

## ГИГАВАТТНЫЙ ГЕНЕРАТОР С РАЗРЯДОМ ИНДУКТИВНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

© 2013 г. А. Г. Жерлицын, Г. Г. Канаев

Физико-технический институт Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 2а  
E-mail: zherl@tpu.ru

Поступила в редакцию 28.04.2012 г.

Представлена конструкция сильноточного наносекундного генератора с разрядом индуктивного накопителя энергии на активную нагрузку 15 Ом и приведены результаты испытаний. Проведена оптимизация параметров размыкателя, выполненного в виде электровзрывного прерывателя тока. При напряжении на емкостном накопителе энергии 50 кВ на нагрузке получено напряжение амплитудой 500 кВ, длительностью импульса на полувысоте 250 нс с импульсной мощностью до 20 ГВт.

DOI: 10.7868/S0032816213030154

### ВВЕДЕНИЕ

Для создания компактных источников энергии с импульсной мощностью в десятки гигаватт наиболее перспективным является применение индуктивных накопителей энергии [1, 2] с быстродействующими высоковольтными выключателями (размыкателями) больших токов. В настоящее время из всех видов размыкателей (металлических, взрывных, электровзрывных, плазмозероизионных, полупроводниковых и т.п.) наиболее широкое применение нашли электровзрывные прерыватели (э.в.п.) тока. Они просты в конструктивном исполнении, надежны, обладают стабильностью (повторяемостью параметров), достаточно высоким быстродействием ( $10^{-8}$ – $10^{-7}$  с) и представляют наибольший интерес в устройствах с индуктивными накопителями энергии.

Поэтому в рассматриваемом сильноточном наносекундном генераторе с разрядом индуктивного накопителя в качестве размыкателя был использован э.в.п. Генератор выполнен по классической схеме (рис. 1).

В состав генератора входят первичный накопитель энергии  $C$  (емкостный накопитель энергии или взрывомагнитный генератор), индуктивный накопитель, коммутаторы (разрядники)  $K_1$  и  $K_2$ , э.в.п. ( $R_s$ ) и нагрузка  $R_n$ . В проводящем состоянии размыкателя  $R_s$  индуктивный накопитель  $L$  заряжается током  $I_0$  от накопителя  $C$ . При размыкании  $R_s$  на последнем возникает импульс напряжения, во много раз превышающий напряжение на накопителе  $C$ , которое прикладывается в нагрузке  $R_n$ .

В настоящее время для оценки параметров э.в.п. (материал проводника, его геометрические размеры, количество проводников) используются различные модели взрыва проводника, среди которых наиболее разработана и экспериментально проверена магнитогидродинамическая модель (м.г.д.) [3]. М.г.д.-методы расчетов используются как для прогнозирования работы электрических схем, так и для изучения физических явлений, сопровождающих электровзрыв. Вместе с тем, м.г.д.-расчеты достаточно громоздки.

Теория подобия и моделирования [4, 5] дает возможности при минимальной информации о механизме явления взрыва с достаточной для конструирования точностью оптимизировать схему по выбранному параметру и прогнозировать основные ее характеристики, такие как амплитуда и длительность импульсов тока и напряжения, энергия, переданная в нагрузку, время взрыва и др. Поэтому нами в разработке генератора для оценки параметров э.в.п. была использована теория подобия.

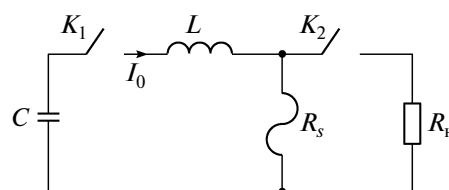
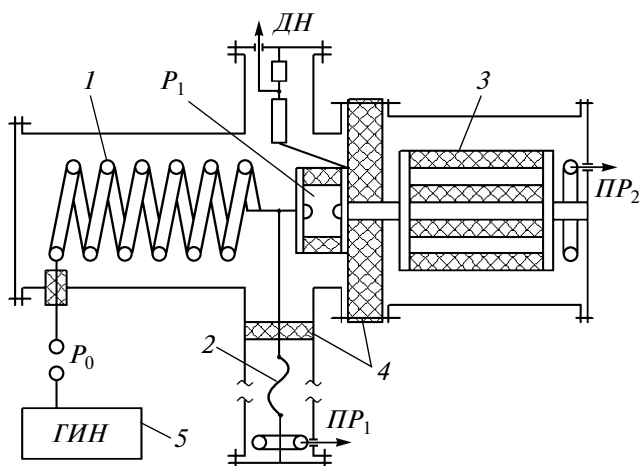


Рис. 1. Электрическая схема генератора.  $C$  – емкостный накопитель энергии;  $R_s$  – размыкатель (электровзрывной прерыватель тока);  $R_n$  – нагрузка;  $K_1, K_2$  – разрядники.



**Рис. 2.** Конструкция генератора. 1 – индуктивный накопитель энергии; 2 – размыкатель (электровзрывной прерыватель тока); 3 – активная нагрузка; 4 – изолятор; 5 – емкостный накопитель энергии (ГИН); ДН – делитель напряжения;  $P_0$ ,  $P_1$  – разрядники;  $PP_1$ ,  $PP_2$  – пояса Роговского.

Ниже описана конструкция сильноточного наносекундного генератора с разрядом индуктивного накопителя на активную нагрузку, представлены результаты испытаний генератора и его основные характеристики.

