

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИТКОВОГО МАГНИТО-КУМУЛЯТИВНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

CALCULATION-EXPERIMENTAL RESEARCH OF COIL MAGNETO-CUMULATIVE GENERATOR POWERED BY PERMANENT MAGNET

Е. Ю. Климов, М. А. Виденькин, Н. В. Гурова, П. В. Королев, А. С. Пикарь, Д. А. Толшмяков
E. Yu. Klimov, M. A. Videnkin, N. V. Gurova, P. V. Korolev, A. S. Pikar, D. A. Tolshmyakov

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,

пр. Мира, 37, Саров, Нижегородская область, 607188, Россия

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics

В докладе представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований виткового магнитокумулятивного генератора на постоянных неодим-железо-бор магнитах. Проведены расчеты распределения магнитного поля в генераторе в начальный момент времени. Показано как меняется поле при сжатии контура продуктами детонации заряда ВВ. Приведены экспериментальные результаты предварительных экспериментов. Измерения токов проводились с помощью индуктивных датчиков. Регистрация скорости детонации осуществляется контактными датчиками.

This paper presents calculation-experimental investigation results of a coil magneto-cumulative generator based on neodymium-iron-boron permanent magnets. Calculations of magnetic field distribution in the generator at initial time moment are presented in the paper. The field change at a cascade compression by detonation products of HE-charge is shown. The paper describes results of preliminary experiments. Current measurements were carried out using inductive probes. Detonation velocity was recorded using contact probes.

Введение

История создания взрывомагнитного генератора с приемлемыми параметрами, в котором начальное магнитное поле создается системой постоянных магнитов, относится к 1960-м годам. Так, в 1965 году в Италии на первой конференции по сверхсильным магнитным полям был представлен плоский 2х-шинный МК-генератор [1]. Генератор включает в себя магнитную цепь, состоящую из четырех магнитов и двух зазоров ограниченной центральной трубкой с зарядом взрывчатого вещества и диаметрально расположенными двумя шинами, переходящими в цилиндр.

Позднее [2] были исследованы спиральные МК-генераторы, в которых магнитное поле создавалось постоянными магнитами, размещенными поверх спирали и создающими внутри первой секции спирали магнитный поток на уровне 23 мВб. Начальная энергия в контуре составляла 2,4 Дж.

Данный доклад посвящен расчету и исследованию другой разновидности магнитокумулятивных генераторов с питанием от постоянных магнитов – витковому генератору.

Описание конструкции

На рис. 1 изображена схема взрывного источника энергии, состоящего из виткового МК-генератора на постоянных магнитах и нагрузки. МК-генератор состоит из двух неодим-железо-бор магнитов с коэрцитивной силой $B_r = 1,32$ Тл, диаметром 5 см (поз. 1), расположенных в медном витке с прорезью (поз. 2) на расстоянии 1 см друг от друга. На медный виток намотан понижающий трансформатор (поз. 3) с коэффициентом трансформации 1:20. Между магнитами находится медный лайнер (поз. 4), установленный с эксцентриситетом 1 мм в противоположную сторону от прорези витка. Все это находится в капролоновом бандеже (поз. 5). Нагрузкой является экранированный провод МГТФЭ закороченный на конце медной провололочкой с суммарной индуктивностью 120 нГн (поз. 7). Для измерения скорости детонации установлен канал (поз. 8) с контактными датчиками К1-К4 (поз. 10). Внутри канала расположен прутки ВВ являющийся продолжением заряда ВВ МК-генератора (поз. 9).

После подачи импульса с ВУ-19 на электродетонатор (поз. 6), по прутку ВВ поз.9 распространяется волна детонации. Под действием продуктов детонации медный лайнер ускоряется до скорости $1,5 \cdot 10^3$ м/с и начинает сжимать магнитное поле постоянных магнитов. При сжатии поля в лайнере и витках трансформатора наводятся индукционные токи.

