

С 345

Т-564

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

9 - 4197

Т.Н.Томилина

УПРАВЛЕНИЕ
СИНХРОЦИКЛОТРОНОМ ОИЯИ НА 680 МЭВ

Специальность 280 - электрофизические
установки и ускорители

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

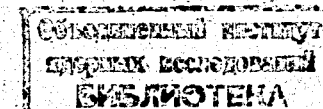
9 - 4197

Т.Н.Томилина

УПРАВЛЕНИЕ
СИНХРОЦИКЛОТРОНОМ ОИЯИ НА 680 МЭВ

Специальность 280 - электрофизические
установки и ускорители

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук



Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Руководитель: кандидат технических наук И.Б. Енчевич.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук С.М. Рубчинский,

кандидат физико-математических наук В.П. Саранцев.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Физико-технический институт АН СССР

Автореферат разослан " " 196 г.

Защита диссертации состоится " " 196 г. на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

О.А. Займидорога

" " 196 г.

570289

В в е д е н и е

Как известно, в синхротронном циклотроне сгустки ускоренных частиц следуют один за другим в соответствии с частотой модуляции ускоряющего напряжения. Это связано с тем, что для ускорения используется только часть периода модуляции, имеющая отрицательную производную частоты ускоряющего напряжения по времени. Поэтому в непрерывном режиме ускорения с целью уменьшения расхода энергии и снижения нагрева отдельных узлов ускорителя используется манипулятор, который запирает высокочастотный генератор на время нерабочей части периода модуляции частоты.

Манипуляция высокочастотного генератора, управление ускорителем и синхронизация с ним физических приборов осуществляются с помощью специальных схем управления, как правило, довольно сложных.

В диссертацию вошли работы автора по усовершенствованию системы управления и созданию новой аппаратуры как для повышения устойчивости типовых режимов ускорения заряженных частиц, так и для управления режимами ускорения, которые появились в последние 5-7 лет.

Диссертация состоит из трех глав.

В первой главе описаны способы управления синхротроном при работе в типовых и специальных режимах.

Во второй главе анализируется работа тиратронного триггера с активной нелинейной несимметричной нагрузкой, используемого в системе управления синхротроном в качестве манипулятора в/ч генератора ускоряющего напряжения. Дело в том, что в процессе наладки режима ускорения с растяжкой пуч-

ка на конечном радиусе выяснилось, что существующий манипулятор в этом случае работает неустойчиво. Произведенный анализ позволяет выбрать схему тиратронного триггера, свободную от этого недостатка.

В третьей главе описаны результаты исследования коррекции амплитудно-частотной характеристики синхроциклотрона, метод оптимизации этой характеристики, а также такие параметры ускорителя, как частота захвата и вывода.

Диссертация написана по материалам работ, опубликованных в /1-9/ и доложенных на Международной конференции по ускорителям (Женева, 1956 г.), Конференции по электронике ускорителей (Дубна, 1964 г.) и Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц (Москва, 1968 г.).

I. Управление типовыми и специальными режимами работы синхроциклотрона

§1. Основные требования к схеме управления

В синхроциклотроне ОИЯИ синхронизация всех устройств, являющихся неотъемлемыми частями ускорителя, осуществляется при помощи оптической системы, жестко связанной с модулятором частоты, а управление высокочастотным генератором ведется при помощи сеточного манипулятора.

В процессе эксплуатации синхроциклотрона в течение первых трех лет после его создания выяснилось, что первоначальный вариант системы управления имеет ряд недостатков и не всегда позволяет обеспечить нормальную работу ускорителя в течение 150-160 часов в неделю /1/.

На основании опыта работы на синхроциклотроне требования к системе управления кратко можно сформулировать следующим образом:

1. Ускоритель должен работать в различных режимах в течение 150-160 часов в неделю с короткими перерывами для осмотра оборудования.

2. Система управления ускорителя должна быть построена таким образом, чтобы перевод ускорителя из одного типового режима в другой мог производить дежурный оператор. Типовые режимы работы следующие: а) режим непрерывной манипуляции; б) одноразовый режим; в) режим растяжки пучка /2/. Должны быть также предусмотрены специальные режимы работы: а) одноразовый режим с торможением /3/; б) накопительный режим /4/.

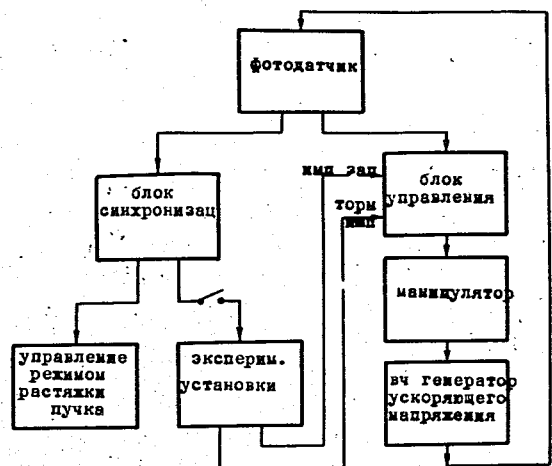
3. Система управления включает в себя также устройства, позволяющие контролировать и исследовать основные параметры синхроциклотрона.

