

C 345e5

E-645

29/x-70

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

9-5233



И.Б. Енчевич, В.М. Иванов, Ю.В. Максимов,
Б.Н. Марченко, Т.Н. Томилина

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

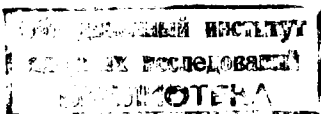
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ СХЕМ
АМПЛИТУДНОЙ КОРРЕКЦИИ

1970

9-5233

И.Б. Енчевич, В.М. Иванов, Ю.В. Максимов,
Б.Н. Марченко, Т.Н. Томилина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ СХЕМ
АМПЛИТУДНОЙ КОРРЕКЦИИ.



В в е д е н и е

Коррекция амплитудно-частотной характеристики в.ч. системы синхротрона для получения оптимального закона /1/ изменения напряжения в течение цикла ускорения производится перераспределением амплитуд ускоряющего напряжения по частотам. Практически она осуществляется понижением излишне больших амплитуд ускоряющего напряжения и повышением амплитуд в "провалах" амплитудно-частотной характеристики.

Схемы, использованные в работах /1,2/, были предназначены для локального изменения амплитуды ускоряющего напряжения в узком интервале времени. Поэтому при использовании этих схем для формирования импульсов коррекции большой длительности нельзя было осуществить регулировку амплитуд импульсов в необходимых пределах во всем диапазоне частот в.ч. генератора.

Приближение АЧХ к оптимальной может быть достигнуто различными способами в зависимости от поставленной задачи:

1. Если необходимо уменьшить фазовые потери ускоряемых частиц, определяемые неоптимальностью АЧХ, которые создаются на радиусах, соответствующих участкам АЧХ с пониженной амплитудой, и не ставится вопрос об уменьшении мощности, потребляемой в.ч. системой, то для синхротрона ОИЯИ, в котором применен в.ч. автогенератор с сеточным манипулятором, достаточно использовать корректирующее устройство, создающее дополнительное возбуждение генератора на частотах с пониженной амплитудой.

Таким требованиям на данном этапе работы должна отвечать эксплуатационная схема коррекции, которую желательно собирать из элементов с таким же сроком службы как манипулятор и в.ч. генератор.

2. Если основной задачей, кроме уменьшения фазовых потерь, является понижение мощности, потребляемой в.ч. системой, без понижения интенсивности пучка ускоряемых частиц, то целесообразно применить отрицательную обратную связь с использованием в качестве корректирующего сигнала огибающей в.ч. ускоряющего напряжения.

3. Если же основной задачей является создание устройства, позволяющего производить исследование процесса ускорения частиц в синхроциклотроне и влияния фазовых потерь на различных радиусах на форму, интенсивность и длительность импульса тока ускоряемых частиц, то в этом случае основные требования будут предъявляться к точности отсчета времени задержки и измерению амплитуды и длительности модулирующих импульсов как положительной, так и отрицательной полярности, а также амплитуды в.ч. напряжения.

4. Одной из задач при использовании эффективности коррекции АЧХ является определение границ применимости метода коррекции. Дело в том, что при подаче положительного смещения на сетку автогенератора увеличивается амплитуда ускоряющего напряжения, но одновременно, благодаря положительной обратной связи, увеличивается и автоматическое смещение на сетке в.ч. генератора, что уменьшает эффект коррекции.

Данная работа посвящена решению этих задач. Была также рассмотрена дополнительная задача, возникшая в связи с переводом схемы сеточного манипулятора с тиратронов ^{1/3/} на тиристоры.

