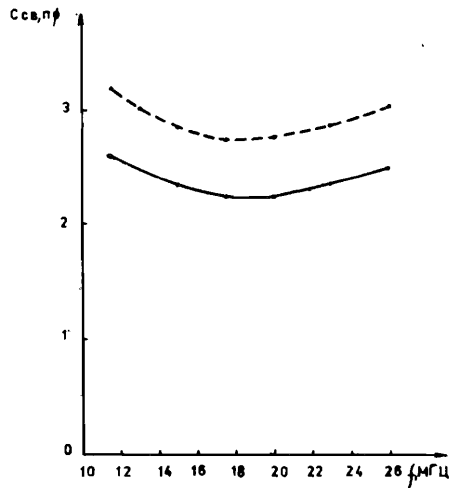


Рис.8. Зависимость емкости связи от частоты для номинальной мощности /сплошная линия/ и мощности, увеличенной в 1,5 раза /пунктир/.

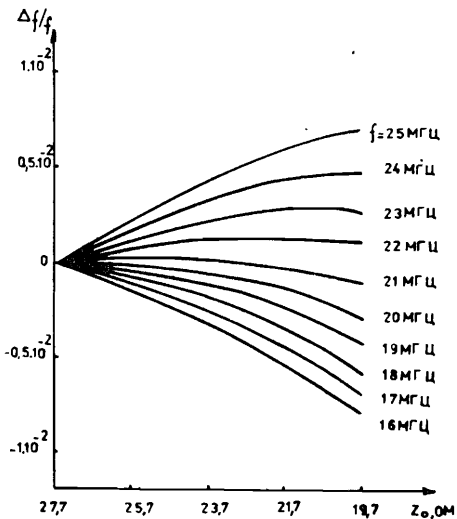


Рис.9. Зависимость изменений резонансной частоты ускоряющей структуры У-400М от изменения триммером волнового сопротивления участка II /рис.1/.

ПОДСТРОЙКА РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ

Нестабильность резонансной частоты ускоряющей системы и повторяемость настройки определяются:

а/ температурной нестабильностью конструкции резонансной системы вследствие изменения температуры охлаждающей воды на 10°C . Нестабильность частоты по этой причине может составлять величину около $5 \cdot 10^{-4}$;

б/ неповторяемостью установки внутреннего электрода /дуанта/, которая может вызывать неповторяемость установки частоты также на уровне $5 \cdot 10^{-4}$;

в/ неповторяемостью установки и деформацией основного элемента настройки - закорачивающей пластины, приводящей к неповторяемости установки частоты на уровне $2 \cdot 10^{-3}$.

Таким образом, неточность установки резонансной частоты при ее настройке находится на уровне $3 \cdot 10^{-3}$, что должно быть скомпенсировано элементами подстройки - триммерами. Использование для этих целей изменения волнового сопротивления триммером в переходной части II линии между дуантом и цилиндрической частью неэффективно, так как при изменении положения закорачивающей пластины, т.е. при изменении частоты, харак-

тер действия триммера меняется с емкостного на индуктивный, так что при частоте около 22 МГц триммер не действует, как показано на рис.9. Это подтверждается расчетами по программе "Line" и опытами на модели резонансной системы У-400М.

Наиболее оптимальным являлось бы использование изменения объема индуктивной части линии, т.е. использование в качестве триммера части закорачивающей пластины. Таким образом, если площадь триммера составляет 1/10 от площади закорачивающей пластины, то его ход должен составлять 10-15 см для перекрытия общей нестабильности и неповторяемости частоты резонатора. Поскольку добротность резонансной линии циклотрона У-400М достигает величины 10000, а ширина резонансной полосы 10^{-4} , то точность установки триммера 0,3 мм обеспечит настройку с фазовым сдвигом не хуже 10° , что достаточно для режима грубой оперативной настройки. Это обеспечивает точность частотной настройки на уровне 10^{-5} . Система тонкой настройки частоты резонатора должна обеспечивать фазовую точность не хуже 1° , что требуется для оптимального режима ускорения, при полном фазовом угле не менее 10° для обеспечения перехвата диапазона грубого триммера. Это означает обеспечение частотной точности на уровне 10^{-6} . С этой целью были проведены расчеты такой частотной и фазовой тонкой настройки с помощью поворотной короткозамкнутой петли. На рис.10 приведена зависимость относительной частотной расстройки такой прямоугольной петли площадью $200 \times 250 \text{ мм}^2$ и диаметром проводника 20 мм, смонтированной на закорачивающей пластине. В исходном положении петля располагается под углом 45° к линиям магнитного поля для обеспечения симметрии настройки и в диапазоне частот 11,5-25 МГц она обеспечивает диапазон подстройки $4-12/x \times 10^{-4}$ при повороте на 90° . На рис.11 представлена фазовая характеристика настройки с помощью такой петли, из которого видно, что для обеспечения фазовой настройки с точностью

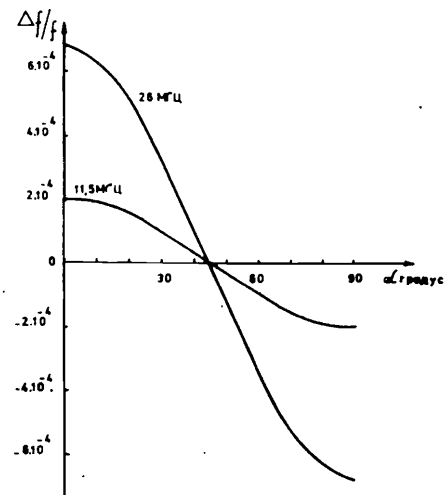


Рис.10. Зависимость относительной частотной расстройки короткозамкнутой петли от ее угла поворота.

