

## К ВОПРОСУ О ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ БЕТАТРОНА ОТ ЧАСТОТЫ ПИТАЮЩЕГО ТОКА

Д. А. НОСКОВ

(Представлено научным семинаром физико-технического факультета)

Вопрос выбора частоты питающего тока бетатронов, работающих на переменном токе, имеет большое практическое значение при конструировании и изготовлении такого рода ускорителей.

В некоторых источниках имеются рекомендации применять повышенную частоту для питания электромагнитов с целью повышения интенсивности излучения [1, 2]. Интенсивность излучения при условии, что за каждый период ускоряется одно и то же количество электронов при любой частоте, будет пропорциональна частоте, так как число ускоряющих периодов равно частоте питающего тока. Однако в этом вопросе есть еще много неясных моментов. Данных о том, какие частоты переменного тока являются наиболее приемлемыми, одинаковое ли количество электронов ускоряется за период при разных частотах, как влияет на условия захвата скорость нарастания напряженности магнитного поля и так далее, опубликовано очень мало. Также мало опубликовано и экспериментальных данных по этим вопросам.

Рассматривая вопросы теории движения электронов в ускорителе и вопросы захвата электронов в ускорение, можно выделить ряд факторов, часть которых указывает на то, что с повышением частоты возрастает число электронов, ускоряемых за один период. Другая группа факторов говорит, что число электронов, ускоряемых за один период, не зависит от частоты. Имеется группа причин технического и конструктивного характера, которые ведут к тому, что с увеличением частоты уменьшается число электронов, ускоряемых за один период.

Рассмотрим эти факторы несколько подробнее.

С повышением частоты увеличивается прирост энергии электрона за один оборот, следовательно, сокращается время ускорения и уменьшается путь, пробегаемый электроном в процессе ускорения, значит уменьшается рассеяние электронов на молекулах газа.

С увеличением частоты улучшаются условия обхода пушки за счет сокращения орбиты, так как относительное сокращение орбиты прямо пропорционально приросту энергии электрона

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{1}{2} \frac{\Delta w}{w}$$

и за счет увеличения затухания, вследствие того, что уменьшение амплитуды колебаний электронов около равновесной орбиты пропорционально приросту энергии

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{1}{2} \frac{\Delta \omega}{\omega}$$

При этом за счет увеличения затухания колебаний уменьшается рассеяние электронов на стенках ускорительной камеры. Эти факторы могут привести к увеличению числа электронов, ускоряемых за один период, при увеличении частоты.

Если рассматривать процесс захвата с точки зрения взаимодействия мгновенных электронных пучков, то можно заключить, что увеличение частоты не изменяет условий захвата и интенсивность излучения, приходящаяся на один период, не зависит от частоты.

К группе причин технического и конструктивного характера следует, прежде всего, отнести трудность синхронизации импульса впуска с напряженностью магнитного поля, возрастающую с повышением частоты и уменьшением длительности импульса впуска, а также другие причины, связанные с синхронизацией и стабилизацией напряжения на катушках электромагнита и напряжения впуска.

Сопоставляя эти факторы, трудно сказать, останется ли число электронов, ускоряемых за период при разных частотах постоянным или изменится в сторону увеличения или уменьшения.

Можно предположить, что степень влияния тех или иных факторов на условия захвата и ускорения будет различной в разных диапазонах частот. В одном диапазоне главную роль будут играть факторы, обуславливающие повышение интенсивности, в другом — наоборот и т. д.

Следовательно, должен существовать какой-то диапазон частот, при котором условия захвата будут оптимальными, а интенсивность излучения максимальной. Теоретическое предсказание границ этого диапазона не представляется возможным, поэтому необходимы экспериментальные исследования этого вопроса.

С целью выявления экспериментальной зависимости интенсивности излучения бетатрона от частоты нами проведен ряд опытов на импульсном бетатроне без железного ядра и полюсов. Вместо изменения частоты питающего тока мы изменяли длительность импульса.

Изменение длительности импульсов производится изменением величины емкости конденсаторной батареи. Такая простота изменения длительности импульса позволяет проводить опыты с импульсами, длительность которых изменяется в широких пределах. Это позволило нам провести ряд опытов по выявлению влияния длительности импульса (приведенной частоты импульса) на интенсивность излучения и определить диапазон оптимальных частот (длительностей) импульсов для данной конструкции ускорителя. При выявлении влияния частоты импульса на интенсивность излучения опыт должен быть поставлен так, чтобы все остальные факторы, влияющие на излучение, сказывались как можно меньше, зависимость интенсивности от частоты была возможно более чистой. Непосредственное снятие зависимости интенсивности излучения от частоты посредством изменения длительности импульса и изменения напряжения на конденсаторах, так чтобы энергия ускоренных электронов была постоянной при всех частотах, не представляется возможным, так как в схеме питания нельзя осуществлять плавной регулировки напряжения. Вследствие этого нами принята другая методика измерений этой зависимости.