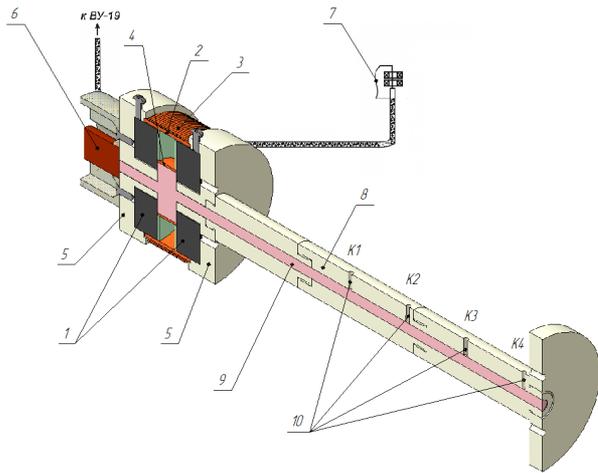


Рис. 1. Схема виткового генератора на постоянных магнитах в разрезе

Расчетная часть

В ходе исследования были проведены численные расчеты магнитных полей во взрывном источнике энергии для нескольких моментов времени.

На начальный момент времени индукция магнитного поля в генераторе от постоянных магнитов показана на рис. 2. Внутри полости витка генератора индукция изменяется от 0,2 до 0,5 Тл. Начальный магнитный поток захваченный лайнером равен 0,8 мВб.

На момент времени 4 мкс лайнер смещается на 6 мм. В наших экспериментах толщина лайнера и витка 1,5 мм превышала глубину скин-слоя магнитной диффузии равную примерно 0,2 мм. Измерения индуктивности и омического сопротивления нагрузки дают величину времени диффузии поля L/R на уровне 2 мкс, поэтому сохраняется лишь часть магнитного потока. Совпадение расчетов с экспериментом наблюдается при коэффициенте сохранения одной трети магнитного потока.

Вычисленная при этом коэффициенте сохранения индукция поля на момент времени 4 мкс показана на рис. 3. На этот момент времени магнитное поле становится более однородным и индукция достигает 0,8 Тл. При дальнейшей работе

генератора к 8 мкс зазор между лайнером и витком уменьшается до 0,6 мм. Индукция магнитного поля достигает 1,6 Тл (рис. 4). Расчетный ток генератора 20 кА, ток в нагрузке 1 кА.