1. Влияние подключения корректирующего устройства к тиристорному манипулятору

Уменьшение фазовых потерь ^{1/1/} путем коррекции АЧХ в.ч. системы синхроциклотрона, так же как и снятие оптимальной АЧХ ^{1/2/}, производилось при работе ускорителя с тиратронными манипуляторами ^{1/3/}. Коррекция АЧХ при помощи положительных импульсов производилась при работе

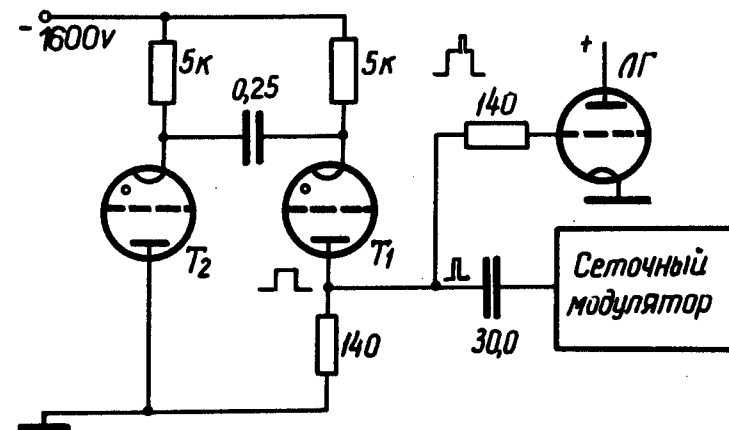


Рис. 1.

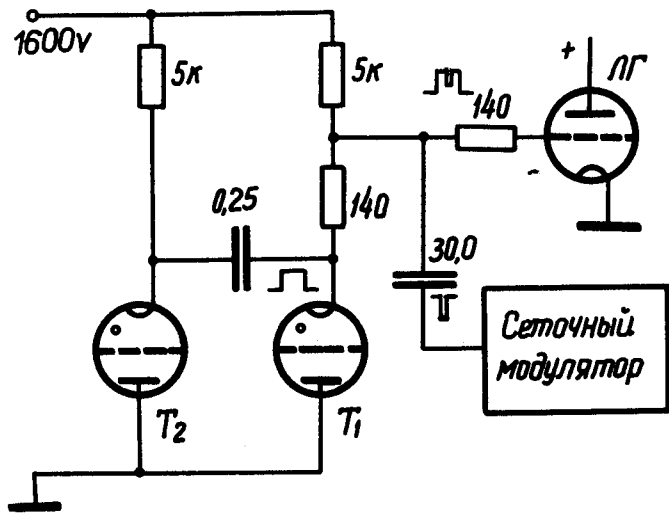


Рис. 2.

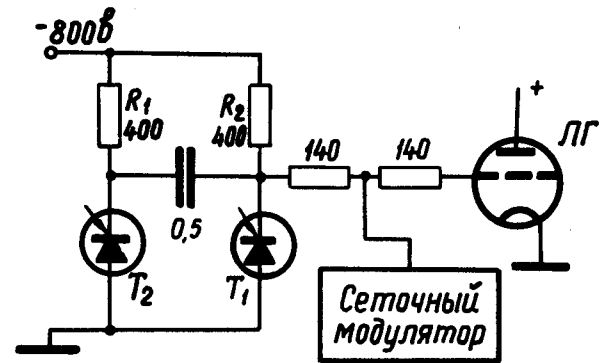


Рис. 3.

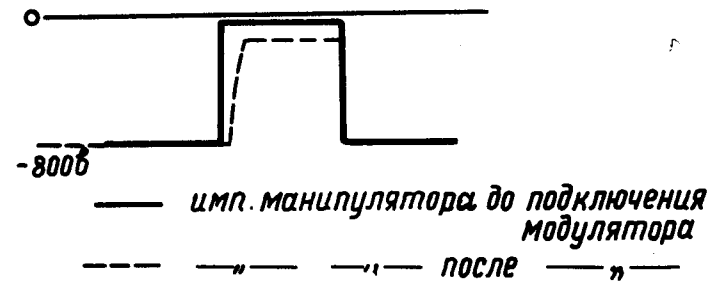


Рис. 4.

с манипулятором, собранным по схеме, изображенной на рис. 1, а снятие оптимальной АЧХ при помощи отрицательных модулирующих импульсов производилось с манипулятором, работающим по схеме, показанной на рис. 2.

После перевода манипуляторов с тиратронов на тиристоры ¹⁴ оба манипулятора были собраны по схеме, изображенной на рис. 3. Подключение сеточного модулятора к тиристорному приводило к искажению формы манипулирующего импульса (рис. 4) и неустойчивому возбуждению генератора на высоких частотах.