§2. Типовые режимы работы ускорителя

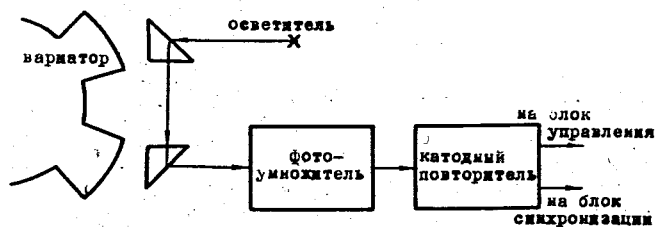
При длительной работе ускорителя одним из основных требований, которым должна удовлетворять система управления является надежность.

Работающая в настоящее время система управления включает в себя семь отдельных установок, состоящих из 130 ламп, 700 сопротивлений и 300 конденсаторов. Блок-схема системы управления представлена на рис. 1а, принципиальные схемы управления ускорителем в типовых режимах приведены в работах /1,2/.

Фотодатчик (рис. 1б), имеющий оптико-механическую связь с вариатором частоты, выдает прямоугольные импульсы положительной полярности. Система отрегулирована таким образом, что передний фронт импульсов фотодатчика на 100-300 мксек опережает частоту захвата, соответствующую заданному значению магнитного поля в центре ускорителя. Эти импульсы используются для управления генератором и синхронизации работы вспомогательных устройств и экспериментальных установок с ускорителем.



а)



б)

Рис.1. а) Блок-схема системы управления.

б) Блок-схема фотодатчика.

Основная задача при разработке схемы управления сводилась к тому, чтобы при минимальном количестве различных узлов, входящих в отдельные блоки управления, и наиболее простой функциональной зависимости между ними, схема устойчиво работала не менее 150-160 часов в неделю. Блоки, обеспечивающие работу ускорителя в типовых режимах, должны иметь ненагруженный резерв, и переход на резервные блоки должен осуществляться при помощи ключей коммутации блоков управления и питания.

Режим непрерывной манипуляции

При работе ускорителя в непрерывном режиме захват и ускорение частиц происходят в каждом периоде модуляции. Импульсы синхронизации, совпадающие с передним фронтом импульсов фотодатчика, направляются по двум каналам. В первом из них формируются включающие импульсы, которые подаются на выходную лампу без временной задержки (K_5 на рис. 2 в положении 1) или с временной задержкой (K_5 в положении 2). Во втором канале формируются отключающие импульсы, которые подаются на манипулятор с задержкой по времени, примерно равной половине периода модуляции.

Одноразовый режим

При работе синхротрона в одноразовом режиме ускорение частиц происходит с частотой запускающих импульсов (ключ K_2 на рис. 2 в положении 2).

В предложенной автором схеме импульс синхронизации прежде чем попасть в канал формирования включающих импульсов должен пройти через схему совпадений, которая пропустит его только в том случае, если вместе с ним на схему совпадений поступит импульс запуска, пришедший с эксперимен-

