

ВЫБОР ТИПА УСКОРЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БЕЗЖЕЛЕЗНОГО ВОЛНОВОДНОГО СИНХРОТРОНА НА НЕСКОЛЬКО ГЭВ

П. И. ГОСЬКОВ

Прежде, чем приступить к проектированию и сооружению волноводных синхротронов на большие энергии, необходимо получить опытные данные о работе подобных ускорителей в области промежуточных энергий, т. е. предварительно необходимо разработать, соорудить и провести исследование особенностей работы волноводного синхротрона на несколько Гэв. Накопленный в результате этого опыт сделает возможным создание значительно более мощных волноводных синхротронов.

В связи с развитием техники безжелезных ускорителей, особенно в ИЯФ СО АН СССР, наиболее реально в настоящее время создание волноводного синхротрона на большую энергию с безжелезной магнитной системой. В этом случае в первую очередь необходимо решить следующие вопросы: для подобного ускорителя выбрать наиболее подходящую волноводную систему; произвести исследование ее электродинамических свойств; после чего, исходя из определенной конструкции волноводной ускоряющей системы и ее электродинамических свойств, определить необходимую высокочастотную мощность возбуждения.

Решение этих вопросов позволит вплотную приступить к созданию волноводных синхротронов на большие и сверхбольшие энергии.

В настоящей работе на основании выполненных в Томском политехническом институте исследований электродинамических свойств различных волноводных замедляющих структур для безжелезного волноводного синхротрона производится выбор наиболее эффективной ускоряющей системы.

Применительно к такому синхротрону волноводная ускоряющая система должна удовлетворять следующим основным требованиям.

1. Волноводная ускоряющая система должна иметь простую конструкцию и технологию изготовления.

2. Используемая ускоряющая система должна обеспечивать возможность сравнительно несложного конструктивного размещения волноводной структуры вдоль орбиты, т. е. она должна хорошо конструктивно сочетаться с магнитной системой.

3. Использование периодической структуры не должно приводить к большим искажениям управляющего магнитного поля.

4. Наличие волноводной структуры не должно приводить к появлению электрического контакта по постоянному току между токоведущими шинами.

5. Волноводная ускоряющая система на рабочем типе колебаний не должна иметь наложенных типов колебаний.

6. Рабочая длина волны, соответствующая выбранному режиму работы волноводной ускоряющей системы, должна лежать в диапазоне оптимальных длин волн ($\lambda = 10 \div 100$ см), т. е. соответствующих наибольшему шунтовому сопротивлению ускоряющих систем и имеющимся мощным СВЧ-источникам.

7. Использование волноводной ускоряющей системы не должно приводить к увеличению магнитного зазора, так как вследствие необходимости создания мощного магнитного поля его величина не должна превышать $2 \div 3$ см.

8. В области малых замедлений $\left(\frac{c}{v_{\phi}} = 1\right)$ волноводная система должна иметь достаточно высокое шунтовое сопротивление, так как это приведет к снижению потребляемой высокочастотной мощности.

9. В отличие от приборов СВЧ и линейных ускорителей волноводная ускоряющая система электронного синхротрона должна иметь высокое шунтовое сопротивление при больших пространствах взаимодействия.

Перечисленные пункты не требуют особых разъяснений. Необходимо только отметить, что некоторые из перечисленных требований являются противоречивыми. Например, противоречиво, чтобы система имела большое пространство взаимодействия и высокое шунтовое сопротивление, чтобы система работала в указанном диапазоне длин волн, имела высокое шунтовое сопротивление и позволяла иметь магнитный зазор порядка 20 мм; чтобы система, удовлетворяющая большому количеству указанных требований, была проста в технологическом отношении и т. д.

С точки зрения отсутствия искажения управляющего магнитного поля наибольший интерес представляют такие волноводные ускоряющие системы, у которых токоведущие шины располагаются внутри пространства взаимодействия волноводных систем.

Однако в этом случае в десятисантиметровом диапазоне длин волн будет весьма трудно получить в подобных системах ускоряющие электрические поля с большой продольной составляющей между шинами. Это объясняется тем, что с увеличением пространства взаимодействия шунтовое сопротивление волноводных систем очень резко падает. Поскольку геометрические размеры шин будут сравнимы или значительно больше размеров волноводных замедляющих структур, а расстояние между шинами мало, то электрическое поле волн, имеющих составляющую вдоль шин, будет слабо «провисать» в пространство между шинами. Поэтому подобные волноводные ускоряющие системы могут быть использованы только на дециметровых волнах, когда размеры волноводной замедляющей структуры будут значительно больше поперечных размеров токоведущих шин.