В связи с этим для работы с коррекцией АЧХ при помощи положительных импульсов схема манипулятора была переделана так, как это показано на рис. 5.

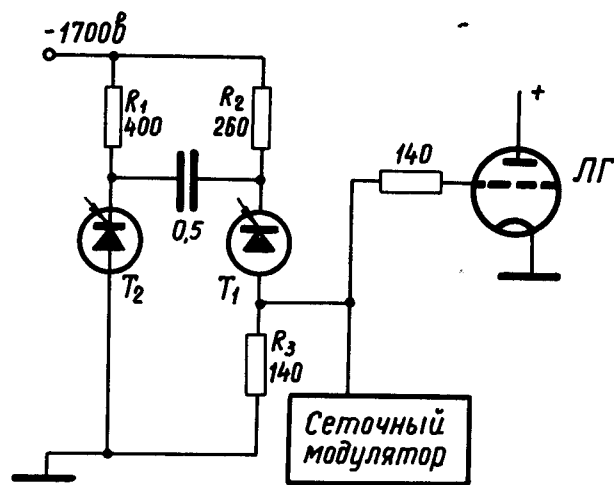


Рис. 5.

После такой переделки подключение сеточного модулятора перестало практически влиять на передний фронт манипулирующего импульса и в.ч. генератор стал устойчиво возбуждаться на верхних частотах.

Влияние подключения сеточного модулятора на форму манипулирующего импульса можно, по-видимому, объяснить изменением постоянной времени манипулятора (рис. 3), когда проводящий тиристор использует-

ся для замыкания гридливой цепи генератора. В схеме же, изображенной на рис. 5, гридликовая цепь генератора постоянно замкнута, и запирание генератора осуществляется падением напряжения на сопротивлении

R_3 в проводящем состоянии тиристора T_1 . Когда тиристор T_1 заперт (состояние генерации), выходная цепь сеточного модулятора не влияет на форму манипулирующего импульса.

Однако величина амплитуды модулирующего импульса влияет на устойчивость манипулятора из-за связи через управляющий электрод. Увеличение амплитуды модулирующего импульса выше 500 в приводит к переключению манипулятора не от очередного управляющего, а от модулирующего импульса.

По-видимому, вопрос о каналах проникновения импульса коррекции на управляющий электрод требует дополнительного исследования. Необходимо свести это влияние до минимума, тогда станет возможным повышение амплитуды импульса коррекции до величины, определяемой прекращением повышения интенсивности.

II. Схемные решения

Как уже указывалось в работе ¹², при использовании для коррекции АЧХ П-образных импульсов длительностью в 1-2 мсек оказалось, что экспериментальная схема с выходным каскадом на двух параллельно включенных лампах ГУ-80 не позволяет в достаточных пределах менять амплитуду корректирующих импульсов, если требуется формировать импульсы длительностью в 1-2 мсек. Параллельное включение ламп требует дополнительного симметрирования схемы. В связи с тем, что тиристоры обладают значительно большим сроком службы, чем тиратроны, ранее используемые в манипуляторах, оказалось целесообразным эксплуатационную схему коррекции с использованием положительных импульсов сделать также на тиристорах. Поэтому для надежного эксплуатационного варианта корректирующего устройства была выбрана схема триггера с несимметричной нагрузкой плеч (рис. 6) на тиристорах ВКДУ-10 с напряжением