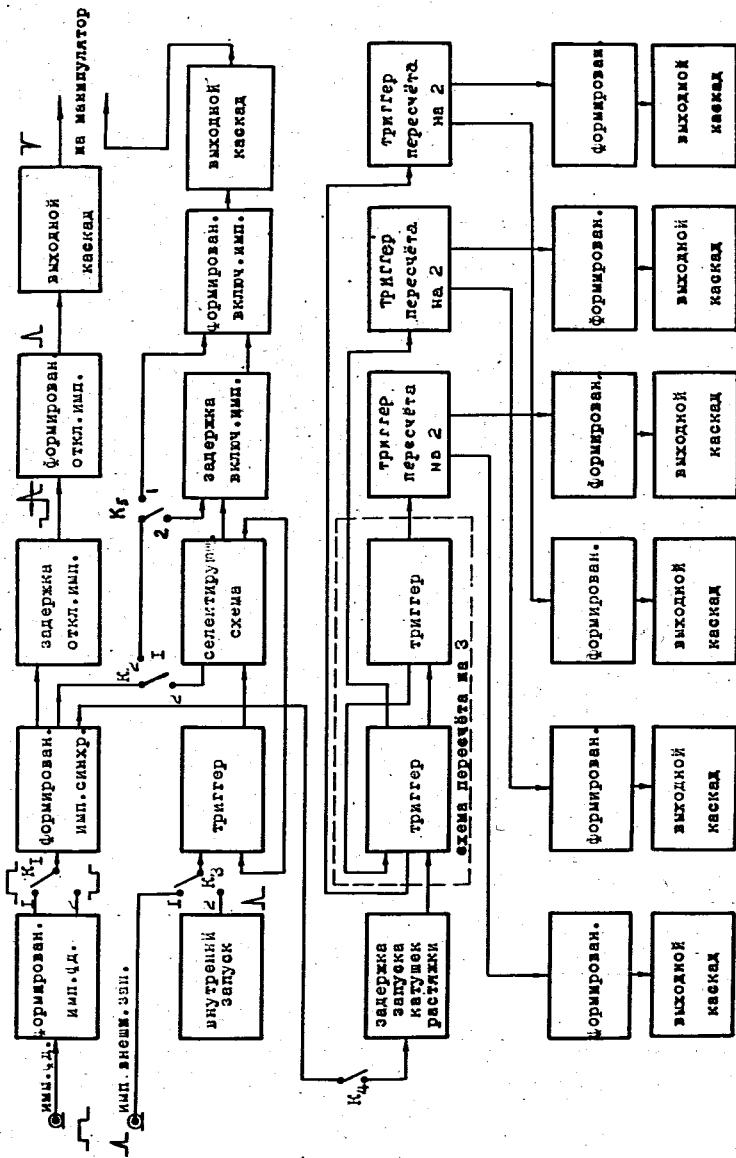


Рис.2. Блок-схема управления ускорителем в типовых режимах.

тальной установки в произвольный момент времени. Отключающие импульсы, как и в непрерывном режиме, идут каждый цикл модуляции. Это сделано для предохранения ускорителя от возможности перехода в непрерывный режим в случае появления импульса помехи. Одноразовый режим используется также для кратного снижения интенсивности.

Режим управления системой растяжки пучка ускоренных частиц /2/

При работе в режиме растяжки ускоряющее в/ч напряжение выключается, как только пучок достигает радиуса размещения катушек, создающих локальную неоднородность магнитного поля. Дальнейшее радиальное продвижение пучка происходит благодаря раскачке радиальных колебаний неоднородностью магнитного поля.

Блок-схема для управления системой растяжки представлена на рис. 2 (ключ K_2 - в положении 1, ключ K_4 - замкнут).

Расчет надежности работы схем управления в типовых режимах был произведен по статистическим данным опасности отказов для элементов радиоэлектронных схем, приведенным в работе /10/. Результаты расчета для непрерывной работы схемы в течение 150 часов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Режим работы		непрерывная манипуляция	одноразовый	растяжка пучка
Вероятность исправной работы схемы	без резерва	0,7776	0,7211	0,7408
	с резервом	0,9505	0,9222	0,9328

В настоящее время простои ускорителя из-за неисправности системы управления благодаря систематической профилактической проверке блоков управления не превышают 0,1% времени работы синхроциклотрона.

В типовых режимах синхроциклотрон ОИЯИ работает примерно 5000 часов в год.

§3. Специальные режимы работы синхроциклотрона /3,4,5/

К специальным или экспериментальным режимам относятся те, которые нужны для исследования параметров самого ускорителя, а также те, в которых требуется жесткая синхронизация работы экспериментальных установок и ускорителя.

Защита от ложного включения ускорителя

при работе в одноразовом режиме

Такой режим работы оказался необходимым для проведения экспериментов с эмульсионной камерой, помещенной в зазор импульсной магнитной катушки. Магнитное поле в зазоре катушки при каждом прохождении частиц должно быть определенной величины (~ 15 тл).

Если напряженность поля в зазоре импульсной катушки не может достичь требуемой величины, необходимо прекратить ускорение частиц раньше, чем они попадут в эмульсионную камеру. В этом случае с экспериментальной установки на управляющую систему поступает тормозящий импульс.

Накопление частиц в синхроциклотроне

При проведении на синхроциклотроне экспериментов с физическими установками, действующими в импульсном режиме со скважностью, превышающей скважность ускорителя (что свя-

зано, например, с перетяжкой пленки в фотоаппаратах, подготовкой пузырьковой камеры, записью информации, подготовкой к работе импульсной катушки и т.д.), появляется возможность повышения эффективности использования ускорителя, если в нерабочий интервал времени накапливать ускоренный пучок внутри машины и выводить его в момент включения физической аппаратуры. Такая возможность возникает благодаря тому, что частицы могут в течение некоторого времени обращаться по орбитам промежуточных радиусов. Это явление было использовано для создания нового режима ускорения, при котором частицы в течение нескольких укороченных циклов "накапливаются" на промежуточных орбитах, а затем в последнем цикле доводятся до предельного радиуса, соответствующего их максимальной энергии /4/.

