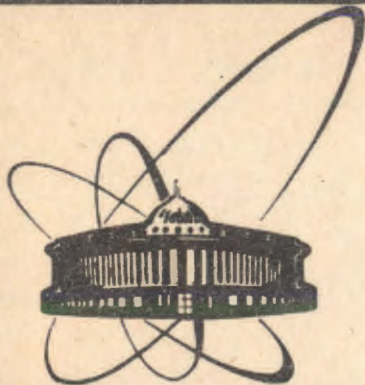


90-548



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

1021/91

P9-90-548

**В.М.Жабицкий, Л.Г.Игнатова, И.Н.Иванов,  
Н.А.Малахов, В.Н.Мамонов, В.А.Мельников,  
Н.В.Пиляр, А.С.Щеулин**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ  
ОДНОБОРОТНОГО ПОДАВЛЕНИЯ  
НАЧАЛЬНЫХ БЕТАТРОННЫХ КОЛЕБАНИЙ  
ПУЧКА I СТУПЕНИ УНК**

**1990**

Для I ступени УНК<sup>[1]</sup> характерной особенностью является быстрое (за 1,5-2 оборота, один оборот составляет  $T_0=70$  мкс) развитие поперечной резистивной неустойчивости. Это определяет необходимость подавления начальных бетатронных колебаний пучка за минимальное время. Известна<sup>[2]</sup> система подавления за несколько оборотов, но быстрее, чем за время перехода когерентных бетатронных колебаний в некогерентные. В ЛСВЭ ОИЯИ предложена и разработана система, обеспечивающая однооборотный режим подавления.

При инжекции протонов из У-70 возможно возникновение когерентных колебаний со случайными амплитудой и фазой, приводящих к максимальным отклонениям от стационарной орбиты до  $A_{\text{макс}} = 3,3$  мм. Допустимые отклонения не должны превышать  $A_{\text{доп}} = 0,15$  мм, что в основном обусловлено параметрами системы подавления когерентной поперечной неустойчивости<sup>[3]</sup>.

Для подавления колебаний с амплитудой 3,3 мм при энергии инжекции 70 ГэВ и стандартном условии пересечения пучком стационарной орбиты в центре ударного магнита необходимо в последнем обеспечить эффективное магнитное поле  $B \cdot l = 0,01$  Тл·м. При применении разработанных в ИФВЭ ударных магнитов<sup>[4]</sup> (длина 1,5 м, ферритовое ярмо, индуктивность 2-3 мкГн) такому полю соответствует максимальная амплитуда импульса тока  $I_0=200$  А. Амплитуда и полярность импульса определяются показаниями двух датчиков положения, фиксирующих начальные отклонения и фазу колебаний пучка. Полная система подавления предусматривает 8 ударных магнитов и 4 униполярных генератора, обеспечивающих независимость темпа подавления от начальной фазы колебаний.

Исходя из временной структуры пучка (см. рис.1) и соотношения между максимальной ошибкой инжекции и максимально допустимым отклонением пучка после подавления ( $A_{\text{доп}} = 0,03 \cdot A_{\text{макс}}$ ), можно сформулировать требования к импульсу

тока (в предположении равномерного распределения начального

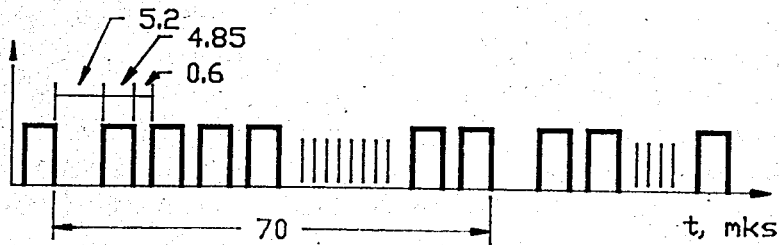


Рис.1. Временная структура пучка I ступени УНК.

отклонения по длительности сгустка). Эти требования в основном отражены на рис.2. Точность и минимальный шаг установки амплитуды импульса - 3% от  $I_0$ .

