

Узел отключения дискового взрывомагнитного генератора от спирального генератора

Б. Е. Гриневич, К. Н. Климушкин, Н. И. Ситникова, К. С. Торопов

Рассмотрено устройство отключения дискового взрывомагнитного генератора от спирального генератора. Предложен вариант устройства, не содержащий электродетонаторов. Срабатывание устройства отключения синхронизировано с окончанием работы спирального генератора. Описаны принцип действия и конструктивные схемы устройства отключения. Представлены результаты компьютерного моделирования и экспериментов по модернизации стандартных устройств отключения.

Ключевые слова: взрывчатое вещество, спиральный взрывомагнитный генератор, дисковый взрывомагнитный генератор, узел отключения.

Ссылка: Гриневич Б. Е., Климушкин К. Н., Ситникова Н. И., Торопов К. С. // Прикладная физика. 2019. № 6. С. 102.

Reference: B. E. Grinevich, K. N. Klimushkin, N. I. Sitnikova, and K. S. Toropov, Prikl. Fiz., No. 6, 102 (2019).

Введение

Дисковые взрывомагнитные генераторы (ДВМГ) представляют собой компактные источники электромагнитной энергии с энергозапасом в десятки и сотни мегаджоулей. ДВМГ обычно применяются для изучения свойств веществ и моделирования физических процессов, происходящих при высоких плотностях энергии [1–4]. Коэффициент усиления энергии ДВМГ невелик и, как правило, не превышает двадцати [5]. Начальная энергия в ДВМГ вводится с помощью спиральных взрывомагнитных генераторов (СВМГ), коэффициент усиления энергии которых может до-

ходить до тысячи и более [6]. Начальный магнитный поток в СВМГ вводится с помощью конденсаторной батареи. Для того чтобы максимум энергии ДВМГ поступал в нагрузку, в момент начала работы дискового генератора с помощью специального устройства производится замыкание электрической цепи между спиральным и дисковым генераторами [7]. Это устройство получило название узла отключения (УО).

Конструкция стандартного узла отключения

В целом, конструктивная схема (КС) узла отключения была отработана ещё в начале 70-х годов прошлого века [7]. В качестве примера конструктивной схемы стандартного УО ДВМГ от СВМГ на рис. 1 представлена КС для ДВМГ-250.

Характерным признаком стандартной КС является наличие значительного числа (более 20) электродетонаторов (ЭД) в системе инициирования УО. В узле инициирования, изображённом на рис. 1, система инициирования заряда б состоит из 24 равномерно расположенных по окружности взрывных линий задержки и такого же количества последова-

Гриневич Борис Евгеньевич, г.л.н.с., д.ф.-м.н.
Климушкин Кирилл Николаевич, с.н.с.
Ситникова Наталья Ивановна, с.н.с.
Торопов Кирилл Сергеевич, инженер-исследователь
2 кат.
Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики (РФЯЦ–ВНИИЭФ).
Россия, 607188, г. Саров, Нижегородская обл.,
пр. Мира, 37.
E-mail: bgr@elph.vviiief.ru

Статья поступила в редакцию 27 сентября 2019 г.

© Гриневич Б. Е., Климушкин К. Н., Ситникова Н. И.,
Торопов К. С., 2019

тельно соединенных ЭД. При срабатывании ЭД-системы инициирования заряда происходит инициирование детонации в цилиндрическом заряде взрывчатого вещества (ВВ) 4 с последующим разгоном медного цилиндра-лайнера 3. Лайнер 3 вытесняет лавсановый изолятор 2 в канавки треугольного сечения с углом при вершине ~60°, проточенные продольно по образующей на поверхности медного цилиндра 1, и, тем самым, замыкает контур.

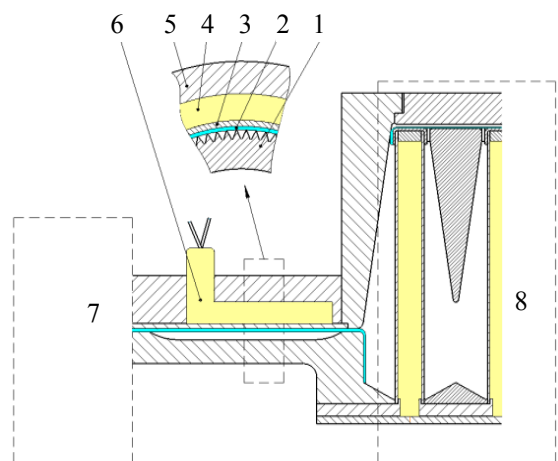


Рис. 1. Схема стандартного узла отключения ДВМГ от СВМГ: 1 – медный цилиндр; 2 – лавсановый изолятор; 3 – медный цилиндр-лайнер; 4 – цилиндрический заряд ВВ; 5 – стальной корпус; 6 – система инициирования заряда из 24-х электродетонаторов; 7 – СВМГ; 8 – ДВМГ.