Управление ускорителем при измерении времени захвата частиц на устойчивые орбиты

Благодаря тому, что система управления формирует импульс для включения генератора ускоряющего напряжения на 100-300 мксек раньше, чем начинается захват частиц на устойчивые орбиты, для измерения времени захвата можно смещать включающий импульс на калиброванные отрезки времени и снижать зависимость интенсивности от времени задержки.

Для уменьшения ошибки при измерении целесообразно из десяти лопаток ротора вариатора использовать одну.

Для осуществления работы ускорителя в таком режиме была разработана схема управления, позволяющая использовать для включения генератора импульсы, идущие с частотой, в десять раз меньшей частоты модуляции, т.е. сформированные от одной и той же лопатки вариатора.

Временная задержка для схемы управления
синхроциклотроном на 680 Мэв^{16/}

Для проведения ряда экспериментальных работ необходимо смещать во времени импульс запуска различных схем управления, синхронный с импульсом фотодатчика. Поэтому была разработана схема, состоящая из двух независимых каналов, каждый из которых представляет собой фантастрон с одним каскадом формирования запускающего импульса и двумя или тремя каскадами формирования задержанного импульса после фантастронной схемы.

Запуск обоих каналов производится независимо любыми положительными импульсами с амплитудой не менее 5 в.

Первый канал позволяет создавать задержку от 2,0 до 150 мсек. Второй канал формирования позволяет получить задержку во времени от 15 мксек до 15 мсек.

II. Анализ работы тиратронного триггера
с нелинейной несимметричной нагрузкой

В качестве манипулятора в/ч генератора синхроциклотрона используется тиратронный триггер, нагрузкой одного из плеч которого является сеточная цепь в/ч генератора. Влияние нагрузки сводится к шунтированию одного из участков схемы последовательно соединенными сопротивлениями гридлика и промежутка сетка-катод генераторной лампы и прохождению постоянной составляющей сеточного тока генератора через тиратрон.

В процессе наладки растяжки пучка оказалось, что существующий манипулятор работает неустойчиво. В связи с этим был проведен анализ схем тиратронных триггеров, используемых в качестве манипуляторов в/ч генератора, и предложена обобщенная схема, частными случаями которой являются эксплуатационные схемы манипуляторов синхроциклотрона^{17/}.

Проведенный анализ позволяет выбрать схему вентиляного триггера, устойчиво работающую с активной нелинейной несимметричной нагрузкой независимо от величины интервала времени между включением и отключением генератора.

§1. Методика анализа

Обобщенная схема триггера составлялась следующим образом: нагрузка - диод, эквивалентный сеточной цепи генераторной лампы, подключался между любыми двумя точками, где имеется импульс напряжения отрицательной полярности. Проводимость нагрузки будет изменяться в зависимости от полярности напряжения, приложенного к соответствующему эквивалентному диоду (рис. 3).

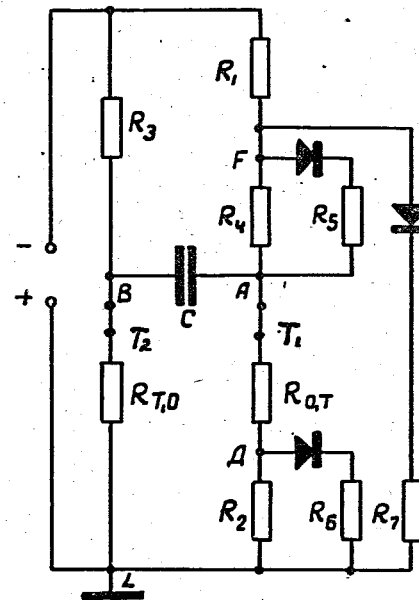


Рис.3.

Для исследования переходных процессов в нагруженном тиратронном триггере с помощью линейных дифференциальных

уравнений период работы триггера Т был разбит на такие интервалы времени, в каждом из которых параметры схемы можно считать постоянными. Полученные решения "сшивались" в конце каждого интервала.

Если принять за начало отсчета момент прихода запускающего импульса на сетку тиратрона Т₁, то весь период Т можно разбить на следующие интервалы:

Первый интервал (t₁) будет определяться наличием прямой (на тиратроне Т₁) и обратной (на тиратроне Т₂) проводимости.

Второй интервал (t₂) начинается с погасания тиратрона Т₂. Постоянная времени θ₂ определяется емкостью С и ограничительным сопротивлением R.

Третий интервал (t₃) (пришел запускающий импульс на сетку тиратрон Т₂) определяется наличием прямой (на Т₂) и обратной (на Т₁) проводимостей тиратронов.

Четвертый интервал (t₄) - тиратрон Т₁ уже погас, но эквивалентный диод еще не заперт, т.к. напряжение на нем еще не достигло значения -E_с.

Пятый интервал (t₅) аналогичен второму. Тиратрон Т₁ погас и эквивалентный диод находится в непроводящем состоянии.

Расчетные формулы для определения постоянных времени и напряжений приведены в таблице 2.