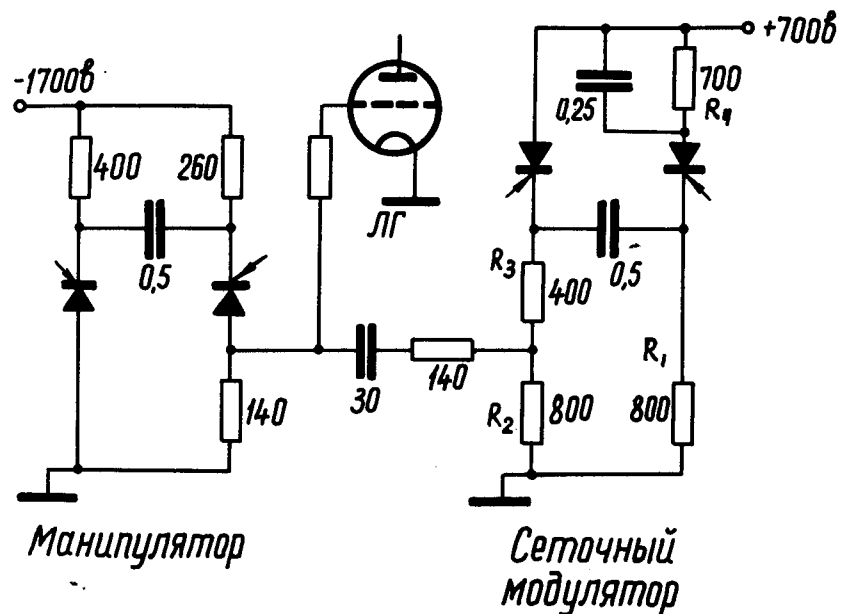


Рис. 6.

питания 700 в. Импульс коррекции, амплитуда которого пропорциональна отношению сопротивлений R_2 и R_3 , снимается с сопротивления R_3 . Длительность корректирующего импульса определяется интервалом времени между двумя соседними импульсами, поступающими на управляющие электроды тиристоров в разных плечах триггера.

Управляющие импульсы формируются в отдельном блоке, схема формирования управляющих импульсов предусматривает регулируемую временную задержку для каждого из четырех управляющих импульсов, из которых формируются два импульса коррекции. Такая регулировка позволяет перемещать во времени относительно начала цикла ускорения передний и задний фронты каждого из корректирующих импульсов.

III. Эксперимент

Проводилось осциллографирование импульса, подаваемого на управляющий электрод для запуска тиристора и импульса коррекции. Осциллограф подключался между управляющим электродом и землей.

Было исследовано два режима работы манипулятора совместно с модулятором, выдающим положительные импульсы коррекции: устойчивый режим и неустойчивый. Осциллограммы 1, 2 и 3 соответствуют устойчивому режиму работы. На осциллограммах 4, 5 и 6 зафиксирован неустойчивый режим работы манипулятора после подключения к нему сеточного модулятора.

Запускающие импульсы, подаваемые на управляющий электрод одного плеча тиристорного манипулятора, идентичны для устойчивого и неустойчивого режимов. Осциллографирование производилось при отключенном напряжении питания манипулятора и без импульсов коррекции. Амплитуды управляющего импульса 2,5 - 0,3 в, полярность - положительная (рис. 7-10).

Осциллограммы рис. 8-11 показывают форму сигнала между управляющим электродом и землей после подачи корректирующего импульса сеточного модулятора на сопротивление R_3 (рис. 5). Наведенная амплитуда корректирующего импульса на управляющем электроде при устойчивой работе всей системы равна 6в, а в неустойчивом режиме - 11в при такой же амплитуде управляющего импульса 3в.

Рис. 7а.

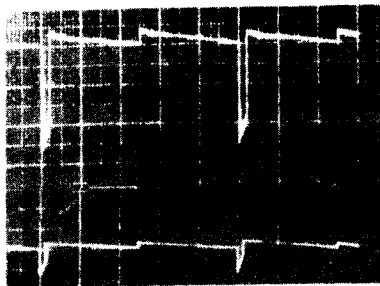


Рис. 7б.

На рис. 7 и 10 представлены осциллограммы управляющих импульсов, приходящих на одно плечо триггера до включения схемы коррекции. Перепад напряжения в середине осциллограммы соответствует моменту подачи управляющего импульса на другое плечо триггера.

Рис. 10а.

