

СЗ45е5

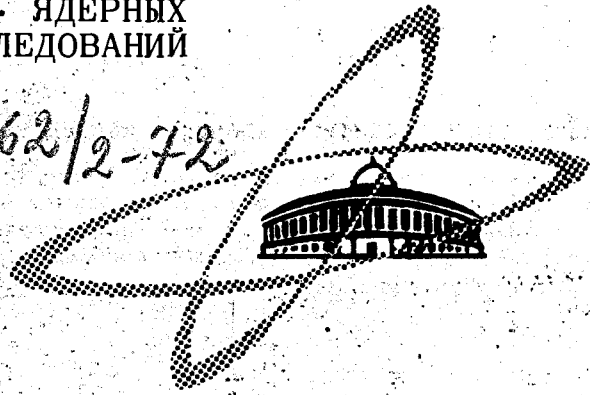
E-645

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

4362/2-72

P9-6585



И.Б.Енчевич, Ю.В.Максимов

ТИРИСТОРНЫЙ МАНИПУЛЯТОР
ДЛЯ ВЧ-ГЕНЕРАТОРА СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ
НА 680 МЭВ.

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1972

P9-6585

И.Б.Енчевич, Ю.В.Максимов

ТИРИСТОРНЫЙ МАНИПУЛЯТОР
ДЛЯ ВЧ-ГЕНЕРАТОРА СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ
НА 680 МЭВ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Введение

После перевода синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ на круглосуточную работу с короткими перерывами для профилактики, осмотра оборудования /1/ и после создания новых режимов ускорения, таких как растяжка пучка вторичных частиц /2/, возникла необходимость разработки и изготовления манипулятора вч-генератора, отвечающего этим условиям работы /3/.

Манипулятор должен работать в режиме ключа со скважностью от 2 до 10 и с частотой модуляции 100 ± 120 гц.

Крутизна манипулирующего импульса при включении - 30 мксек, при отключении - 100 мксек. Для надежной работы необходимо иметь 100% резерв, а переход с одного блока манипулятора на другой не должен занимать более 1-2 мин.

Были выяснены причины неустойчивости работы тиратронного манипулятора /3/, разработанного при реконструкции синхроциклотрона в 1953 г. Оказалось, что нелинейная несимметричная нагрузка (сеточная цепь генератора) манипулятора и большое время деионизации тиратронов (≈ 150 мксек) не позволяют работать со скважностью > 2 при использовании в схеме манипулятора тиратронов.

В связи с этим был разработан, настроен и введен в постоянную эксплуатацию манипулятор вч-генератора на тиристорах, удовлетворяющий всем вышеупомянутым требованиям и обеспечивающий надежное управление вч-генератором как в типовых, так и в специальных режимах ускорения.

1. Схема манипулятора

Как указывалось выше, манипулятор работает в режиме ключа. Манипуляция осуществляется попеременным подключением отрицательного напряжения источника питания манипулятора к сетке вч-генератора на время "молчания" генератора и замыканием цепи сетки через проводящий вентиль на время генерации.

Для того чтобы не вносить дополнительных изменений в схему вч-генератора, было целесообразно при выборе схемы манипулятора остановиться на тиристорном триггере, принципиальная схема которого изображена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, манипулятор представляет собой триггер, нагрузкой одного из плеч которого является сеточная цепь вч-генератора.

Причиной неустойчивой работы тиристорного манипулятора являлась нелинейная несимметричная нагрузка, влияние которой сводится:

1) к шунтированию одного из плеч триггера низкоомным сопротивлением гридлика вч-генератора;

2) к наличию проводимости на участке сетка-катод генераторной лампы вплоть до момента, когда отрицательное напряжение на переключающей емкости станет равным напряжению запирающего по сетке генераторной лампы.