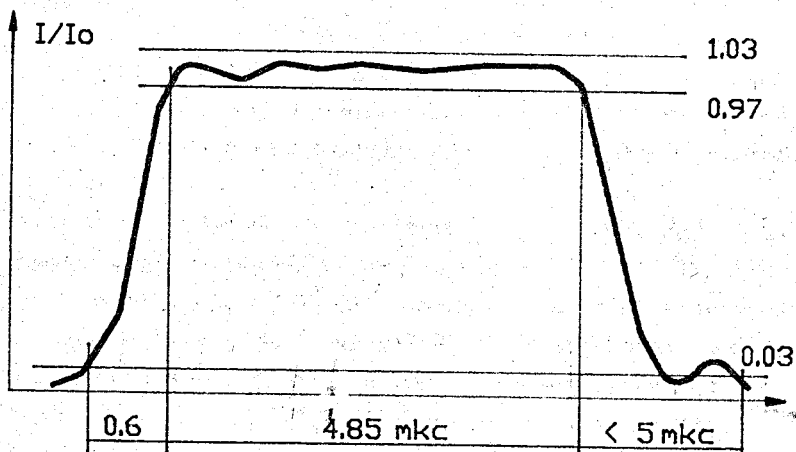


Рис.2. Требуемая форма импульса тока для ударного магнита.

Существенным обстоятельством является необходимость передачи импульса тока от генератора к магниту по длинному (300 м) фидеру с волновым сопротивлением 17 Ом и временем задержки 1,5 мкс.

На обработку сигналов датчиков положения, выработку соответствующих сигналов управления необходимо около 15 мкс (включая время прохождения всех импульсов по линиям связи).

Таким образом, для формирования импульса тока ударного магнита с амплитудой, линейно зависящей от уровня сигнала соответствующего датчика, остается не более 55 мкс с учетом длительности самого импульса.

Импульс тока требуемой амплитуды и длительности удобнее всего формировать с помощью искусственной длинной линии. Если ограничиться не слишком высоким напряжением (менее 20 кВ), то окажется, что суммарная ёмкость этой линии должна составлять 100-300 нФ. Зарядка такой ёмкости в течение 50 мкс с обеспечением пропорциональности напряжения амплитуде сигнала датчика положения пучка с отклонением от линейности не более 3% представляет собой сложную техническую задачу. Поэтому было предложено предварительно заряженную до постоянного напряжения  $U_0$  линию разряжать до необходимого уровня за время  $< 50$  мкс.

Общая схема генератора представлена на рис.3. В начальном состоянии ёмкость линии заряжена до напряжения  $U_0$ , соответствующего максимальному требуемому току в нагрузке.

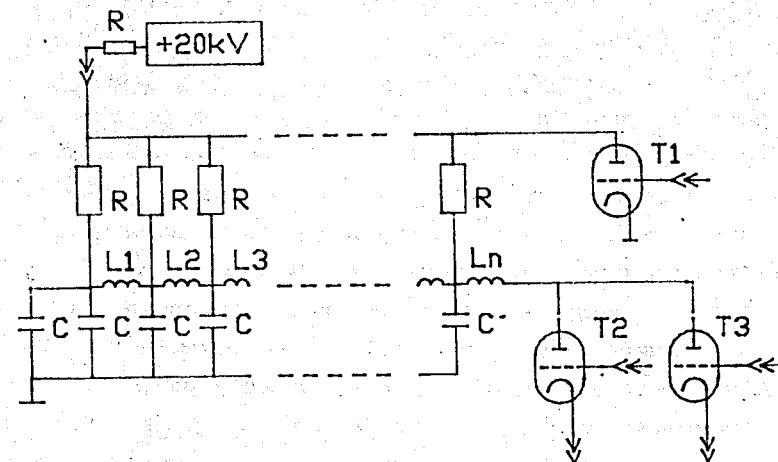


Рис.3. Общая схема генератора.

Эффективное значение разрядных сопротивлений  $R_1-R_N$  выбрано

так, что при срабатывании коммутатора Т1 напряжение спадает до уровня  $0,03 U_0$  за 50 мкс (линия разряжается как сосредоточенная ёмкость). Коммутатор Т2 срабатывает через время  $T_0$  после момента измерения. Закон преобразования  $A_{изм}$  во время включения Т1 выбирается таким образом, чтобы к моменту срабатывания Т2 на линии было напряжение, соответствующее току, необходимому для демпфирования  $A_{изм}$ . Чем больше  $A_{изм}$ , тем позже включается Т1. Эпюры, иллюстрирующие принцип работы схемы, показаны на рис. 4.

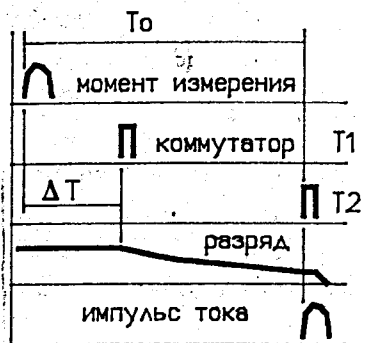


Рис. 4. Временная диаграмма работы системы.

