

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУ50

Д-183

31-772

P9 - 10080

5268/2-76

В.И.Данилов, Е.И.Розанов, В.И.Смирнов

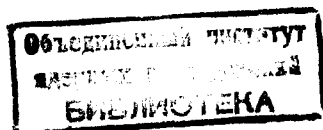
МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ МАГНИТНОЙ РАСТЯЖКИ
МЕЗОННЫХ ПУЧКОВ СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ

1976

P9 - 10080

В.И.Данилов, Е.И.Розанов, В.И.Смирнов

МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ МАГНИТНОЙ РАСТЯЖКИ
МЕЗОННЫХ ПУЧКОВ СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ



Использование на синхроциклотроне ОИЯИ вариатора частоты с увеличенным рабочим ходом^{/1/}, повышение частоты модуляции высокочастотной программы и частоты следования импульсов ускоренного пучка с 117 до 167 Гц обусловили более жесткий режим работы устройства, обеспечивающего увеличение длительности импульсов выведенных мезонных пучков. По способу действия^{/2/} это устройство известно как система магнитной растяжки пучка, содержащая катушки, возбуждаемые пилообразными импульсами тока от генератора с трансформаторным рекуперационно-перезарядным контуром, подключенным параллельно коммутирующей ёмкости^{/3/}.

В связи с указанным повышением частоты модуляции длительность пилообразных импульсов тока должна быть сокращена с 8,5 до 6 мс при одновременном сохранении соотношения длительностей переднего и заднего фронтов импульса (К), определяющего эффективность растяжки пучка. С этой целью последовательное соединение катушек системы было заменено параллельным. Величина коммутирующей ёмкости подбиралась экспериментально. Однако при повышении частоты следования импульсов выявилась неустойчивость перехода генератора из пускового в рабочий режим при $K > 1,4$, обусловленная противоречивостью требований к величине коммутирующей ёмкости.

Близкие к оптимальным условия перезаряда коммутирующей ёмкости, надежный запуск генератора и вместе

с тем более высокий коэффициент рекуперации энергии в источник питания были достигнуты благодаря использованию нового варианта генератора пилообразных импульсов тока¹⁴. Особенности схемы этого генератора (рис. 1) являются подключение коммутирующей ёмкости через перезарядные индуктивность и тиристор к основному источнику питания, а также наличие вспомогательного выпрямителя для начальной поляризации ёмкости при запуске генератора.

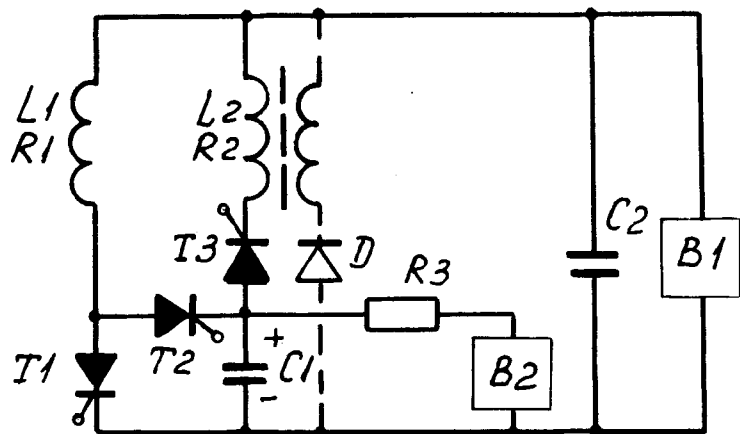


Рис. 1. Схема генератора пилообразных импульсов тока.

Генератор содержит источник питания B1 с ёмкостью фильтра C2 ; индуктивную нагрузку L1, R1 ; включающий T1, гасящий T2 и перезарядный T3 тиристоры; коммутирующую ёмкость C1; перезарядную индуктивность L2, R2; вспомогательный выпрямитель B2, высокоомный резистор R3. Управляющие импульсы подаются на тиристоры после того, как конденсатор C1 зарядится от вспомогательного выпрямителя B2 до напряжения, в 3-5 раз превышающего напряжение источника питания, с полярностью, указанной на рис. 1.