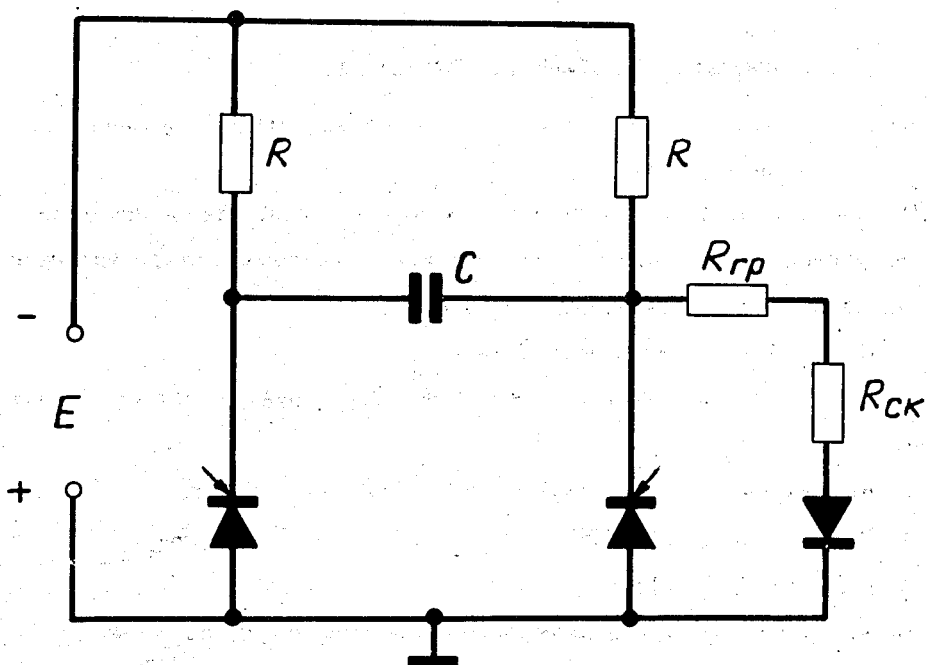


Рис. 1.

Первое приводит к уменьшению постоянной времени заряда переключающей емкости, а следовательно, - к ограничению времени для возможного запираания вентиля. Второе приводит к протеканию тока сетки генератора через отключаемый вентиль, что увеличивает время его деионизации.

Оба фактора, работающие в противоположных направлениях, приводят к неустойчивой работе триггера.

Для уменьшения влияния этих факторов целесообразно выбирать величину сопротивлений в плечах триггера, близкую к сопротивлению гридника вч-генератора, и вентили с малым временем деионизации.

II. Технические требования к манипулятору

Во введении упоминались требования к манипулятору, вызванные новыми режимами ускорения.

Прежде чем перейти к расчету параметров манипулятора, необходимо сформулировать все технические требования, которым должен удовлетворять манипулятор вч-генератора, а именно:

1. Переключаемая мощность 2 квт.
2. Сопротивление гридлика генератора (регулируется при настройке) 280 ом.
3. Амплитуда модулирующего импульса не менее 650 в.
4. Частота модуляции 100 + 150 гц.
5. Скважность 2 + 10.
6. Крутизна фронта при включении 30 мксек, при отключении - 100 мксек.
7. Манипулятор расположен на пульте управления, в связи с чем элементы схемы должны работать без принудительного охлаждения.

III. Условия работоспособности

Для получения устойчивого триггерного режима /4/ тиристорной схемы (рис. 1) необходимо выполнение следующих условий:

1. $\Delta t = 0,7 RC > t_{\text{выкл.}}$, где Δt - интервал времени перезарядки конденсатора C , в течение которого напряжение на конденсаторе остается отрицательным.

$t_{\text{выкл.}}$ - время выключения тиристора.

2. $f_{\text{max}} < \frac{1}{2 t_{\text{min}}}$, где f_{max} - максимальная частота запускающих импульсов. t_{min} - разрешающее время триггера, $t_{\text{min}} = 3,7 RC + t_{\text{вкл.}}$

$t_{\text{вкл.}}$ - время включения тиристора.

3. $t_{\text{зап.}} \geq t_{\text{вкл.}}$, где $t_{\text{зап.}}$ - длительность запускающего импульса.