Следовательно, на сантиметровых волнах в безжелезных волноводных синхротронах целесообразнее использовать ускоряющие системы другого типа, т. е. такие, в которых волноводная замедляющая структура располагается внутри магнитного зазора, который, как уже указывалось выше, не должен превышать $2 \div 3$ см.

Поэтому в последнем случае ускоряющие системы на основе гладких и диафрагмированных волноводов, используемых в работающих

волноводных синхротронах НИИ ЯФ при Томском политехническом институте [1, 2], оказываются непригодными, так как при их использовании высота магнитного зазора будет не менее 6 см. Кроме этого их применение нежелательно еще и потому, что они будут в значительной мере экранировать быстропеременное управляющее магнитное поле.

Указанные трудности можно избежать только при использовании штыревых замедляющих структур, для которых характерным является то, что в них при малой высоте волновода можно получить большие длины волн. Эти структуры интересны еще и тем, что их можно будет располагать непосредственно на одной или обоих токоведущих шинах и при этом будет отсутствовать электрический контакт по постоянному току между токоведущими шинами. Тем, что подобные штыревые замедляющие структуры могут быть выполнены, как одно целое с токоведущей шиной, обеспечивается хорошее конструктивное сочетание магнитной и ускоряющей систем.

Из известных штыревых замедляющих структур для этой цели более всего подходят волноводы со штыревыми гребенками, различным образом закрепленными на широких стенках волновода, а именно: встречно-штыревые структуры, встречные ряды штырей, просто гребенчатые структуры [3]. Из них наибольший интерес представляют двухрядные штыревые структуры, поскольку у них шунтовое сопротивление значительно выше, чем у соответствующих однородных (в пространстве взаимодействия).

При использовании указанных структур наименьший магнитный зазор может быть в случае обычных двухрядных штыревых гребенок. В частности, в десятисантиметровом диапазоне при их использовании магнитный зазор может быть 2 см [4], а при использовании встречно-штыревых структур и структур типа встречные ряды штырей магнитный зазор будет $\geq 2,5 \div 3$ см [3, 5].

Кроме этого, существенным фактором, говорящим в пользу двухрядных штыревых гребенок, является также еще следующее.

Поскольку у всех двухрядных штыревых структур возможно возбуждение синфазных и противофазных волн, то для достаточно хорошего разделения рабочего вида колебаний от соседних (паразитных) колебаний, требующегося для того, чтобы сверхвысокочастотная мощность шла в основном на возбуждение только нужного типа колебаний, обязательно необходимо избежать наложения дисперсионных кривых обоих типов волн. В этом случае волноводные ускоряющие системы на основе штыревых гребенок, у которых дисперсионные кривые синфазных и противофазных волн разнесены по диапазону, имеют несомненные преимущества перед волноводными системами на основе встречно-штыревых структур и встречные ряды штырей, для которых характерно наложение колебаний, имеющих продольную составляющую в центре пространства взаимодействия, с колебаниями, у которых продольная составляющая отсутствует. Достоинством волноводных ускоряющих систем на основе двухрядных штыревых гребенок является еще и то, что они будут крепиться только на одной токоведущей шине, в то время как в случае двухрядных встречно-штыревых структур и встречные ряды штырей штыри должны крепиться на обеих токоведущих шинах.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что в качестве ускоряющей системы для волноводного безжелезного синхротрона на несколько Гэв следует выбрать волноводную ускоряющую систему на основе двухрядной штыревой гребенчатой замедляющей структуры, так как в них возможно возбуждение длин волн порядка ~ 10 см при наименьшем магнитном зазоре. При этом технология изготовления уско-

ряющей системы будет самая простая, и на рабочем типе колебаний будут отсутствовать наложенные (паразитные) колебания.

Подобная система будет наиболее полно отвечать перечисленным требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Воробьев, А. Н. Диденко и др. Атомная энергия, 18, 6, 1965.
 2. А. А. Воробьев, Н. П. Диденко и др. ПТЭ (в печати).
 3. П. И. Госьков. Атомная энергия, 18, 3, 1965.
 4. П. И. Госьков. Изв. ВУЗ, «Физика». 3, 1965.
 5. П. И. Госьков, Л. Н. Безматерных. «Радиотехника и электроника». 5, 1965.
-