

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P13-84-824

Г.В.Долбилов, В.А.Петров, А.А.Фатеев

МАГНИТНЫЙ ГЕНЕРАТОР  
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ  
С КОРОТКИМ СПАДОМ

Направлено в журнал  
"Приборы и техника эксперимента"

1984

Для питания отклоняющих систем ускорительных установок в некоторых случаях необходимы мощные высоковольтные импульсы с коротким спадом и относительно малой амплитудой послеимпульсов. Обычно для формирования таких импульсов используются разрядники. Однако в устройствах, работающих с большой частотой следования импульсов, где применение разрядников затруднено, часто используют нелинейные линии с ударными волнами<sup>1,2/</sup>. Описываемый генератор с нелинейной линией отличается простотой и высокой мощностью /до 150 МВт/. Он предназначен для питания корректора электронного пучка в коллективном ускорителе тяжелых ионов<sup>3/</sup>.

В схеме генератора /рис.1/ использовано магнитное звено усиления мощности. Исходный импульс формируется при разрядке накопительной емкости  $C_1$  через тиратрон ТГИ1-2500/50 и индуктивность  $L_1$  на первичную обмотку повышающего трансформатора с коэффициентом трансформации  $K = 6$ . При этом происходит зарядка емкости  $C_2$  через вторичную обмотку трансформатора, дроссель  $L_2$ , короткозамкнутую линию  $\Phi$  и сопротивление  $R_2$ . Ферриты в линии  $\Phi$  предварительно приведены в насыщенное состояние током от источника ИТ. Этот же ток, протекая по вторичной обмотке трансформатора, размагничивает его сердечник. Сопротивление  $R_2$ , необходимое для уменьшения послеимпульсов, мало влияет на процесс заряда емкости  $C_2$  ( $\sqrt{L_1/C_1} \gg R_2/K^2$ ). Параметры схемы подбираются

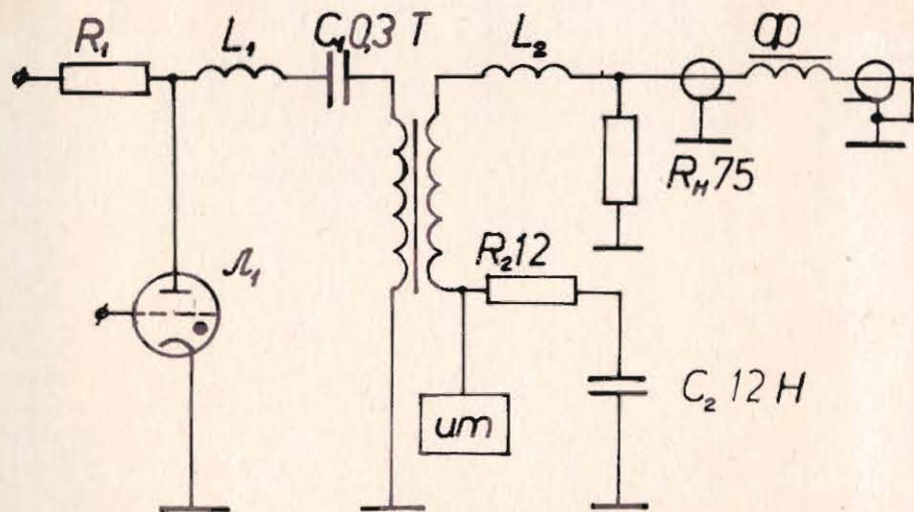


Рис.1. Схема генератора. Л<sub>1</sub> - ТГИ-2500/50.

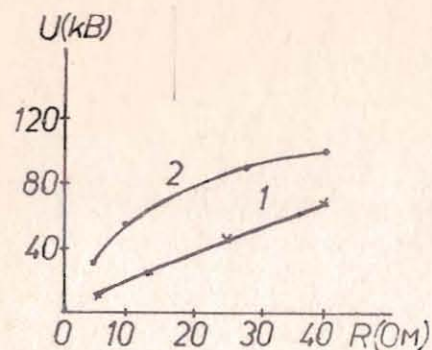


Рис.2. Нагрузочные характеристики трансформатора без звена сжатия /1/ и со звеном сжатия /2/.