Для того чтобы шунтирование одного из плеч триггера последовательно соединенными сопротивлениями гридлика вч-генератора ($R_{\text{гр}}$) и промежутка сетка-катод генераторной лампы ($R_{\text{ск}}$) не приводило к неустойчивости в работе триггера, необходимо выполнение условия 1

$$\Delta t = 0,7 R_{\text{oe}} C > t_{\text{выкл.}}, \quad \text{где } R_{\text{oe}} = \frac{R(R_{\text{гр}} + R_{\text{ск}})}{R + R_{\text{гр}} + R_{\text{ск}}}.$$

В действующем вч-генераторе $R_{\text{гр}} = 280$ ом, а $R_{\text{ск}} = 200 + 600$ ом, в зависимости от выбранного режима работы.

$$0,7 R_{\text{oe}} C \geq 70 \text{ мксек} \quad (1)$$

Для обеспечения устойчивой работы манипулятора при частоте модуляции 100 гц и скважности 10 необходимо выполнение условия 2, которое можно переписать в следующем виде:

$$3,7 RC + t_{\text{вкл.}} \leq 1000 \text{ мксек} \quad (2)$$

Таким образом, мы имеем два неравенства (1, 2) для определения величин C и R в схеме манипулятора.

IV. Расчет элементов схемы манипулятора

Амплитуда манипулирующего импульса должны быть не менее 650 в, при этом наибольшая амплитуда выходного перепада напряжения

$U_{\text{м вых.}}$ будет ≈ 750 в и требуемое напряжение источника питания

$$E = (1,01 + 1,10) U_{\text{м вых.}} = 800 \text{ в.}$$

Переключаемый ток сеточной цепи генератора равен $2a$, поэтому необходимый минимальный прямой ток тиристора в условиях естественного охлаждения $I \geq 2a$.

В период разработки манипулятора в наличие имелись тиристоры ВКДУ-50 на номинальное напряжение 500 в, вследствие чего в каждом плече триггера работают два последовательно включенных тиристора.

Сопротивление в плечах триггера

$$R \approx \frac{E}{I} = \frac{800}{2} = 400 \text{ ом}$$

при условии, что $I_{\text{ут}} R \ll E$, где $I_{\text{ут}} = 20$ ма (для ВКДУ-50).

После того как определена величина сопротивления R ($R = R_1 = R_2$ на рис. 2) из условий 1 и 2 находим величину переключающей емкости C :

$$1. 0,7 R C \geq 70$$

$$R_{\text{ое}} = \frac{R (R_{\text{Гр}} + R_{\text{Ск}})}{R + R_{\text{Гр}} + R_{\text{Ск}}} = \frac{400 (280 + 200)}{400 + 280 + 200} = 220 \text{ ом}$$

$$C > \frac{70 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 220} = 10^{-6} \cdot 0,45 = 0,45 \text{ мкф}$$

$$2. 3,7 RC + 20 \cdot 10^{-6} \leq 10^{-3}$$

$$C < \frac{980 \cdot 10^{-6}}{3,7 \cdot 400} = 10^{-6} \cdot 0,65 = 0,65 \text{ мкф}$$

Выбираем $C = 0,5$ мкф ($C = C_{\text{к}}$ на рис. 2).