Для каждой длительности импульса снималась зависимость интенсивности излучения от энергии ускоренных электронов. Изменение энергии ускоренных электронов производилось путем изменения напряжения на

конденсаторах при сбросе электронов на мишень в фазе, близкой к  $85^\circ$ . Число импульсов в секунду для всех длительностей оставалось постоянным.

Все кривые зависимости интенсивности излучения от энергии ускоренных электронов для различных длительностей импульсов строятся на одном графике, причем предварительно напряжение на конденсаторах для всех длительностей импульсов пересчитывается на ток, и графики можно строить, откладывая на оси вместо энергии электронов значения тока в катушках электромагнита.

Имея такое семейство кривых, не трудно построить зависимость интенсивности излучения от длительности (частоты) импульса. Для этого достаточно взять значения интенсивности излучения для импульсов разной длительности при одном значении тока (энергии) и построить новый график.

Для бетатрона без железного ядра и полюсов кривые зависимости интенсивности излучения от энергии ускоренных электронов снимались для импульсов длительностью 500, 670, 1000 и 1430  $\mu\text{сек}$ , что соответствует частотам 1000, 750, 500 и 360  $\text{пер/сек}$ .

Графически эти зависимости представлены на рис. 1. Зависимость интенсивности излучения от длительности импульса, построенная по кривым рис. 1, изображена на рис. 2. Ход кривой показывает, что при более коротких импульсах интенсивность излучения меньше. По виду зависимости можно заключить, что бетатрон имеет диапазон оптимальных частот, верхний предел которого находится вблизи частоты 500  $\text{пер/сек}$ . Нижний предел в наших условиях определить нельзя, т. к. схема питания ускорителя не позволяет работать на импульсах большой длительности.

$I_{\text{отн. ед}}$

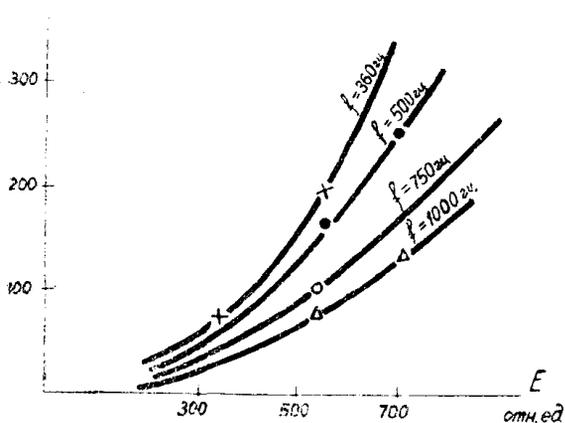


Рис. 1

$I_{\text{отн. ед}}$

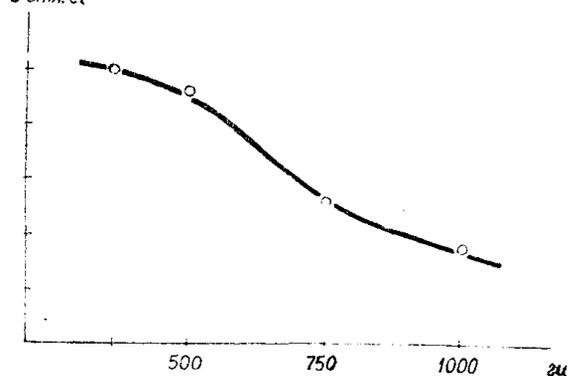


Рис. 2

Таким образом, в результате опытов по исследованию зависимости интенсивности излучения от длительности импульса (или от частоты импульса) нами установлено, что данный бетатрон имеет определенный диапазон длительностей импульсов, в котором число электронов, ускоряемых за один импульс, не зависит или очень мало зависит от частоты питающего тока.

Это значит, что повышать частоту питающего тока с целью повышения интенсивности излучения можно только до определенного предела, пока повышение частоты не ведет к уменьшению количества электронов, ускоряющихся за один период. То есть, чтобы решить вопрос о выборе частоты питающего тока, необходимо на опыте определить границы диапазона оптимальных частот.

Особенно важное значение данные выводы имеют для импульсных бетатронов на небольшие энергии, где уменьшение длительности импульса

ограничивается напряжением на конденсаторной батарее и не связано с нагревом меди и железа электромагнита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А. А. Ускорители заряженных частиц. Госэнергоиздат, 1949.
  2. Гринберг А. П. Методы ускорения заряженных частиц. ГТИ, 1950.
-