§2. Переходные процессы в ненагруженном тиратронном триггере

Для того чтобы обобщенная схема (рис. 3) стала эквивалентной схеме ненагруженного триггера, необходимо все отсутствующие элементы, включенные последовательно, приравнять нулю, а включенные параллельно - устремить к бесконечности.

Быстродействие переключающих свойств схемы ограничивается временем t₀, в течение которого положительное

Таблица 2

интервал	Параметры схемы	1 0 ≤ t ≤ t ₁	2 0 < t ≤ t ₂	3 0 < t ≤ t ₃	4 0 < t ≤ t ₄	5 0 < t ≤ t ₅
1	Цель постоянной тока					
2	Цель переменного тока					
3	Соотношение между параметрами цепи	R _T = R ₀ = (α1 + α01)R ₃	R _T < R ₁ ; R _T < R ₂ R ₂ → ∞	R _T = R ₀ = (α1 + α01)R ₃	R _T < R ₁ ; R _T < R ₂ R ₂ → ∞	R _T < R ₁ ; R _T < R ₂ R ₂ → ∞
4	θ = CR _{сх}	C [(R ₀ R ₃ / (R ₀ +R ₃) + R _{0e1}]	C [R ₃ + R _{0e2}]	C [(R _T R ₃ / (R _T +R ₃) + R _{0e3}]	C [(R _T R ₃ / (R _T +R ₃) + R _{0e4}]	C [(R _T R ₃ / (R _T +R ₃) + R _{0e5}]
5	R _{0e}	(R ₂ +R ₃)(R ₁ +R ₄ R ₅ / (R ₄ +R ₅)) / (R ₂ +R ₃ +R ₄ +R ₅)	(R ₂ +R ₁)(R ₄ R ₅ / (R ₄ +R ₅)) / (R ₂ +R ₁ +R ₄ +R ₅)	(R ₃ R ₂ R ₁ / (R ₂ +R ₁)) (R ₄ R ₅ / (R ₄ +R ₅)) / (R ₃ R ₂ R ₁ +R ₄ +R ₅)	R _{0e4} = R ₄ + R ₁ R ₂ / (R ₁ +R ₂)	R _{0e5} = R ₁ + R ₄
6	U _{c(0)} / U _m	K	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
7	U _{c(∞)} / U _m	a	-b	a	1	1
8	U _{c(t)} / U _m	a(1 - e ^{-t/θ}) + ke ^{-t/θ}	(A ₁ +b)e ^{-t/θ} - b	(A ₂ -a)e ^{-t/θ} + a	(A ₃ -1)e ^{-t/θ} + 1	(A ₄ -1)e ^{-t/θ} + 1
9	A	A ₁ = U _{c(t₁)} / U _m	A ₂ = U _{c(t₂)} / U _m	A ₃ = U _{c(t₃)} / U _m	A ₄ = U _{c(t₄)} / U _m	A ₅ = K = U _{c(t₅)} / U _m
10	J _{c(t)} / J ₀	-CR ₃ / θ (K-a) e ^{-t/θ}	CR ₃ (A ₁ +b) e ^{-t/θ}	CR ₃ (a-A ₂) e ^{-t/θ}	CR ₃ (1-A ₃) e ^{-t/θ}	CR ₃ (1-A ₄) e ^{-t/θ}
11	U _{AL(t)} / U _m	-(1-b) + J _{c1} R _{0e1} / J ₀ R ₃	-(1-b) + J _{c2} R _{0e2} / J ₀ R ₃	-(1-b) + J _{c3} R _{0e3} / J ₀ R ₃	-1 + J _{c4} R _{0e4} / J ₀ R ₃	-1 + J _{c5} R _{0e5} / J ₀ R ₃
12	U _{BL(t)} / U _m	-(b-a)(1 + J _{c1} / J ₀)	-1 - J _{c2} / J ₀	-(b-a)(1 + J _{c3} / J ₀)	0,01	0,01
13	U _{PL(t)} / U _m	-d + q J _{c1} R _{0e1} / J ₀ R ₃	-d + q J _{c2} R _{0e2} / J ₀ R ₃	-d + h J _{c3} R _{0e3} / J ₀ R ₃	0	0
14	U _{FL(t)} / U _m	-f + q J _{c1} R _{0e1} / J ₀ R ₃	-f + q J _{c2} R _{0e2} / J ₀ R ₃	-f + e J _{c3} R _{0e3} / J ₀ R ₃	-1	-1
15	U _{FA(t)} / U _m	-1 + b + f(1-q) J _{c1} R _{0e1} / J ₀ R ₃	-1 + b + f(1-q) J _{c2} R _{0e2} / J ₀ R ₃	-1 + b + f(1-l) J _{c3} R _{0e3} / J ₀ R ₃	-1 + J _{c4} R ₄ / J ₀ R ₃	-1 + J _{c5} R ₄ / J ₀ R ₃