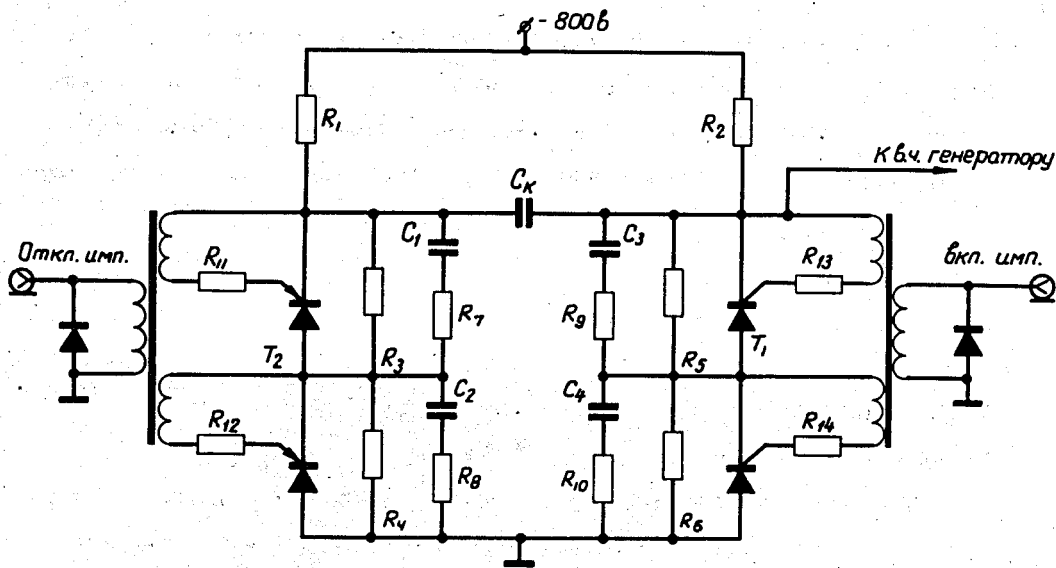


Рис. 2.

При последовательном соединении для выравнивания напряжения на тиристорах (без предварительной проверки приборов по току утечки $I_{ут}$) параллельно каждому включается шунтирующее сопротивление $R_{ш}$, величина которого определяется следующим выражением [5]:

$$R = \frac{n U_T - U_m}{(n-1) I_{ут}}$$

где n - число последовательно соединенных тиристоров, U_T - допустимое напряжение в прямом направлении.

В нашем случае $n = 2$ и

$$R = \frac{2 \cdot 500 - 750}{20 \cdot 10^{-3}} = 12,5$$

$$P = \frac{U^2}{R} = 20$$

На рис. 2 $R = R_3 = R_4 = R_5 = R_6$.

Ввиду того, что схема манипулятора работает в режиме включения и коммутации, для поддержания равномерного распределения напряжения на последовательно соединенных тиристорах целесообразно также использовать шунтирующие емкости $C_{ш}$. Величина C определяется из выражения

$$C > \frac{10 I}{U} = \frac{10 \cdot 2}{500} = 0,04$$

$$C_{ш} = 0,05 \text{ мкф.}$$

На рис. 2 $C = C_1 = C_2 = C_3 = C_4$.

Шунтирующая емкость разряжается через тиристор во время интервала включения и для ограничения тока включения последовательно с каждой емкостью $C_{ш}$ вводится небольшое демпфирующее сопротивление

$$R_{д} = 10 \text{ ом (на рис. 2 } R_{д} = R_7 = R_8 = R_9 = R_{10} \text{)}.$$

При последовательном соединении тиристоров цепь управления каждого тиристора должна быть электрически изолирована от других цепей. В нашем случае это достигается тем, что управляющий электрод каждого тиристора питается от индивидуальной вторичной обмотки импульсного трансформатора управляющего.

Для выравнивания нагрузки включающего сигнала из-за разных входных характеристик управляющих электродов в цепь каждого управляющего электрода поставлено добавочное сопротивление $R_{доб.} = R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_{14} = 30$.

Конструктивно манипулятор на тиристорах выполнен в виде съемного блока размером 310 x 310 x 150 мм и весом 10 кг.

Нагрузочные сопротивления $R = R_1 = R_2$ (рис. 2) общей мощностью 3, 5 квт смонтированы на текстолитовой панели и помещены над блоком манипулятора.

Гнезда управляющих импульсов, контакты источника питания и нагрузочных сопротивлений подведены к специальной панели, которая соединяется с манипулятором посредством шестиштырькового разъема, смонтированного на блоке манипулятора. Внешний вид блока манипулятора показан на рис. 3.