таким образом, что к моменту времени  $t \sim 2$  мкс/, когда напряжение на емкости  $C_2$  достигает максимума, сердечник трансформатора переходит в насыщенное состояние, т.е. выполняется условие  $\pi\sqrt{L_1 C_2} \approx 2SW\Delta B/U_0$ , где  $S$  - сечение

трансформатора,  $W$  - число витков в первичной обмотке,  $\Delta B$  - перепад магнитной индукции от начальной до насыщения,  $U_0$  - зарядное напряжение.

В результате емкость  $C_2$  разряжается через вторичную обмотку замагниченного трансформатора и индуктивность  $L_2$  на параллельно подключенные короткозамкнутую обостряющую линию и сопротивление нагрузки  $R_H$ . Фронт импульса на нагрузке  $t \sim 200$  нс/ определяется главным образом индуктивностью вторичной обмотки трансформатора, находящегося в замагниченном состоянии. Эффект усиления мощности можно видеть на рис.2, где приведены нагрузочные характеристики трансформатора без звена сжатия /1/ и со звеном сжатия /2/. Для импульса, формирующегося на входе линии  $\Phi$  при разрядке емкости  $C_2$ , линия является ненасыщенной и обладает волновым сопротивлением  $\rho_0\sqrt{\mu_y}$ , где  $\rho_0$  - волновое сопротивление линии в насыщенном состоянии, а  $\mu_y$  - эффективная магнитная проницаемость  $^{1/4}$ , зависящая от амплитуды тока в линии.

На фронте импульса, распространяющегося в нелинейной линии с ферритом, образуется ударная электромагнитная волна  $^{1/4}$ , приводящая к уменьшению длительности фронта до 1 нс. Фронт импульса отражается от короткозамкнутого конца линии, движется ко входу линии и формирует спад импульса в нагрузке. При этом в нагрузке возникают послеимпульсы, которые можно условно разделить на три вида:

1. Пологая "ступенька", образующаяся у основания спада импульса.

2. Колебания с периодом, равным времени двойного пробега волны по замагниченной линии.

3. "Медленные" колебания с периодом  $T > 1$  мкс, возникающие из-за наличия тока во вторичной обмотке трансформатора и неполной разрядки емкости  $C_2$  к моменту формирования спада.

Подавление колебаний с периодом, равным времени двойного пробега по замагниченной линии  $/50$  нс/, сводится к согласованию линии  $\Phi$  с нагрузкой  $R_H \approx \rho_0\sqrt{\mu_{ост}}$ , где  $\mu_{ост}$  - остаточная эффективная магнитная проницаемость ( $\mu_{ост} \approx 1$ ). Влиянием остальных элементов схемы можно пренебречь при рассмотрении этого ти-

па колебаний из-за большой индуктивности вторичной обмотки трансформатора.

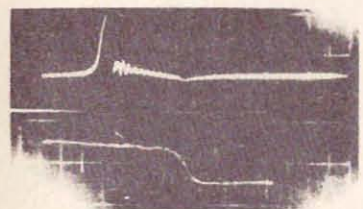
Возникновение "ступеньки" на спаде импульса обусловлено наличием паразитной емкости проводника  $L_2$ , соединяющего выход трансформатора со входом обостряющей линии, по отношению к земле, и неполным обострением импульса в нелинейной линии. Неполное обострение может быть устранено только значительным увеличением длины обостряющей линии, что нежелательно из-за увеличения амплитуды "медленных" колебаний. Влияние проводника  $L_2$  сводится к минимуму выбором его геометрии. Дальнейшее снижение уровня "ступеньки" возможно за счет некоторого рассогласования волнового сопротивления замагниченной линии с сопротивлением нагрузки, т.е. выбора  $\rho_0 < R_H/\sqrt{\mu_{ост}}$ . При этом, конечно, возникают колебания с периодом, равным времени двойного пробега по линии. Оптимальное значение  $\rho_0\sqrt{\mu_{ост}}$  подбирается экспериментально путем изменения геометрических размеров обостряющей линии и ферритовых колец в ней.

Для подавления "медленных" колебаний требуется соблюдение нескольких условий.

1. Ток размагничивания к моменту срабатывания схемы должен иметь возможно меньшую величину. Это условие легко реализуется при использовании импульсного источника тока.

2. Коммутатор /тиратрон/ должен закрываться к моменту полного разряда емкости  $C_2$ , что достигается подбором соотношения емкостей  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_1 < C_2 K^2$ ). В данном генераторе  $C_1 = 0,7 C_2 K^2$ .