$$a = \frac{R_2 + R_7}{R_1 + R_2 + R_4 + R_7}; \quad b = \frac{R_0}{R_0 + R_3}; \quad d = \frac{R_2 + R_4}{R_1 + R_2 + R_4 + R_7}; \quad f = \frac{R_2 + R_4 + R_7}{R_1 + R_2 + R_4 + R_7}; \quad -1 + b + f = \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_4 + R_7}$$

$$q = \frac{R_2}{R_2 + R_7}; \quad q = \frac{R_1}{R_1 + R_4 + R_5}; \quad 1 - q = \frac{R_4 + R_5}{R_1 + R_4 + R_5}; \quad h = \frac{R_2 + R_4}{R_1 + R_2 + R_4 + R_7}; \quad e = \frac{R_4 + R_7}{R_1 + R_2 + R_4 + R_7}; \quad 1 - l = \frac{R_4}{R_1 + R_2 + R_4 + R_7}$$

$$K = \frac{1 - e^{-t_1/\theta}}{1 - e^{-t_5/\theta}} \left[1 - a \left[1 - e^{-t_1/\theta} \left(1 - e^{-t_1/\theta} \left(1 - e^{-t_1/\theta} \right) \right) \right] + b e^{-t_1/\theta} \left(1 - e^{-t_1/\theta} \right) \right]$$

$$t_{01} = \theta \ln \left[1 + b e^{-t_1/\theta} \left(1 - e^{-t_1/\theta} \right) - K e^{-t_1/\theta} \left(1 - e^{-t_1/\theta} \left(1 - e^{-t_1/\theta} \right) \right) \right]; \quad t_{02} = \theta \ln \left[\frac{a+b}{b} + \frac{K-a}{b} e^{-t_1/\theta} \right];$$

$$t_{04} = \theta \ln \left[e^{-t_4/\theta} + \frac{1}{1-p} \left[1 - a \left[1 - e^{-t_4/\theta} \left(1 - e^{-t_4/\theta} \left(1 - e^{-t_4/\theta} \right) \right) \right] + b e^{-t_4/\theta} \left(1 - e^{-t_4/\theta} \right) - \frac{1}{1-p} \frac{t_4}{\theta} \right] \right]$$

напряжение на катоде непроводящего тиратрона падает до 0. Начиная с этого момента на тиратроне появляется напряжение в прямом направлении, поэтому для устойчивой работы триггера необходимо, чтобы $t_0 > t_{всз}$, где $t_{всз}$ - время восстановления сеточного запирания (порядка 100+300 мксек).

Наибольшая устойчивость в работе схемы достигается при $\frac{t_1 + t_2}{T} = 0,5$, так как при этом время t_0 максимально.

83. Переходные процессы в ненагруженном тиратронном триггере

Рассмотрена схема несимметричного нагруженного триггера, в которой ток нагрузки протекает через тиратрон T_1 (в обобщенной схеме необходимо сопротивление R_2 приравнять нулю, а сопротивления R_5 и R_6 устремить к бесконечности).

Следует отметить, что в этой схеме подключение нагрузки снижает устойчивость работы триггера как за счет уменьшения времени t_{01} из-за шунтирующего действия нагрузки, так и за счет увеличения времени деионизации вследствие протекания тока нагрузки через тиратрон.

84. Переходные процессы в нагруженном тиратронном триггере, в котором ток нагрузки замыкается, минуя тиратрон

В описанной схеме тиратронного манипулятора рассматривался случай, когда ток нагрузки протекал через тиратрон, тем самым влияя на устойчивость работы схемы. Однако можно сконструировать схему, в которой вентиляльный элемент-триггер будет свободен от тока нагрузки. Независимость двух цепей (управляющей и управляемой схем) достигается при выполнении следующего условия: ток триггера не должен про-

текать через общее сопротивление во время генерации; когда ток триггера протекает через общее сопротивление, генератор закрыт. Взаимная связь между управляющей и управляемой цепями осуществляется только в течение времени существования обратной проводимости погасающего тиратрона (несколько мксек) и практически не сказывается на устойчивости работы схемы.

В этой схеме нагрузка подключается параллельно сопротивлению R_2 и не шунтирует тиратрон, поэтому при анализе устойчивости период работы триггера достаточно разбить на четыре интервала времени ($t_4 = 0$), сопротивление R_4 - приравнять нулю, а сопротивления R_5 и R_7 - устремить к бесконечности.

III. Исследование параметров синхроциклотрона ОИЯИ на 680 Мэв

81. Уменьшение фазовых потерь в синхроциклотроне при помощи коррекции амплитуды ускоряющего напряжения /8/

Амплитудно-частотная характеристика высокочастотной системы синхроциклотрона обладает значительной неравномерностью по диапазону частот. Резкое понижение амплитуды - провалы на ряде частот - приводит к фазовым потерям пучка и связанным с ними уменьшениям интенсивности, возникновению фонового излучения и активация дуанта на соответствующих радиусах.