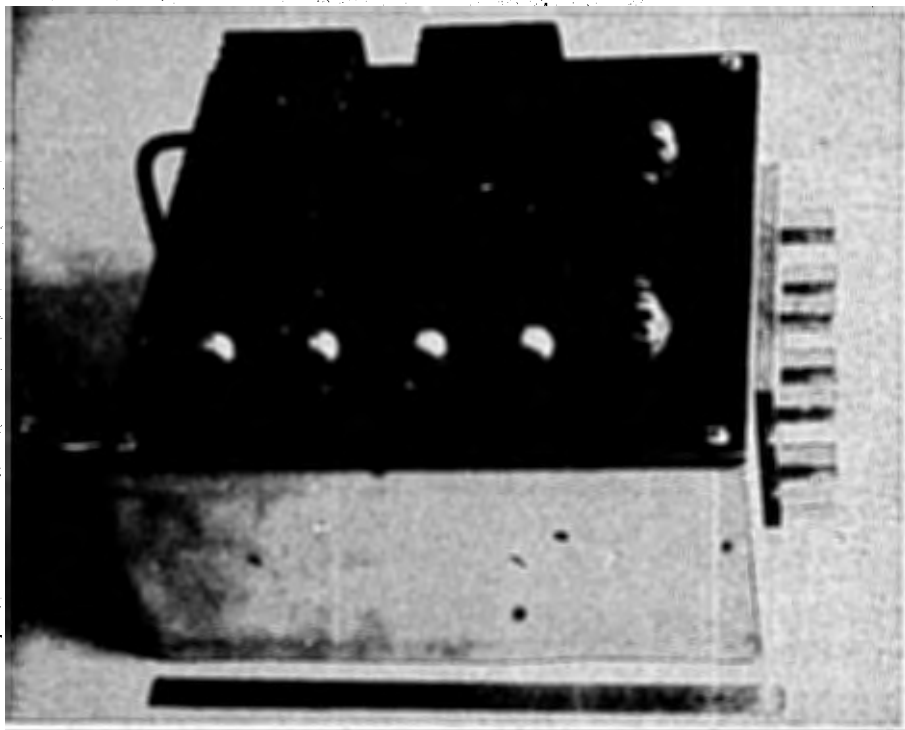


Рис. 3

V. Экспериментальная проверка манипулятора

Была проверена работа манипулятора с нагрузкой при различных скважностях. Для сравнения ниже приводятся осциллограммы манипулирующих импульсов на холостом ходу и с нагрузкой, а также осциллограммы ускоряющего напряжения на дуанте в различных режимах работы (рис. 4-12).

Как этого и следовало ожидать, нагрузка практически не сказывается на форме манипулирующего импульса и на устойчивости работы тиристорного манипулятора.

Заключение

Разработанный, настроенный и введенный в постоянную эксплуатацию тиристорный манипулятор имеет следующие рабочие характеристики:

1. Переключаемая мощность до 2 квт.
2. Максимальная амплитуда манипулирующего импульса $U_{m \text{ вых.}} = 780 \text{ в.}$
3. Частота следования управляющих импульсов от 60 гц до 1 кГц.
4. Скважность 1,25 ± 10.
5. Крутизна фронта при включении 20 мксек; при отключении 70 мксек.
6. Эквивалентное сопротивление нагрузки манипулятора не меньше 200 ом.

В течение 2-летней эксплуатации не было ни одного случая остановки синхротриодного манипулятора из-за сбоя работы манипулятора.

Не менее $3 \cdot 10^9$ переключений, произведенных за это время, не привели к выходу из строя ни одного тиристора.

Форма манипулирующего импульса напряжения на ненагруженном плече триггера ($r_{гр} = 200 \text{ ом}$, $r_{ск} = 600 \text{ ом}$).

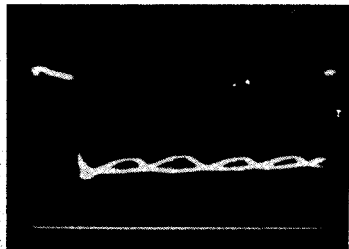


Рис. 4. Манипуляция со скважностью 8.

