

МАГНИТНЫЙ ДЕФЛЕКТОР ДЛЯ ВЫВОДА ПРОТОНОВ ИЗ БУСТЕРА КИБЕРНЕТИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ НА ЭНЕРГИЮ 1000 ГЭВ

В. А. ВОДОПЬЯНОВ

Радиотехнический институт АН СССР, Москва.

Однооборотный вывод протонов из бустера кибернетического ускорителя предполагается осуществлять с помощью быстродействующего магнитного дефлектора и отклоняющих магнитов системы медленного вывода [1]. Последняя предназначена для постепенного вывода частиц (в периоды ускорения в основном кольце) с целью проведения физических экспериментов на энергии 18 Гэв.

Быстродействующий дефлектор должен осуществить отклонение протонов на ≈ 15 мм, при фазе бетатронных колебаний $\pi/2$ т. е. при $\lambda/2$ этих колебаний 20 м угол отклонения в быстром дефлекторе должен быть равен 2, 3 мрад. Следовательно, при длине дефлектора 1 м индукция в его зазоре должна быть 800 э. Для стопроцентного вывода необходимо обеспечить длительность фронта нарастания импульса тока в дефлекторе 8 нсек. Это соответствует расстоянию между банчами при частоте ускоряющего напряжения 120 Мгц и их длительности 0,5 нсек.

Создание импульсов тока в дефлекторе при такой скорости нарастания представляет сложную проблему. Обычно она решается с помощью электромагнитов с ферритовым сердечником и быстродействующих разрядников. При осуществлении такого магнита для бустера на энергию 18 Гэв требуется расположить на длине 1 м 6 секций магнита и включить их по схеме длинной согласованной линии. Напряжение на секции 50 кв, ток 930а, характеристическое сопротивление 54 ома, индуктивность 0,3 мкгн, емкость 100 пф, коммутируемая мощность 46,5 Мвт, запасенная энергия 0,37 дж.

Коммутацию полной мощности 300 Мвт при длительности фронта импульса тока 10 нсек можно осуществить разрядниками. Однако, срок их жизни слишком мал. Даже при числе срабатываний разрядника 10^7 продолжительность времени его непрерывной работы с частотой

20 Гц составит лишь 5 суток. В условиях высокой радиации столь частая смена разрядников не допустима. Поэтому нам представляется приемлемой лишь система коммутации с использованием мощных радиоламп. Ламповые схемы питания отклоняющих магнитов позволяют отказаться от их согласования, так как необходимую форму импульса тока можно обеспечить управлением по сетке.

Длительность фронта импульса 10 нсек, который может иметь форму начальной части синусоида (четверти ее периода), соответствует частота 25 Мгц. Это в 10 : 20 раз меньше частот, на которых могут работать современные мощные триоды [2], так что проблемы широкополосности с лампами не существует. Проблемой является обеспечение большой мощности в течение ~ 10 нсек; на остальной части импульса длительностью ≈ 3 мксек (время обращения частиц в бустере при энергии 18 Гэв равно 3,3 мксек) реактивная мощность в отклоняющем магните равна нулю, так как при постоянном токе необходимое для его поддержки напряжение $L \frac{di}{dt}$ равно нулю.

Эта специфика характера нагрузки использована в схеме импульсного питания дефлектора, изображенной на рис. 1, для уменьшения общей потребляемой мощности. В этой схеме лампа Л1 возбуждается по сетке импульсом с фронтом ≈ 1 нсек и длительностью больше 10 нсек. Через эту лампу и дефлектор L разряжается накопительный конденсатор C_n , заряженный во время паузы между циклами до напряжения 50 кв. Параметры L и C_n выбраны так, что четверть периода колебательного разряда равна 10 нсек (при $L=1$ мкгн это соответствует $C_n=40$ пф). По истечении этого времени напряжение на катушке проходит через нуль и открывается лампа Л2. В цепи сетки этой лампы действует управляющее импульсное напряжение прямоугольной формы такой величины, при которой ток равен максимальному току в L при разрядке конденсатора через лампу Л1. Анодное напряжение на Л2 подается через дефлектор.