Для коррекции амплитудно-частотной характеристики был разработан сеточный модулятор, создающий на сетке в/ч генератора дополнительное импульсное смещение, которое увеличивает возбуждение генератора на частотах провалов и тем самым уменьшает неравномерность исследуемой характеристики. Измерения показали, что положительные импульсы длительностью 140 ± 20 мксек для частоты 18,5 Мгц и 300 ± 20 мксек для

частоты 15,5 Мгц повышали интенсивность пучка ускоренных ионов на $12 \pm 18\%$. Подача же импульсного смещения на других частотах не приводила к росту интенсивности.

В связи с этим было высказано предположение, что амплитудная зависимость ускоряющего напряжения от времени при данных параметрах ускорителя, по-видимому, не является оптимальной.

§2. Измерение амплитудно-частотной характеристики в/ч системы синхроциклотрона в режиме ускорения /5/

Имевшаяся аппаратура для снятия динамической амплитудно-частотной характеристики не позволяла производить измерения с нужной степенью точности. Поэтому была использована комбинация трех методов: селектирования, стробирования и гетеродинирования.

Измеряемое напряжение с ускоряющего электрода после емкостного делителя, смонтированного внутри камеры, по кабелю длиной около 500 м поступает на измерительную схему. Измерение частоты и амплитуды производится через фиксированные интервалы времени, задаваемые стандартным генератором импульсов Г5-4Б, обеспечивающим точность отсчета времени задержки $\pm 0,06\%$. Для измерения амплитуды в/ч сигнал подается на пластины осциллографической трубки. Временная метка подсвечивает соответствующий участок осциллограммы. Отсчет временной задержки производится от начала цикла ускорения. Для измерения частоты та же временная метка определенной длительности открывает усилитель промежуточной частоты, на вход которого подается сигнал с анодного контура смесителя. На вход смесителя поступают сигналы от в/ч генератора ускоряющего напряжения и генератора стандартных сигналов. Частота последних измеряется электронным частотомером после того,

как на экране осциллографической трубки зафиксирован импульс, прошедший через усилитель промежуточной частоты. Относительная погрешность в определении амплитуды составляет 3% , частоты - $0,025\%$; абсолютная же погрешность в определении амплитуды - $8,5\%$.

§3. Оптимальная амплитудно-частотная характеристика в/ч системы синхроциклотрона /9/

Предложен и использован следующий метод определения оптимальной амплитудно-частотной характеристики в режиме ускорения. В районе любой частоты рабочей части характеристики амплитуда резко понижается на время 100-200 мксек, в несколько раз превосходящее период фазовых колебаний (10-20 мксек). Эта пониженная амплитуда выбирается такой, чтобы интенсивность пучка ускоряемых частиц, которая контролируется на конечном радиусе, оставалась постоянной, а незначительное дальнейшее понижение амплитуды приводило бы к резкому падению интенсивности.

На рис. 4 показана оптимальная амплитудно-частотная характеристика, снятая вышеуказанным методом. Из графиков видно, что в течение более 80% времени ускорения амплитуда ускоряющего напряжения может быть существенно ниже без потери интенсивности. Таким образом, либо при неизменной интенсивности можно снизить напряжение на вариаторе и повысить надежность работы ускорителя, либо, сохраняя постоянной подводимую мощность, но перераспределяя ее наилучшим образом, добиться увеличения интенсивности ускорителя.

З а к л ю ч е н и е

Комплекс проведенных исследований затрагивает проблемы, с которыми автору пришлось столкнуться в течение последних лет. В этот период был решен ряд задач, связанных с усо-