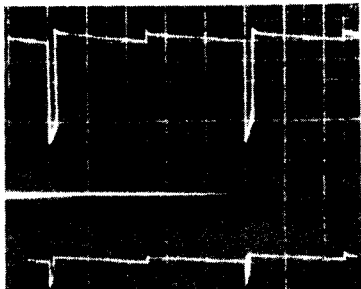
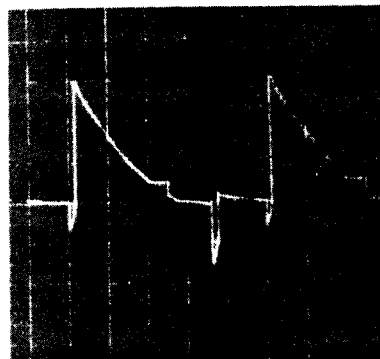


Рис. 10б.

Рис. 8.



На рис. 8 и 11 изображена форма сигнала между управляющим электродом и землей после включения схемы коррекции (сеточного модулятора).

Рис. 11.

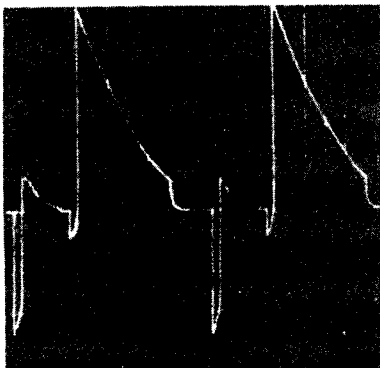
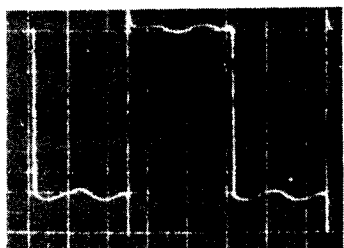
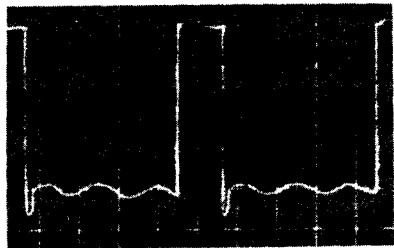


Рис. 9.



На рис. 9 и 12 дана форма манипулирующего импульса, управляющего вч генератором.

Рис. 12.



Масштаб по горизонтали для всех осциллограмм - 1 мсек/см. Масштаб по вертикали для рис. 7а и 10а - 1 в/см, для рис. 7б, 8, 10б и 11 - 5 в/см, для рис. 9 и 12 - 300 в/см.

По-видимому, наличие на управляющем электроде наведенного корректирующего импульса с амплитудой больше 6в и той же полярностью, что и запускающий импульс, приводит к запуску тиристора от импульса коррекции. Наведенный на управляющий электрод импульс коррекции с амплитудой больше 6в получается при амплитуде рабочего импульса коррекции на сопротивлении R_3 больше 500 в.

В дальнейшем необходимо исследовать причины возникновения наведенного импульса коррекции в цепи управляющего электрода и принять меры для их устранения.

В неустойчивом режиме (рис. 12) манипулятор запирает вч генератор вместо отключающего импульса пришедшим ранее импульсом коррекции, наведенным на управляющий электрод.

IV. Различная форма корректирующего напряжения

В^{1,2/} при снятии оптимальной амплитудно-частотной характеристики и при коррекции провалов в амплитуде на отдельных частотах рабочей части диапазона использовались прямоугольные импульсы переменной длительности положительной и отрицательной полярности.

На рис. 13 приведены две амплитудно-частотные характеристики (рис. 1 работы^{1/}) - рабочая и оптимальная, из сравнения которых видно, что для формирования оптимальной характеристики, позволяющей повысить интенсивность ускорителя при неизменной мощности, потребляемой в.ч.

системой, целесообразно форму модулирующего напряжения возможно больше приблизить к разности амплитуд между оптимальной и рабочей характеристиками.

В^{1/} для формирования оптимальной характеристики, дающей повышение интенсивности, авторы использовали четыре импульса прямоугольной формы - два положительных для поднятия амплитуд в месте провалов и два отрицательных для уменьшения излишне больших амплитуд. Однако прямоугольные импульсы длительностью 1-2 мсек существенно искажаются переходными ёмкостями, а комбинация положительных и отрицательных импульсов еще усугубляет эти искажения, поэтому, по-видимому, более целесообразно для коррекции амплитуды ускоряющего напряжения использовать подстроечные цепи отрицательной и положительной обратной связи, существующие в схеме генератора ускоряющего напряжения.