Основная особенность принципиальной схемы формирующей линии определяется необходимостью её частичного разряда как сосредоточенной ёмкости. Общая шунтировка звеньев линии разрядными резисторами (ТВО-20 1 кОм с сортировкой по естественному разбросу) приводит к появлению наклона плато импульса, который выходит за допустимые пределы. Для компенсации этого эффекта в линию введена неоднородность за счёт линейного изменения значений индуктивностей от звена к звену. Эти же индуктивности являлись основными элементами настройки линии при компенсации естественного разброса параметров ёмкостей (использовались конденсаторы К15-10 15нФ  $\pm 30\%$ ). Введение третьего коммутатора Т3, аналогично Т2, но включённого на магнит с противоположной обмоткой, позволило получать разнополярные импульсы магнитного поля от одного генератора с однополярным зарядным напряжением. Собранный линия имеет эффективное волновое сопротивление 17 Ом, что

обеспечило её согласование с фидером. Согласование фидера с магнитом было достигнуто включением магнита в LC-звено с тем же волновым сопротивлением. В качестве коммутаторов были использованы тиратроны ТГИ1-1000/25, обеспечивающие надёжную работу при токах до 1,5 кА с временным разбросом по запуску не более 100 нс. Следует отметить, что эти тиратроны стабильны при работе с напряжением на линии не ниже 140 В.

Для выполнения экспериментов был создан специальный стенд, включающий ПЭВМ "Правец-16". Электронные блоки, обеспечивающие синхронизацию системы, управление режимом генератора, а также сбор и первичную обработку информации (включая цифровой осциллограф), выполнены в стандарте КАМАК. Связь с ПЭВМ осуществляется через контроллер КК-009<sup>[5]</sup>. Кроме того, был изготовлен макет ударного магнита с индуктивностью, варьируемой в пределах 1-6 мкГн.

Стендовые эксперименты показали соответствие реальных временных, амплитудных и точностных параметров выходного импульса расчётным во всём динамическом диапазоне (изменение амплитуды импульса тока в нагрузке в 32 раза при изменении задержки срабатывания Т1 на 50мкс). Анализ реальной формы разрядной кривой позволил оценить минимальный необходимый шаг цифровой задержки. На рис. 5 приведены типичные осциллограммы

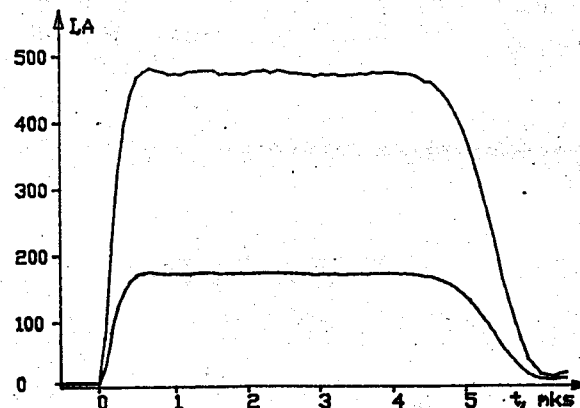


Рис. 5. Типичные осциллограммы тока в нагрузке.

при различных задержках  $T_1$ . При зарядке линии до 18 кВ и максимальной задержке запуска тиратрона  $T_1$  ток в нагрузке составил 500 А.

Таким образом, удовлетворены основные требования, обеспечивающие однооборотный режим подавления начальных бетатронных колебаний пучка.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить признательность Иванову Г. А., Лебедеву Н. И., Фатееву А. А., Попову С. А. за плодотворные обсуждения, а также Швецову С. В. за большой объем монтажных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Агеев и др. - В сб.: Труды X всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, ОИЯИ, Д9-87-105, Дубна, т.2, с.430.
2. В. И. Балбеков. - В сб.: Труды IX всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, ОИЯИ, Дубна, т.2, с.360.
3. E.Brouzet et al. - In: NS-32, No.5, p.2135 (1985).
4. В. Н. Андреев и др. - В сб.: Труды IX всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, ОИЯИ, Дубна, т.2, с.395.
5. А. Георгиев, И. Н. Чурин. - Сообщение ОИЯИ P-10-88-381, Дубна 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 декабря 1990 года.