Ввиду малой величины индуктивности дефлектора, паразитные индуктивности и емкости схемы при внешнем расположении лампы значительно увеличивает необходимую импульсную мощность лампы. Поэтому может оказаться целесообразным выполнять быстрый дефлектор с внутренними лампами Л1 и Л2. Эти лампы могут иметь общий кольцевой катод, укрепленный на внутренней стенке трубы, охватывающей трубу дефлектора, являющуюся частью камеры ускорителя, полукольцевые аноды, один из которых (анод лампы Л2) соединяется внутри с дефлектором непосредственно, а второй (анод лампы Л1) — через зазор, образующий емкость C_n . Целесообразно вмонтировать внутри внешней трубы и лампы для раскачки оконечных ламп Л1 и Л2, подобно тому, как это сделано в усилителе типа «тотем-пол» фирмы Радио корпорэйшн оф Америка. Изготовление дефлектора вместе с лампами оправдано с нашей точки зрения, тем, что это очень сложное и дорогое

устройство, выполняющее важную функцию ускорителя, требует серьезной разработки и больших затрат, так что допустимо делать его как уникальное устройство подобно другим уникальным устройствам ускорителя — магниту, камере и т. д. При этом надо учитывать, что долговечность современных ламп порядка 40 : 50 тысяч часов [2], г. е. соизмерима со «сроком жизни» самих ускорителей. Следует учитывать также допустимость унификации элементов выводного устройства для различных ускорителей, так что однажды разработанный элемент может послужить основой для сборки большой выводной системы любого ускорителя. Исходя из этого соображения может оказаться целесообразным вместо ферритовых сердечников использовать шинообразные дефлекторы. Мощность на ввод тока в такой дефлектор оказывается соизмеримой с мощностью питания согласованного дефлектора с ферритовым сердечником. Это связано с тем, что за счет сердечника сокращается путь силовым линиям в воздухе и уменьшается необходимый ток на получение заданной напряженности, однако индуктивность возрастает примерно во столько же раз и соответственно возрастает необходимое напряжение.

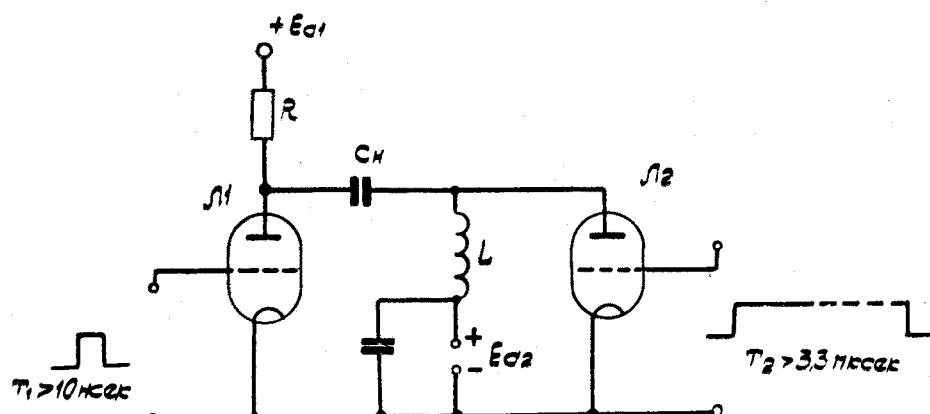


Рис. 1. Схема ввода тока в магнитный дефлектор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vodopjanov F. A. et al., Proc. Sixth Int. Conf. on High Energy Accelerators, Cambridge, 1967, p. A-115.
2. Hoover M. V. IEEE Trans. on Nucl. Sc., NS-12.3, p. 76—85 1965.

ДИСКУССИЯ

Ларионов: Непонятно, как в Вашей схеме можно управлять формой тока, какое внутреннее сопротивление в лампе L_2 Вы предполагаете иметь?

Водопьянов: Управление осуществляется изменением сеточного напряжения L_2 . Внутреннее сопротивление лампы не имеет значения.

Миллер: Выполнялись ли какие-либо практические исследования Вашей схемы?

Водопьянов: В докладе изложены только проектные соображения.

Barton: Why not avoid this problem by operating the booster with 10 bunches missing? Then there would be a hole purring which conventional rise time kicker could be used.

Столов: В связи с основной трудностью осуществления вывода пучка из бустера, вызванной малым временем нарастания поля (~ 8 нсек.), не является ли целесообразным снижение кратности частоты в.ч. поля для увеличения интервала времени между бunchedами.

Водопьянов: Кратность частоты выбрана исходя из требования снижения разброса импульса.