

*В. И. ЧУМАКОВ, д-р техн. наук, А. В. СТОЛЯРЧУК, М. А. ОСТРИЖНОЙ,
Ю. Я. ВОЛКОЛУПОВ, канд. физ.-мат. наук, Т. А. СЕМЕНЕЦ, Ю. А. ЛОШАКОВ*

ФОРМИРОВАТЕЛИ ИМПУЛЬСОВ СШП ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ С МАГНИТНЫМ ПРЕРЫВАНИЕМ ТОКА

Введение

В системах возбуждения сверхширокополосных (СШП) излучателей применяются различные устройства формирования импульсов короткой длительности. Наиболее известными являются схемы, основанные на зарядке апертурной антенны импульсом высокого напряжения [1], непосредственное возбуждение антенны высоковольтным импульсом через повышающий трансформатор с обострителем [2], возбуждение антенны электронным пучком сильноточного ускорителя [3]. К недостаткам указанных систем относится малая энергия излучения, обусловленная невозможностью накопления большой энергии в электрическом поле антенны, громоздкость и сложность оборудования, и невозможность работы в частотном режиме.

Индуктивные накопители выгодно отличаются от емкостных накопителей меньшим занимаемым объемом [4]. Так, при запасании энергии в форме магнитного поля с напряженностью 50 кЭ, ее плотность будет примерно в 1000 раз больше, чем в конденсаторе.

В данной работе показана перспектива использования индуктивных накопительных схем с магнитным прерыванием тока для возбуждения апертурной антенны. Разработанная система позволяет генерировать последовательности импульсов. В качестве прерывателя тока используется плазменный аналог ВП – магнитный прерыватель тока (МПТ). Испытания прототипа антенны типа ТЕМ рупора при возбуждении с помощью высоковольтного генератора импульсных напряжений (ГИН) без обострителя показали, что пробой внутреннего разрядника характеризуется нестабильностью, а вся система обладает слабой электропрочностью. Внешний вид установки с подключенной к ГИНу антенной и фотография срабатывания разрядников в антенне приведены на рис. 1.

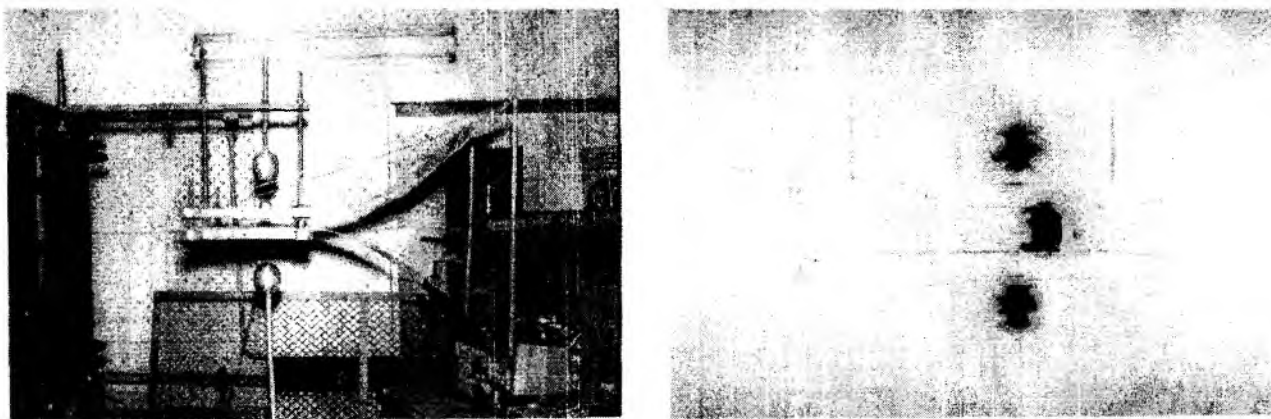


Рис. 1

Для передачи энергии от индуктивного накопителя в нагрузку необходимо разомкнуть цепь питания накопителя. Причем эффективность передачи обратно пропорциональна времени размыкания цепи, которое не должно превышать 10 мкс при запасаемых энергиях порядка единиц мегаджоулей. В случае обострения тока, для получения высокого напряжения на индуктивности время размыкания должно быть очень мало (<1 мкс). В подобных системах обострения используются, как правило, взрывающиеся проводники (ВП). Основной