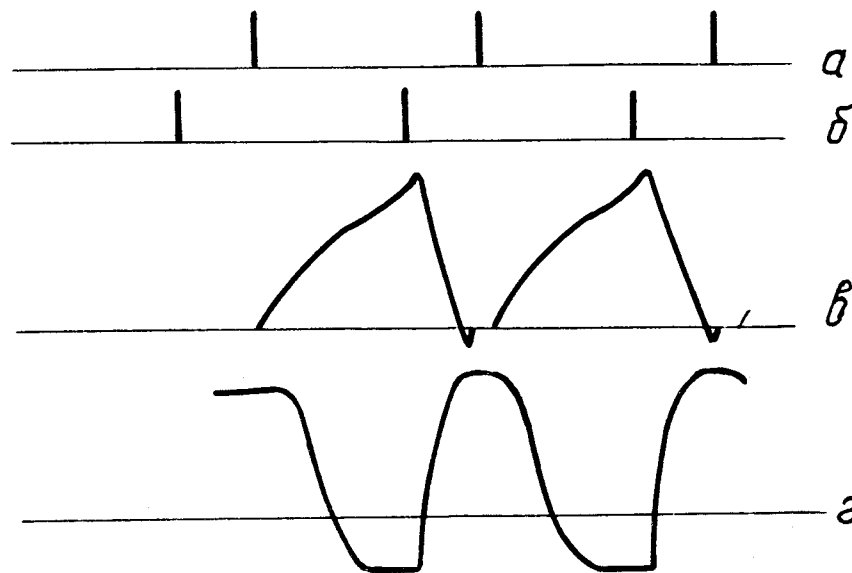


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие работу генератора: а) управляющие импульсы, подаваемые на тиристоры T1, T3 ; б) управляющие импульсы, подаваемые на тиристор T2; в) ток в нагрузке; г) напряжение на коммутирующей ёмкости.

Из временных диаграмм (рис. 2) видно, что цикл работы генератора можно представить состоящим из трех временных интервалов. В первом интервале включаются одновременно тиристоры T1 и T3, при этом происходит формирование переднего фронта импульса по цепи B1, L1, R1, T1, а также перезаряд коммутирующей ёмкости по цепи C1, T3, L2, R2, B1. По окончании перезаряда тиристор T3 закрывается. В течение второго интервала продолжается формирование переднего фронта импульса тока через включающий тиристор T1. Третий временной интервал начинается после включения гасящего тиристора T2 и отключения тиристора T1. С этого момента осуществляется формирование заднего фронта

импульса тока по цепи $L1$, $R1$, $T2$, $C1$, $B1$.
 Последующие циклы протекают аналогично.

В результате перезаряда коммутационной ёмкости на ней устанавливается напряжение

$$V_{ck} = E - (V_{co} - E)e^{-\frac{a}{\omega}\pi}, \quad (1)$$

при этом доля энергии, возвращаемая в источник питания, характеризуется величиной

$$\eta = \frac{4(V_{co}/E - 1) - 2(2 - V_{co}/E)^2 + [1 - (V_{co}/E - 1)e^{-\frac{a}{\omega}\pi}]^2}{(V_{co}/E)^2}, \quad (2)$$

где E - напряжение источника питания; V_{co} - начальное напряжение на коммутационной ёмкости; V_{ck} - напряжение на коммутационной ёмкости после окончания перезаряда; η - коэффициент рекуперации энергии; a, ω - коэффициент затухания и резонансная частота перезарядного контура. Необходимо отметить, что режим перезаряда ёмкости имеет место только при $V_{co} > 2E$.

Зависимости коэффициента рекуперации энергии и конечного напряжения на коммутационной ёмкости от отношения длительности переднего и заднего фронтов импульса при перезарядке ёмкости через контур с $a=15$, $\omega=1100$, $C1=175$ мкФ, $L2=4,7$ мГ, $R2=0,14$ Ом приведены на рис.3.

Как видно из графика, оптимальные условия наблюдаются при $1,7 < K < 2$. При $K < 1,7$ не обеспечиваются условия коммутации тиристоров, а при $K > 2$ ухудшаются энергетические показатели генератора и увеличивается всплеск тока в нагрузке непосредственно после включения гасящего тиристора.

Для улучшения условий работы генератора при $K > 2$ в качестве перезарядной индуктивности использована первичная обмотка трансформатора, вторичная обмотка которого через диод D также подключена к источнику питания, как показано пунктиром на рис. 1. Применение трансформаторного перезарядного контура позволило увеличить коэффициент затухания контура без увеличения

потерь в нем, что привело к уменьшению напряжения на коммутационной ёмкости после перезаряда последней и увеличению коэффициента рекуперации.