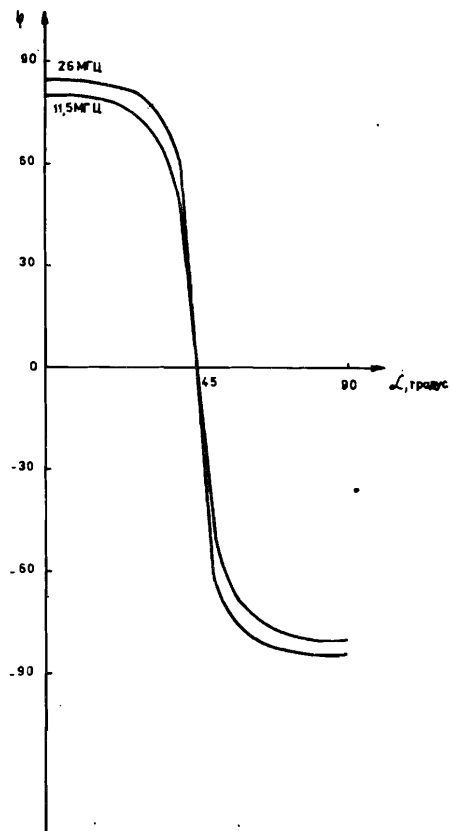
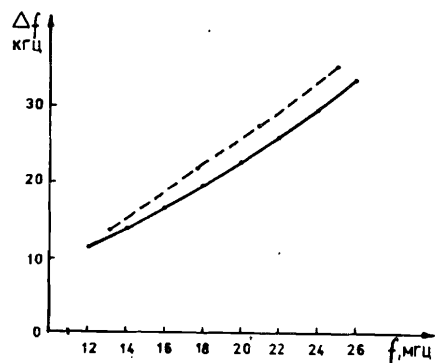


Рис.11. Фазовая характеристика настройки системы с помощью короткозамкнутой петли.

Рис.12. Экспериментальная /пунктир/ и расчетная /сплошная линия/ зависимости расстройки от частоты модельного резонатора с помощью короткозамкнутой поворотной петли.



1° требуемая точность установки углового положения петли составляет $0,1^\circ$, что вполне

реализуемо с применением привода на основе шагового двигателя. При угле установки петли 30° или 60° необходимая угловая точность составляет уже около 1° .

Увеличение диаметра проводника петли с 20 до 40 мм в 1,5 раза увеличивает частотный диапазон подстройки.

Проверка подстройки частоты резонатора с помощью поворотной короткозамкнутой петли была проведена экспериментально на модельном перестраиваемом емкостью четвертьволновом коаксиальном резонаторе. Экспериментальная и расчетная зависимости от частоты расстройки такого резонатора в диапазоне частот 12-26 МГц короткозамкнутой петлей представлены на рис.12, из которого можно сделать вывод о достоверности проводимых расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гульбекян Г.Г., Иванов Э.Л. ОИЯИ, 9-87-495, Дубна, 1987.
2. Проектирование радиопередающих устройств СВЧ под редакцией Г.М.Уткина. М. "Советское радио", 1979.

3. Bieth C. et al. GANIL, BP 5027-14021, Caen, France.
4. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники, М., "Советское радио", 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 августа 1987 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

| Индекс | Тематика |
|--------|--|
| 1. | Экспериментальная физика высоких энергий |
| 2. | Теоретическая физика высоких энергий |
| 3. | Экспериментальная нейтронная физика |
| 4. | Теоретическая физика низких энергий |
| 5. | Математика |
| 6. | Ядерная спектроскопия и радиохимия |
| 7. | Физика тяжелых ионов |
| 8. | Криогеника |
| 9. | Ускорители |
| 10. | Автоматизация обработки экспериментальных данных |
| 11. | Вычислительная математика и техника |
| 12. | Химия |
| 13. | Техника физического эксперимента |
| 14. | Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами |
| 15. | Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях |
| 16. | Дозиметрия и физика защиты |
| 17. | Теория конденсированного состояния |
| 18. | Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники |
| 19. | Биофизика |

Андриянов А.М. и др.

9-87-626

Связь ускоряющей системы циклотрона У-400М с высокочастотным генератором и подстройка резонансной частоты

В первой части работы приводятся результаты расчетного исследования индуктивной и емкостной связи ускоряющей системы циклотрона У-400М с высокочастотным генератором. Во второй части приводятся результаты экспериментального и расчетного исследования подстройки резонансной частоты ускоряющей системы циклотрона У-400М с помощью поворотной короткозамкнутой петли.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Andrianov A.M. et al.

9-87-626

Link with High Frequency Generator and Tuning of Resonance Frequency of U-400M Cyclotron Accelerating System

The first part of the present paper contains the results of calculations of inductive and capacity link of the U-400M cyclotron accelerating system with a high frequency generator. The second part contains the results of both experimental and theoretical investigations of the frequency turning of the U-400M cyclotron accelerating system using the tuning short coupling loop.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987