недостаток ВП как размыкателей – невозможность генерирования последовательности импульсов. Выбор направления исследования заключался в апробации традиционных схем с ВП-обострителем [4] с целью получить высокое напряжение на индуктивном накопителе. Для экспериментальной проверки эффективности ВП-обострителя и магнитного прерывателя были испытаны аналогичные схемы с заменой ВП на магнитный прерыватель.

МПТ представляет собой трехэлектродный управляемый газовый разрядник типа РГ-24, размещенный внутри одновиткового соленоида. Механизм работы МПТ заключается в следующем. Собственное магнитное поле плазменного столба складывается с внешним магнитным полем, образованным одновитковым соленоидом. Вследствие усиления эффекта пинчевания разрядного столба внешним магнитным полем ток в цепи обрывается.

В данной работе описан ГИН, разработанный по результатам предварительных испытаний схем из [4]. Отличительной особенностью настоящего генератора является реализация эффекта синхронного прерывания тока и изменения индуктивности. Для расширения возможностей применения индуктивных накопителей в схемах генерации высоковольтных импульсов использован способ, ранее предложенный для питания электронной пушки [5].

1 ГИН с нелинейной индуктивностью

Схема первого варианта ГИН с магнитным прерывателем тока, изображенная на рис.2, состоит из емкости C_n , коммутатора K_I и накопительной индуктивности L_n . Последовательное соединение индуктивностей L_n и L_o образует индуктивный делитель напряжения, необходимый для запуска разрядника P_I . L_n – катушка подмагничивания сердечника L_n . Сам разрядник размещен непосредственно внутри одновиткового соленоида. Нагрузкой схемы служит ТЕМ-рупор. Указанная выше отличительная особенность генератора заключается в том, что накопительная индуктивность L_n нелинейная.

Устройство работает следующим образом. В начале осуществляется запуск схемы подачей управляющего импульса на коммутатор K_I , после срабатывания которого емкость C_n начнет разряжаться через индуктивный делитель напряжения L_n, L_o . Синхронно с запускающим импульсом коммутатора K_I подается импульс запуска на управляющий электрод разрядника P_I и напряжение на обмотки катушки подмагничивания и магнитный прерыватель тока. При поступлении напряжения с индуктивного делителя L_n, L_o на разрядник P_I последний пробивается и начинает проводить электрический ток. В момент достижения значения тока, близкого к максимуму, напряженность магнитного поля МПТ достигает порогового значения и ток в разряднике P_I обрывается. Синхронно с нарастанием магнитного поля в прерывателе уменьшается значение индуктивности L_n вследствие протекания тока через катушку подмагничивания и, как результат, насыщения магнитного сердечника. На выходе генератора формируется импульс напряжения ЭДС самоиндукции как совокупность двух процессов, происходящих в цепи:

– уменьшение абсолютного значения тока в цепи вследствие обрыва разрядного столба

$$\text{магнитным полем } U_{\text{вых}} = -L_n \frac{di}{dt};$$

– уменьшение абсолютного значения накопительной индуктивности вследствие насыщения

$$\text{сердечника } U_{\text{вых}} = -\frac{dL_n}{dt} I,$$

где $\frac{di}{dt}$ – скорость обрыва тока в разряднике; $\frac{dL_n}{dt}$ – скорость изменения индуктивности.