Такая коррекция амплитуды в.ч. генератора осуществлена и результаты ее иллюстрируются рис. 14, где сплошной линией изображена АЧХ после коррекции при помощи обратной связи, а пунктирной линией - оптимальная АЧХ; минимальная амплитуда ускоряющего напряжения равна 13,2+13,3 кв и соответствует частоте 15,2+15,3 мгц. Из сравнения характеристик, изображенных на рис. 13 и 14, видно, что после коррекции минимальная амплитуда ускоряющего напряжения увеличилась на 2 кв (частота та же), что соответствует увеличению интенсивности на 12+15%.

После коррекции АЧХ при помощи цепей обратной связи положительные корректирующие импульсы оказались малоэффективными, т.к. АЧХ (рис. 14) стала значительно ближе к оптимальной, чем была до коррекции (рис. 13). Поэтому использование сложной схемы управления импульсами коррекции для непрерывной эксплуатации стало нецелесообразным.

У. Исследование процесса ускорения

После того как будет закончено создание аппаратуры, позволяющей с достаточной точностью регулировать время задержки от начала цикла ускорения, станет возможным исследовать процесс ускорения частиц, а именно:

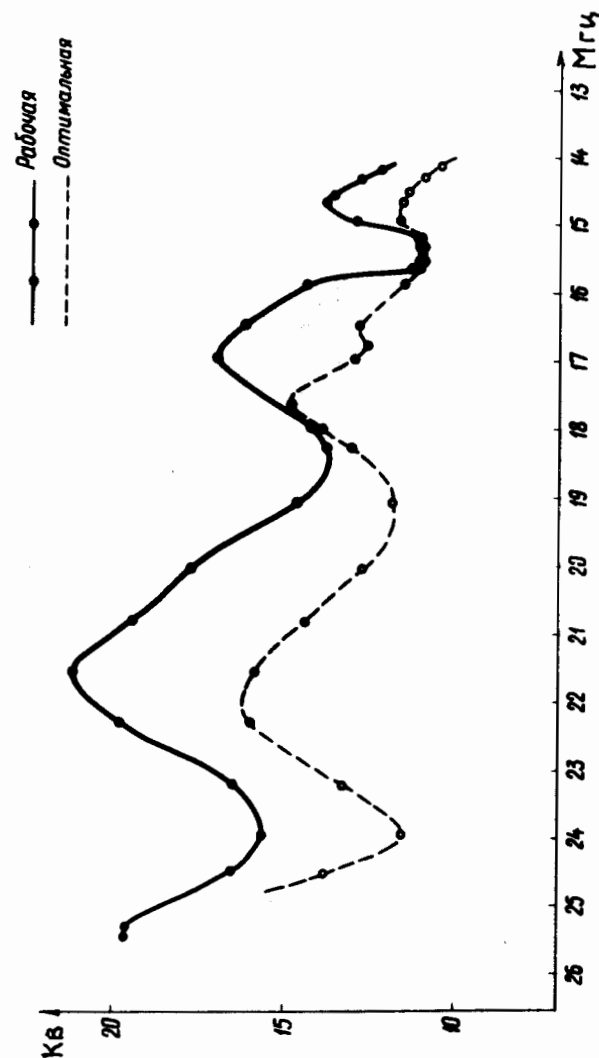


Рис. 13

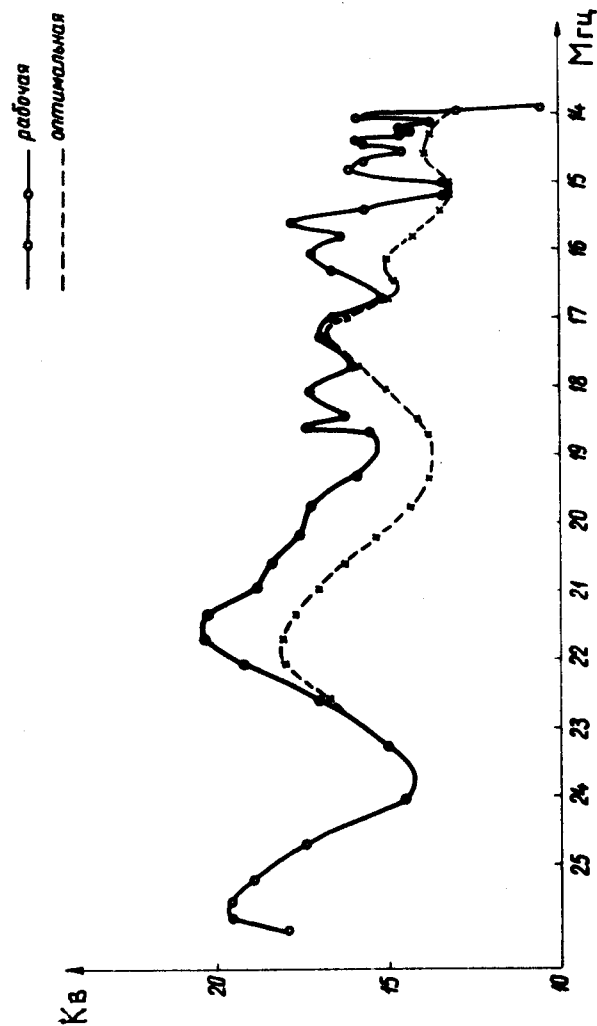


Рис. 14

- 1) изучить влияние АЧХ на форму импульса пучка;
- 2) исследовать зависимость интенсивности от времени захвата;
- 3) исследовать возможность компенсации поперечных колебаний при помощи модулирующих импульсов.

Для исследования процесса ускорения частиц в синхроциклотроне и влияния фазовых потерь на различных радиусах на интенсивность, форму и длительность пучка целесообразно в схеме управления импульсами коррекции использовать генераторы импульсов 5Г-4Б, позволяющие создавать задержку времени от 0 до 10 мсек с интервалом в 1 мсек. Это позволит с достаточной точностью определять длительность импульса коррекции и его задержку от начала цикла ускорения.