Недостатком данной конструктивной схемы является необходимость использования сложных подрывных установок, что не всегда

возможно. Для подрыва ЭД узла отключения требуется отдельная подрывная установка. При этом электродетонаторы узла отключения должны срабатывать в строго заданный момент времени, в соответствии с моментами подрыва СВМГ и ДВМГ. Кроме того, наличие большого числа ЭД может привести к несанкционированному подрыву, связанному с возникновением электрических наводок во время работы конденсаторной батареи или СВМГ.

В настоящей работе представлены результаты модельных расчётов и экспериментов по созданию УО, подрыв которого осуществляется без использования ЭД. Приведены результаты газодинамического расчета. Задача моделирования работы УО с использованием заряда ВВ СВМГ для передачи детонации УО решалась в программной среде ANSYS Workbench 18.0 модуле AUTODYN в осесимметричной 2D-постановке [8, 9]. Синхронизация работы СВМГ и УО обеспечивается заранее выбором конструктивных элементов.

Модернизированный узел отключения с использованием заряда ВВ СВМГ для передачи детонации УО

В результате проведения предварительных модельных расчетов был предложен альтернативный вариант конструкции УО, представленный на рис. 2.

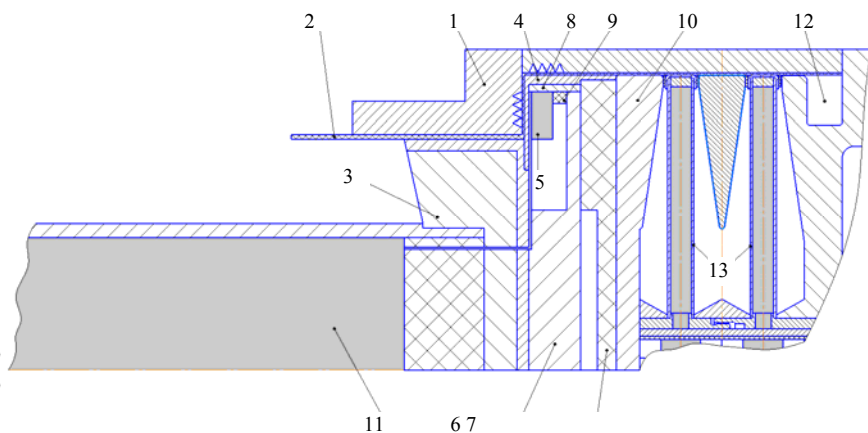


Рис. 2. Схема альтернативной конструкции УО: 1 – медный корпус; 2 – фигурный изолятор; 3 – внутренний токопровод; 4 – медный электрод; 5 – кольцевая шашка ВВ; 6 – стальной фланец; 7 – полиэтиленовая вставка; 8 – алюминиевое кольцо; 9 – полиэтиленовое кольцо; 10 – входной фланец ДВМГ; 11 – ВВ СВМГ; 12 – нагрузка; 13 – тарель.

От заряда ВВ, расположенного в трубе СВМГ 11, по имеющимся в полиэтиленовом кольце и внутреннем медном токопроводе 3 отверстиям, заполненным составом ВВ, дето-

нация передается пластине из того же состава ВВ. Затем, распространяясь радиально, инициирует кольцевую шашку 5 из состава ВВ на основе октогена. Продукты взрыва шашки

разгоняют медный электрод 4 в осевом и радиальном направлениях. Замыкание токового контура происходит после разрушения фигурного полиэтиленового изолятора 2 на краях канавок треугольного сечения, выполненных на внутренней поверхности медного корпуса 1, при движении электрода 4. Для того чтобы снизить интенсивность воздействия ударной волны при детонации кольцевой шашки 5 на детали УО, в стальном фланце 6 предусмотрена полость разгрузки. Между электродом и шашкой ВВ проложено алюминиевое кольцо 8, «смягчающее» действие ударной волны на электрод, обеспечивая тем самым целостность токового контура на всем протяжении времени работы дисковых элементов ДВМГ. Для защиты входного фланца ДВМГ 10 от ударного воздействия в результате распространяющейся детонации ВВ СВМГ между ним и стальным фланцем проложена полиэтиленовая вставка 7, исполняющая роль демпфера. Толщина этой вставки выбрана таким образом, чтобы ударные волны, возникающие при детонации ВВ, расположенного в трубе СВМГ, не достигали ДВМГ до момента начала работы дисковых элементов ДВМГ.

Элементы конструкции, имеющие непосредственный контакт с изолятором, выполнены из одного материала – меди. Тем самым, обеспечивается надежный электрический контакт между токопроводящими частями конструкции.