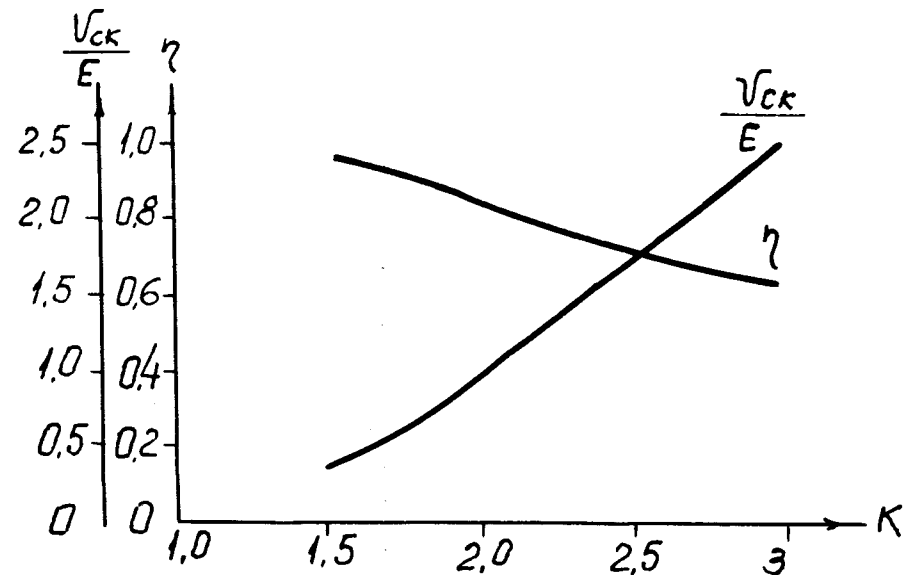


Рис. 3. Зависимости коэффициента рекуперации энергии и напряжения на коммутационной ёмкости после ее перезаряда от отношения длительностей переднего и заднего фронтов импульсов тока.

При формировании пилообразных импульсов тока с длительностями переднего и заднего фронтов, соответственно, 4,0 мс и 1,5 мс, т.е. $K \approx 2,65$, коэффициент рекуперации достиг $\eta = 0,83$. Амплитуда импульсов тока составила 300 А (150А в каждой катушке) при потребляемой от источника питания мощности 7,0 кВт. При том же токе нагрузки использованный ранее генератор с параллельным трансформаторным рекуперационно-перезарядным контуром потреблял от источника питания мощность 24,5 кВт при частоте следования импульсов 117 Гц.

При повышении частоты возбуждения катушек с 117 до 167 Гц резко возросла амплитуда вибрации фидеров

импульсных катушек, расположенных внутри камеры ускорителя в магнитном поле 1,6 Тл. Фидеры длиной 1200 мм составлены из трех медных трубок диаметром 8 x 4 мм (начало обмотки, конец обмотки и средняя точка для подвода охлаждающей воды), изолированных и соединенных совместно стеклотентой, пропитанной эпоксидным компаундом. Посредством перемычки, жестко связывающей середины фидеров верхней и нижней катушек друг с другом и корпусом камеры ускорителя, удалось значительно уменьшить вибрацию в диапазоне частот 160±175 Гц и предотвратить обрыв трубок у проходных изоляторов, где фидер разветвляется на отдельные токопроводы.

Для изоляции и механической стяжки витков катушек использован заливочный компаунд К-115 с 50% наполнением кварцевым песком, отвержденный полиэтиленполиамином.

Ток циркулирующего в апертуре катушек (140 мм между верхней и нижней катушкой) пучка протонов с энергией 680 МэВ составляет при частоте 167 Гц около 3 мкА, т.е. порядка $2 \cdot 10^{13}$ протонов в секунду. После двухлетней эксплуатации ускорителя (свыше 10000 часов работы с пучком, в том числе около 5000 часов при возбуждении катушек импульсами тока) каких-либо существенных механических или радиационных повреждений фидеров и изоляции катушек не наблюдалось.

Генератор с последовательной дроссельной или трансформаторной схемой рекуперации и перезарядки, нагрузкой которого являются катушки с индуктивностью 3,75 мГ, может обеспечить достаточно эффективную работу системы растяжки пучка вплоть до частоты следования импульсов 200±210 Гц с длительностями переднего и заднего фронтов, соответственно, 3,2±3,3 мс и 1,4±1,5 мс. Дальнейшее увеличение частоты работы генератора при той же индуктивности нагрузки вызовет заметное уменьшение К и соответствующее снижение эффективности магнитной растяжки в целом.

В заключение авторы выражают благодарность Плужнику В.Н., Сеченову Н.П. и Сорокину Г.М. за участие в наладке генератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. К.А.Байчер и др. Труды 1У Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, том 1, стр. 234, Москва, "Наука", 1975 год.
2. В.И.Данилов и др. А.Э., т. 19, вып. 6, стр. 289-292, 1965 г.
3. В.И.Данилов и др. Сообщение ОИЯИ, Р13-8635, Дубна, 1975 г.
4. Е.И.Розанов, В.И.Смирнов. Авторское свидетельство № 438100. Бюллетень ОИПОТЗ № 28, стр. 116, 1974 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 сентября 1976 года.