3. Сопротивление  $R_2$  должно быть достаточно велико, чтобы перевести контур, образованный емкостью  $C_2$  и вторичной обмоткой трансформатора, в режим, близкий к апериодическому. В то же время не следует слишком увеличивать сопротивление  $R_2$ , так как при этом происходит уменьшение напряжения на нагрузке.



a  
б

Рис.3. Осциллограммы импульса на выходе генератора. Сопротивление нагрузки 75 Ом, амплитуда 100 кВ. Скорость развертки: а - 500 нс/деление, б - 2 нс/деление.

Форма импульса напряжения на нагрузке  $R_H = 75$  Ом при различных скоростях развертки показана на рис.3. Амплитуда импульса  $U_H = 100$  кВ при зарядном напряжении  $U_3 = 50$  кВ. Длительность спада не превышает 1 нс /постоянной времени измерительной цепи/. Относительная величина амплитуды послеимпульсов не превышает  $\pm 15\%$ .

Высоковольтный трансформатор имеет четыре симметрично расположенные одновитковые первичные обмотки и две 6-витковые вторичные обмотки. Обмотки намотаны на шести пермалловых сердечниках общим сечением  $200$  мм<sup>2</sup>.  $C_1$  - конденсаторная батарея, состоящая

из трех конденсаторов типа ИМ70-0,1У3, расположенных симметрично относительно тиратрона для уменьшения паразитной индуктивности. Связь с первичными витками трансформатора осуществляется четырьмя кабелями РК-50-70-11 длиной 2,0 м.  $L_1$  - паразитная индуктивность разрядного контура. Емкость  $C_2$  собрана из конденсаторов типа К-75-35.

Обостряющая короткозамкнутая линия коаксиального типа длиной 1,5 м содержит ферритовые кольца 600ННК32x20x6, заполнена трансформаторным маслом и обладает волновым сопротивлением  $\rho_0 \approx 30 \text{ Ом}$ .

Генератор работает с частотой до 50 Гц. Основная рассеиваемая мощность выделяется на гасящем сопротивлении  $R_2$ , набранном из резисторов типа ТВ0-60.

Временная нестабильность положения спада импульса на нагрузке  $\Delta t$  определяется нестабильностью зарядного напряжения ( $\Delta t \approx \approx 1 \text{ мкс } \Delta U_3 / U_3$ ). Таким образом, для достижения  $\Delta t < 1 \text{ нс}$  необходимо стабилизировать зарядное напряжение с точностью 0,1%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Катаев И.Г. и др. ПТЭ, 1972, №5, с.162-132.
2. Гельцель Ю.М. и др. ПТЭ, 1966, №3, с.101-107.
3. Саранцев В.П., Перельштейн Э.А. Коллективное ускорение ионов электронными кольцами. Атомиздат, М., 1979.
4. Катаев И.Г. Ударные электромагнитные волны. "Сов. радио", М., 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 декабря 1984 года.

Долбилов Г.В., Петров В.А., Фатеев А.А. P13-84-824  
Магнитный генератор высоковольтных импульсов  
с коротким спадом

Описана схема генератора, позволяющего получить на нагрузке 75 Ом импульс напряжения с амплитудой до 100 кВ, временем спада менее 1 нс и относительной амплитудой послеимпульсов не более 15%. В генераторе используется короткозамкнутая линия, заполненная ферритом, в которой образуются ударные волны. Для повышения мощности применяется магнитное звено. Коммутатором является тиратрон ТГИ1-2500/50. Рассмотрены основные причины существования послеимпульсов и способы уменьшения их амплитуды.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод А.В.Дмитренко

Dolbilov G.V., Petrov V.A., Fateev A.A. P13-84-824  
Magnetic Generator of High Voltage Pulses  
with a Short Decay Time

The scheme of a generator allowing to obtain the voltage pulse amplitude up to 100 kV, pulse decay time less than 1 ns and relative amplitude of afterpulses not more than 15% on the load 75 is described. A filled ferrite short circuited line forming shock waves is used in the generator. Magnetic unite is used to rise the power. Thyratron TGII-2500/50 is a commutator. The main causes of the existence of the afterpulses and the ways of their amplitude reduction are considered.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984