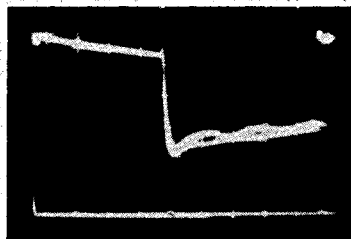


Рис. 5. Манипуляция со скважностью 2.



Рис. 6. Манипуляция со скважностью 1,25.

Форма манипулирующего импульса напряжения на нагруженном плече триггера.

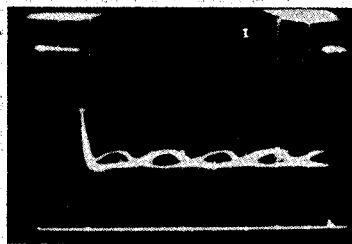


Рис. 7. Манипуляция со скважностью 8.

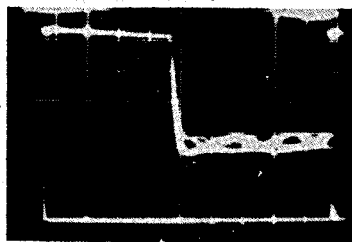


Рис. 8. Манипуляция со скважностью 2.

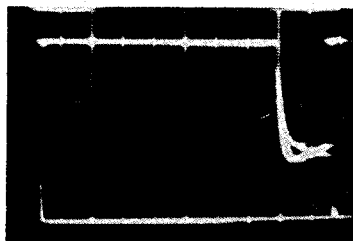


Рис. 9. Манипуляция со скважностью 1,25.

Масштаб по горизонтали 1 дел. = 2 мсек, по вертикали 1 дел. = 200 в.

Осциллограмма ускоряющего напряжения на дуанте. В среднем по диапазон рабочих частот амплитуда ускоряющего напряжения равна 20 кв.

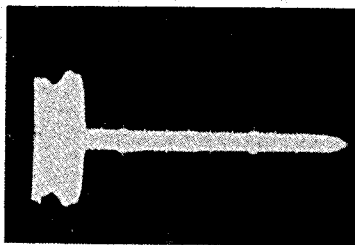


Рис. 10. Скважность 8.

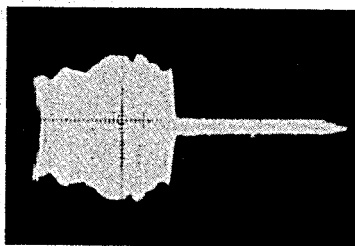


Рис. 11. Скважность 2.

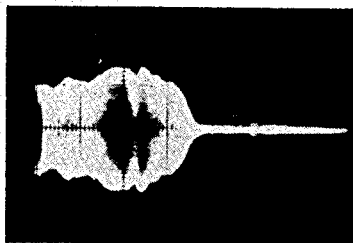


Рис. 12. Скважность 1,25. (Возбуждение вч-генератора частично отсутствует).

Переход с рабочего блока манипулятора на резервный в случае поисков причин неустойчивой работы ускорителя занимал не более 1 + 2 минут.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность Б.Н. Мартченко за помощь, оказанную при проведении экспериментальных исследований, а также В.И. Данилову и Т.Н. Томилиной - за полезное обсуждение.

Литература

1. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич, Е.И. Розанов, Т.Н. Томилина, А.В.Шестов. ПТЭ, 3, 19-22, 1966.
2. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич, Е.И. Розанов, В.И. Смирнов, Т.Н. Томилина. Препринт ОИЯИ Р-2281, Дубна, 1965.
3. И.Б. Енчевич, Т.Н. Томилина. Препринт ОИЯИ, Р9-3675, Дубна, 1968.
4. Л.М. Гольденберг. "Теория и расчет импульсных устройств на полупроводниковых приборах", "Связь", Москва, 1969.
5. Ф. Джентрон, Ф. Гутцвиллер, Н. Голоныяк, Э. фон Застров. "Управляемые полупроводниковые вентили", изд-во "Мир", Москва, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 июля 1972 года.