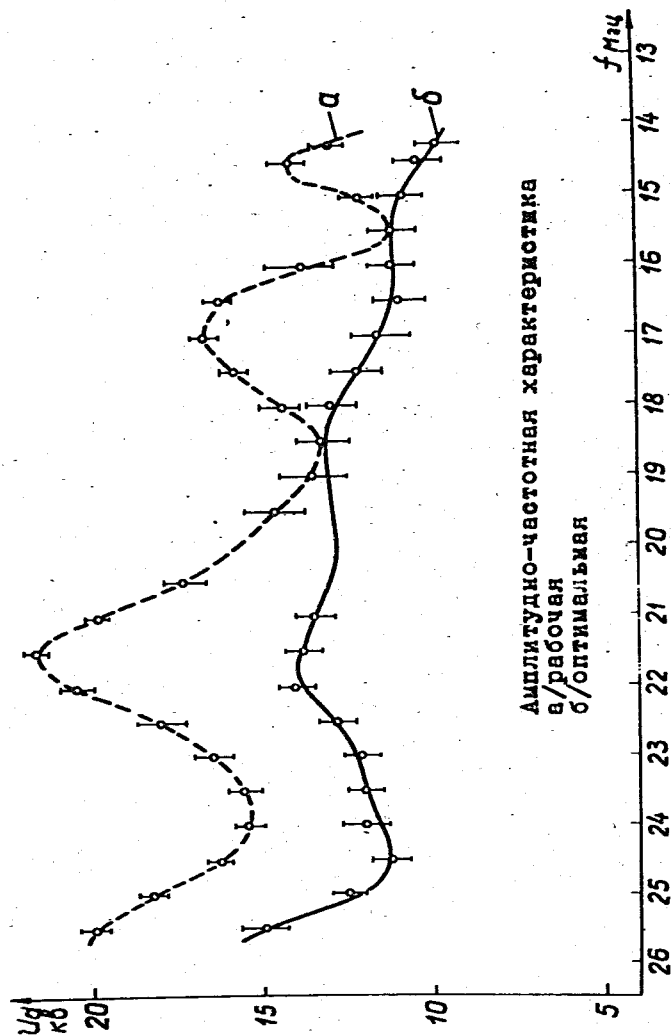


Рис.4.

вершением эксплуатационных характеристик синхротрона и исследованиями в области физики ускорителя. Подводя итог, необходимо отметить следующее:

1. Проведенная реконструкция первого варианта схемы управления позволила настолько увеличить надежность схемы, что простои из-за ее неисправностей в настоящее время не превышают 0,1% рабочего времени ускорителя. Разработанные дополнительно блоки к системе управления позволили создать ряд специальных режимов ускорения (некоторые из них были впервые осуществлены на синхротроне ОИЯИ), что дало возможность провести серию новых физических исследований на ускорителе.

2. Подробный анализ схемы несимметричного вентильного триггера, нагруженного активным нелинейным сопротивлением, один из вариантов которой используется в качестве манипулятора в синхротроне ОИЯИ, позволил: а) предложить обобщенную схему нагруженного триггера и метод технического расчета ее устойчивости; б) объяснить причины существенного снижения устойчивости триггера при подключении к нему нагрузки с независимым источником тока и дать рекомендации для их устранения. При этом было показано, что устойчивость работы триггера возрастает при независимом протекании токов триггера и нагрузки через общую ветвь схемы.

3. В результате проведения работ по коррекции амплитудно-частотной характеристики синхротрона уменьшены фазовые потери и увеличена интенсивность пучка на 15%.

Предложен метод и разработана аппаратура для определения оптимальной амплитудно-частотной характеристики на действующем ускорителе и снята такая характеристика. Показано, что возможно обеспечить несколько более высокую интенсивность пучка при таком же потреблении в/ч мощности в случае создания оптимальной характеристики.

Л и т е р а т у р а

1. Т.Н. Томилина. Реконструкция системы управления синхротроном. Препринт ОИЯИ Б1-1986, Дубна, 1965.
2. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич, Е.И. Розанов, В.И. Смирнов, Т.Н. Томилина. Устройство системы растяжки пучка протонов синхроциклотрона на 680 Мэв. Препринт ОИЯИ Р-2281, Дубна 1965.
3. В.И. Иванов, Т.Н. Томилина. Управление синхроциклотроном и синхронизация с ним эмульсионной камеры, помещенной в зазор импульсной катушки. Препринт ОИЯИ 2139, Дубна, 1965.
4. Т.Н. Томилина, М.Ф. Шульга. Новый режим работы синхроциклотрона. ПТЭ №3, 1965.
5. И.Б. Енчевич, Т.Н. Томилина. Измерение амплитудно-частотной характеристики синхроциклотрона в динамической режиме. Препринт ОИЯИ Р9-3970, Дубна 1968.
6. И.Б. Енчевич, В.И. Иванов, Т.Н. Томилина. Временная задержка для схемы управления синхроциклотроном на 680 Мэв. Препринт ОИЯИ Б1-2810, Дубна 1966.
7. И.Б.Енчевич, Т.Н. Томилина. Анализ работы тиратронного триггера с нелинейной несимметричной нагрузкой. Препринт ОИЯИ Р9-3675, Дубна 1968.
8. И.Б. Енчевич, Т.Н. Томилина. Уменьшение фазовых потерь в синхроциклотроне на 680 Мэв при помощи коррекции амплитуды ускоряющего напряжения. Препринт ОИЯИ Р9-3805, Дубна 1968.
9. И.Б. Енчевич, Т.Н. Томилина. Измерение оптимальной амплитудно-частотной характеристики синхроциклотрона на 680 Мэв. Препринт ОИЯИ Р9-3969, Дубна 1968.
10. Е.И. Зиземский. Надежность радиоэлектронной аппаратуры. Судпромгиз, Ленинград, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел

13 декабря 1968 года.