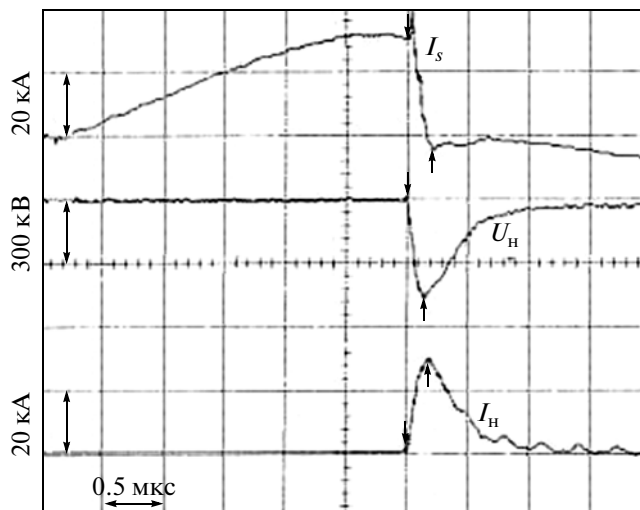
### КОНСТРУКЦИЯ ГЕНЕРАТОРА

Конструкция генератора приведена на рис. 2.

Генератор содержит первичный емкостный накопитель в виде трехкаскадного генератора импульсного напряжения (ГИН) 5 с выходным двухэлектродным разрядником  $P_0$ , индуктивный накопитель энергии (и.н.э.) 1, размыкатель 2 – э.в.п., разделительный разрядник  $P_1$  и активную нагрузку 3. Объемы, занимаемые и.н.э., э.в.п. и нагрузкой, разделены изоляторами 4.

Трехкаскадный воздушный ГИН собран из конденсаторов КПИ-63-3, каждый каскад содержит по три параллельно соединенных конденсатора емкостью 3 мкФ с напряжением заряда 50 кВ. Электроды искровых разрядников ГИН и выходного разрядника  $P_0$  – сферические из нержавеющей стали. Запуск первого каскада – тригatronный от внешнего генератора. Емкость ГИН в “ударе” составила 3 мкФ при выходном напряжении 120 кВ.

Индуктивный накопитель энергии выполнен в виде спиральной катушки, изготовленной из медной трубки  $\varnothing 18$  мм и имеющей 6 витков, намотанных с шагом 40 мм. Измеренная индуктивность катушки составила 3.75 мкГн.



**Рис. 3.** Типичные осциллограммы тока  $I_s$  э.в.п., напряжения на нагрузке  $U_H$ , тока в нагрузке  $I_H$ .

Электровзрывной прерыватель тока представляет собой набор параллельно расположенных медных проводников в полиэтиленовой камере в среде технического азота под давлением. Разделительный разрядник  $P_1$  работал в режиме самопробоя в среде элегаза под давлением.

Нагрузка 3 конструктивно выполнена в виде двух полых диэлектрических цилиндров разного диаметра, расположенных соосно между торцевыми электродами. Образованный таким образом объем между цилиндрами заполнялся водным раствором  $Al(NO_3)_3$ . Сопротивление раствора, измеренное между торцевыми электродами, составляло  $\sim 15$  Ом. Объемы, занимаемые и.н.э. и нагрузкой, заполнялись техническим трансформаторным маслом.

Регистрация параметров генератора осуществлялась цифровым осциллографом (полоса пропускания 500 МГц). С помощью пояса Роговского  $PP_1$  регистрировался ток в цепи э.в.п., делителем ДН и поясом Роговского  $PP_2$  регистрировались напряжение и ток нагрузки.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ГЕНЕРАТОРА

На рис. 3 приведены типичные осциллограммы тока э.в.п.  $I_s$ , напряжения  $U_H$  и тока  $I_H$  на нагрузке. Максимальные (но не предельные) экспериментальные величины напряжения и тока на нагрузке ( $\sim 15$  Ом) составили:  $U_H = 500$  кВ,  $I_H = 32$  кА, длительность импульса на полувывоте 250 нс, выделенная мощность в нагрузке 16 ГВт. Результат получен при следующих условиях: зарядное напряжение ГИН – 42 кВ; параметры э.в.п.: количество проволочек – 40, длина проволочек 950 мм; ам-

плитуда тока э.в.п. 42 кА. При увеличении зарядного напряжения *ГИИ* до 50 кВ в нагрузке импульсная мощность достигает 20 ГВт.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, простой и недорогой наносекундный генератор с индуктивным накопителем и электровзрывным прерывателем тока позволяет получать на активной нагрузке (~15 Ом) импульсы с гигаваттным уровнем мощности. Увеличение зарядного напряжения генератора импульсного напряжения до 50 кВ позволило достигнуть в активной нагрузке импульсной мощности 20 ГВт.

Работа выполнена в рамках государственного задания “Наука” Минобрнауки РФ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Месяц Г.А.* Генерирование мощных наносекундных импульсов. М.: Сов. радио, 1974.
2. Физика и техника мощных импульсных систем: Сб. статей / Под ред. Е.П. Велихова. М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. *Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В.* Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. *Клайн С.Д.* Подобие и приближенные методы. М.: Мир, 1968.
5. *Азаркевич Е.М., Котов Ю.А., Седой В.С.* // Журн. техн. физики. 1975. Т. 35. № 1. С. 175