При проведении этого исследования необходимо вести наблюдения за интенсивностью, формой и длительностью пучка ускоряемых частиц в функции от искусственно создаваемого провала с переменными длительностью, задержкой от начала цикла ускорения и амплитудой.

Исследование зависимости интенсивности от длительности времени захвата и момента начала захвата частиц в цикл ускорения может производиться посредством дискретного регулирования начала возбуждения генератора ускоряющего напряжения на высоких частотах с точностью до единиц микросекунд.

Выводы

1. Наиболее эффективной оказалась коррекция АЧХ при помощи подбора оптимальной обратной связи в схеме в.ч. генератора.
2. В настоящее время сеточный модулятор включает в себя комплекс схем, которые представляют собой достаточно гибкий инструмент для исследования процесса ускорения.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.И. Данилову и Е.И. Розанову за интерес, проявленный к работе, и помощь при решении организационных вопросов, Б.М. Жилину и Б.И. Ключину за высококачественное выполнение механических и монтажных работ.

Л и т е р а т у р а

1. *И.Б. Енчевич, Т.Н. Томилина. Препринт ОИЯИ Р9-3969, Дубна 1968, АЭ т. 26, вып. 4, стр. 375-376, 1969 г.*
2. *И.Б. Енчевич, Т.Н. Томилина. Препринт ОИЯИ Р9-3805, Дубна 1968; АЭ, т. 26, вып. 3, стр. 285, 1969 г.*
3. *И.Б. Енчевич, Т.Н. Томилина. Препринт ОИЯИ Р9-3674, Дубна 1968.*
4. *И.Б. Енчевич, В.И. Иванов, Ю.М. Максимов, Б.Н. Марченко и др. Депонированное сообщение ОИЯИ Б1-9-4691, Дубна 1969.*

Рукопись поступила в издательский отдел

7 июля 1970 года.