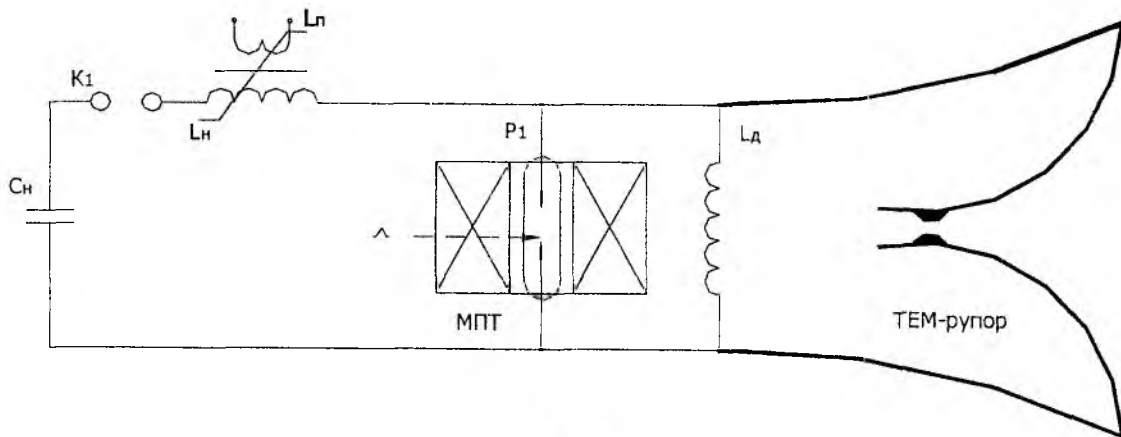


Рис. 2

В [5] описан ГИН с линейной индуктивностью и тиратроном, установленным в короткую магнитную линзу, в качестве магнитного прерывателя. Проведенные авторами исследования показали, что при зарядном напряжении 1 кВ на нагрузке был сформирован импульс напряжения амплитудой 25 кВ при характерных временах обрыва тока 100-140 нс. Частотный режим работы ГИН определялся условиями заряда емкости и паспортными параметрами тиратрона. В проведенных опытах максимальная частота составила ~ 250 Гц.

Однако при тщательном анализе вышеприведенной схемы, а также схемы из [5] были выявлены следующие основные недостатки:

- необходимость использования трехэлектродного разрядника (тиратрона);
- наличие дополнительного запускающего генератора;
- использование индуктивного делителя напряжения, для обеспечения напряжения на разряднике (на аноде тиратрона);
- часть индуктивного делителя является нагрузкой генератора и находится под полным выходным напряжением, вызывая необходимость ее усиленной изоляции с расчетом на максимальную амплитуду напряжения и неоправданного усложнения всей конструкции;
- необходимость изоляции поджигающего электрода (сетки, катода тиратрона) и его конструктивное сочетание с катушкой магнитного прерывателя (магнитной линзы).

2 ГИН с магнитным ключом

С учетом всех вышеперечисленных недостатков была разработана новая конструкция ГИН с применением магнитного ключа для запуска [6]. Усовершенствованная схема ГИН (рис. 3) дополняет предыдущую следующими элементами: запускающей емкостью C_z , коммутатор K_1 – низковольтный, импульсным трансформатором ИТ и разделительной емкостью C_p . Разрядник P_1 , в отличие от схемы на рис. 2, неуправляемый, что позволило существенно упростить конструкцию магнитного прерывателя тока.