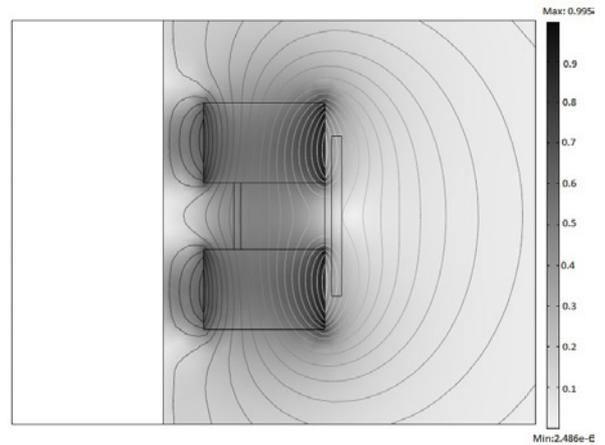


Рис. 2. Распределение магнитного поля в генераторе до начала работы

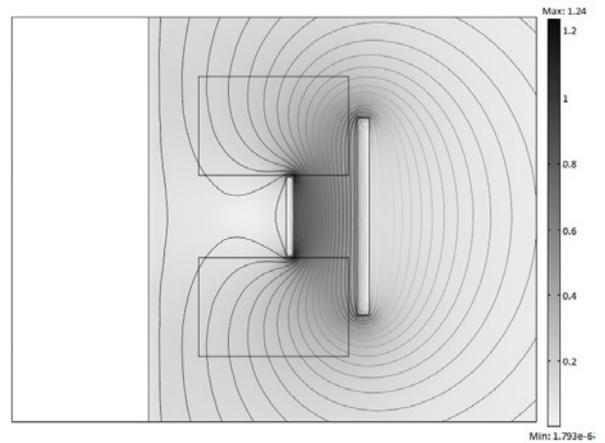


Рис. 3. Распределение магнитного поля в генераторе на 4 мкс работы

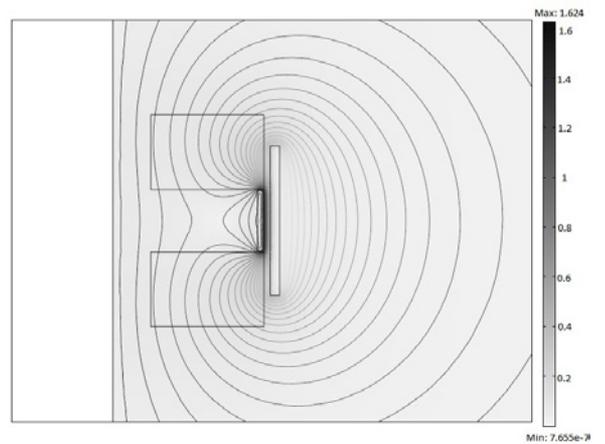


Рис. 4. Распределение магнитного поля в генераторе на 8 мкс работы

Экспериментальная часть

Во взрывном предварительном эксперименте был испытан витковый магнитокумулятивный генератор на постоянных магнитах. Измерения производной тока производились индукционными датчиками на нагрузке. Кривая тока нагрузки амплитудой 1 кА показана на рис. 5.

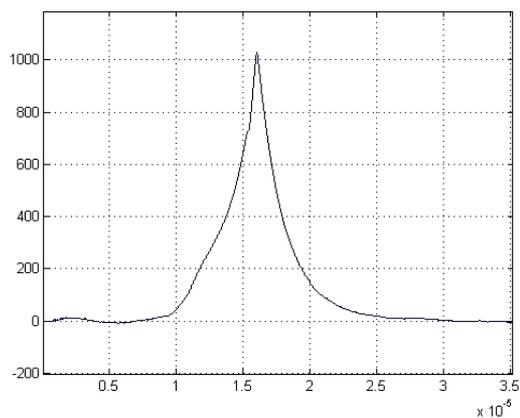


Рис. 5. Кривая тока в нагрузке

Генератор с питанием от постоянных магнитов планируется использовать для питания каскадной системы генераторов. Для синхронизации со следующим генератором необходимо было знать время прихода волны детонации, то есть измерить ее скорость. Скорость волны детонации измерялась с помощью контактных датчиков. Контактные датчики К1-К4 располагаются на расстоянии 30 мм друг от друга. Интервал срабатывания датчиков равен 3,5 мкс (рис. 6), скорость детонации $8,5 \cdot 10^3$ м/с.

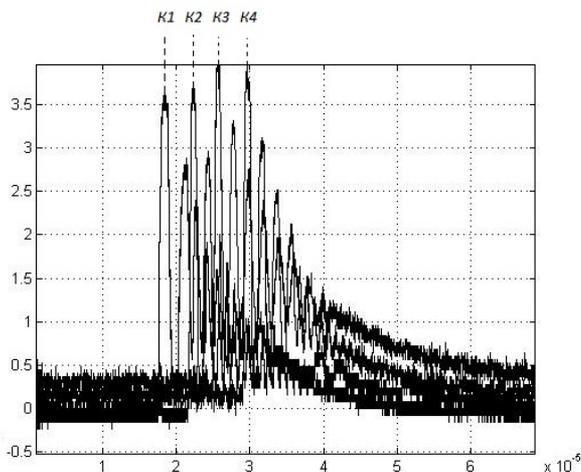


Рис. 6. Сигналы с контактных датчиков

Заключение

В предварительном эксперименте доказана работоспособность виткового генератора с питанием от постоянных неодим-железо-бор магнитов.

Однако, экспериментально полученный ток существенно меньше предельно достижимого из-за низкого коэффициента сохранения потока, обусловленного высоким сопротивлением проводов нагрузки. Толщина проводов нагрузки была меньше толщины скин-слоя магнитного потока, а коротка кабеля производилась проволокой диаметром 0,12 мм. В дальнейших экспериментах с целью улучшения коэффициента сохранения магнитного потока планируется изменить геометрию нагрузки – увеличить толщину проводников до 0,3 мм.

Список литературы

1. V. E. Gurin, R. Z. Lyudaev, A. I. Pavlovskii, L. N. Pljashkevich, E. N. Smirnov. MC-2 Generator With Permanent Magnet (brief information). Kurchatov Nuclear Energy Institute, Moscow, USSR // Megagauss Magnetic Field Generation by Explosives and Related Experiments, EUR 2750.e.eds. H. Knopf and F. Herlach. Brussels, 1966, P.517.
2. В. Е. Гурин, А. С. Борискин, Ю. В. Власов и др. Автономный магнитокумулятивный источник энергии на постоянных магнитах. Тезисы международной конференции «VII Забабахинские научные чтения». — Снежинск: Издательство РФЯЦ-ВНИИТФ, 2005 г., с.114.