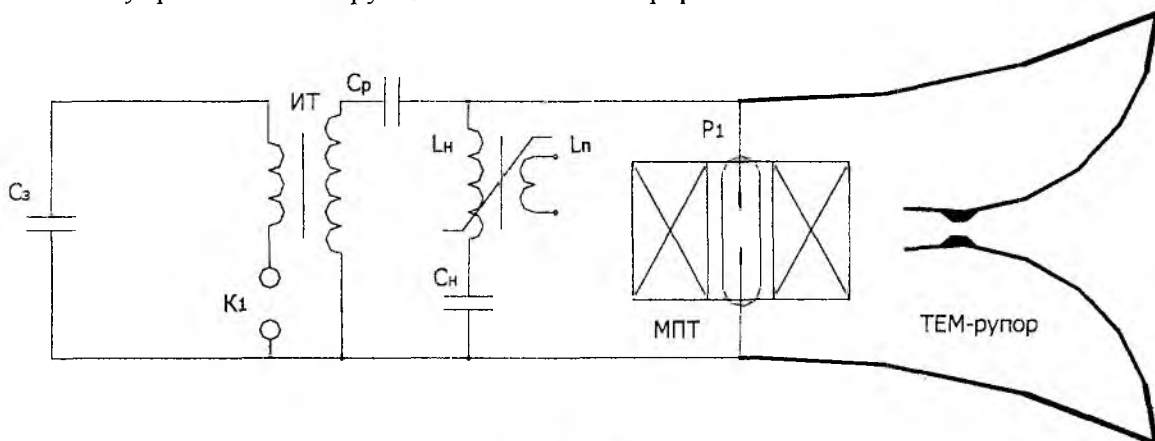


Рис. 3

Принцип работы устройства заключается в следующем. Генератор запускается коммутатором K_1 , разряжая запускающую емкость C_3 на первичную обмотку импульсного трансформатора ИТ с коэффициентом трансформации k . Умноженный в k раз высоковольтный импульс со вторичной обмотки ИТ через разделительную емкость C_p пробивает разрядник P_1 . В этот момент накопительная индуктивность L_n находится в ненасыщенном состоянии и благодаря своему высокому абсолютному значению, защищает накопительную емкость C_n от пробоя. После поджига разрядника P_1 емкость C_n начинает разряжаться через индуктивность L_n . Ток в цепи начинает расти, переводя сердечник L_n в насыщенное состояние, вместе с тем, синхронно с пробоем разрядника P_1 , подается напряжение на подмагничивающую обмотку L_n , для ускорения процесса насыщения сердечника $L_n \left(\frac{dL_n}{dt} \right)$, и на обмотку магнитного прерывателя тока. Далее процессы, протекающие в схеме, идентичны процессам в схеме на рис. 2.

Разработка проводилась в рамках создания в ХНУРЭ комплекса сильноточного и плазменного ускорителей [7, 8].

Список литературы: 1. *К.П. Грачев, Н.Н. Грицов, И.И. Есаков, К.В. Ходатаев* Искровой сверхвысокочастотный генератор-излучатель высокой пиковой мощности // Радиотехника и электроника, 1994. Вып. 12. С. 2044 – 2049. 2. *Н.И. Бойко, И.А. Сафронов, Л.Д. Тандий* АШЭМИТ – аппарат для широкополосной электромагнитной импульсной терапии // Приборы и техника эксперимента, 2000. №5. С. 101 – 108. 3. *Н.И. Гапоненко, В.И. Курилко и др.* Возбуждение изолированной штыревой антенны сильноточным РЭП // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Ядерно-физические исследования. 1997. Т.11. Вып. 4,5 (31, 32), С. 151 – 153. 4. *Г. Кнопфель.* Сверхсильные магнитные поля: Пер. с англ. М.: Мир. 1972. 291 С. 5. *С.А. Корнеев, И.Б. Енчевич, М.К. Михов.* Генератор импульсного напряжения для питания электронной пушки // ПТЭ, 1987. № 2. С. 13 – 15. 6. *Ю.Е. Коляда, В.И. Федун, И.Н. Онищенко, Е.А. Корнилов* // Приборы и техника эксперимента, 2001. № 2 С. 89 – 91. 7. *В.И. Чумаков, М.А. Острижной и др.* Визуальные исследования характеристик высоковольтного разряда в атмосфере // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 116. 8. *В.И. Чумаков, М.А. Острижной и др.* Экспериментальные исследования сильноточного разряда магнитоплазменного компрессора в атмосфере // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 115. С. 106 – 110.

*Харьковский национальный
университет радиозлектроники*

Поступила в редколлегию 26.02.2004