В ходе моделирования был подобран момент времени для синхронного срабатывания УО с началом работы дисковых элементов ВМГ. В момент достижения в ДВМГ максимальной величины начального тока запитки, полученного от предусилителя – СВМГ, узел отключения замыкается и отключает спираль от дисков. В тот же момент времени, под действием продуктов взрыва, тарелки 13 соседних дисковых элементов ДВМГ начинают двигаться навстречу друг другу, сжимая магнитный поток во всех полостях одновременно, и вытесняют его из полостей сжатия через передающую линию в нагрузку 12. ДВМГ начинает усиливать ток.

В модельном расчете отсчет времени ведётся от момента инициирования ВВ, расположенного в центральной трубе СВМГ. В результате распространяющейся детонации ВВ

трубы СВМГ происходит инициирование кольцевой шашки ВВ УО 1 (см. рис. 3). Происходит равномерное замыкание контура от меньшего радиуса к большему, причём на всем интервале времени работы УО.

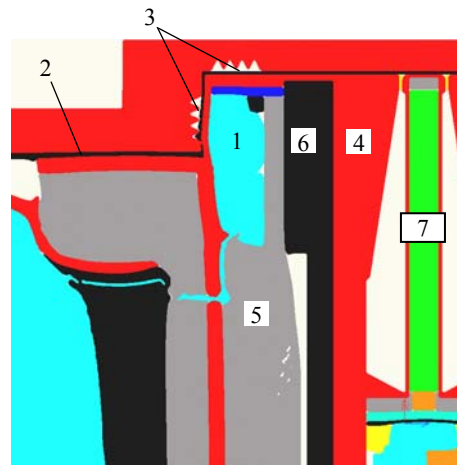


Рис. 3. Вид расчетной модели в момент срабатывания УО ДВМГ от СВМГ: 1 – продукты взрыва кольцевой шашки ВВ УО; 2 – фигурный изолятор; 3 – зона переключения; 4 – входной фланец ДВМГ; 5 – стальной фланец; 6 – полиэтиленовый вкладыш; 7 – дисковый элемент ДВМГ.

На рис. 3 приведен результат расчета на момент времени, соответствующего началу переключения изолятора 2, и показано расположение элементов конструкции, находящихся в зоне узла отключения. Этот же момент времени соответствует началу работы дисковых элементов ДВМГ по сжатию магнитного потока. Электрический контакт в зоне переключения 3 сохраняется на всем протяжении работы ДВМГ (более 16 мкс). Оказываемое на входной фланец ДВМГ 4 давление от стального фланца УО 5 не приносит негативных изменений в работу близлежащего дискового элемента ДВМГ 7 благодаря полиэтиленовому вкладышу 6, проложенному между фланцами.

Моделирование показало, что данная конструкция удовлетворяет всем предъявленным к ней требованиям:

- отсутствие ЭД для инициирования УО;
- наличие надежного контакта рабочих поверхностей узла отключения на промежутке времени: от момента передачи магнитного потока СВМГ в ДВМГ и до вытеснения потока дисками в передающую линию;
- простота конструкции.

Модернизированный УО был успешно использован в ряде опытов с ДВМГ-250 [10, 11]. На рис. 4 приведены экспериментальные зависимости тока от времени для трёхэлементных ДВМГ диаметром 0,25 м со стандартным и модернизированным узлами отключения. Видно, что кривые зависимости тока от времени в обоих случаях практически одинаковы.

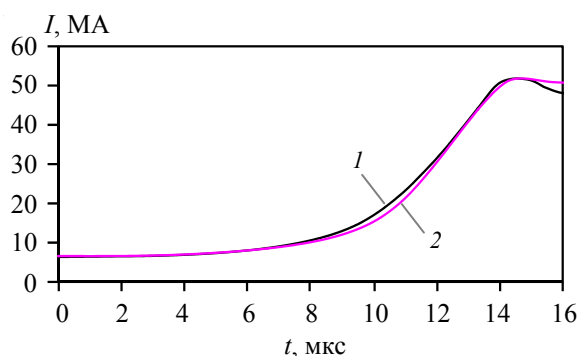


Рис. 4. Зависимости тока от времени для трёхэлементных ДВМГ диаметром 0,25 м: 1 – стандартный УО; 2 – альтернативный УО.

Заключение

В работе приведено описание конструктивных схем стандартного устройства отключения ДВМГ от СВМГ и модернизированного, т. е. не содержащего электродетонаторов. Отсутствие электродетонаторов в узле отключения делает его нечувствительным к вредному воздействию электрических наводок и позволяет в опытах с ДВМГ использовать менее сложные подрывные установки. Приведены результаты компьютерного моделирования работы УО и экспериментальные данные работы ДВМГ со стандартным и с модернизированным УО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протасов М. С., Архинов Б. В., Петрухин А. А., Прокопов В. А. / Труды 3-й Междунар. конф. по генерации меггауссных магнитных полей и родственным экспериментам, Новосибирск, 13–17 июня 1983 г. – М.: Наука, 1984. С. 26–28.
2. Chernyshev V. K., Vakhrushev V. V., Spagin V. I., Kudelkin V. B. / Proc. 28th IEEE International Conference on Plasma Science and The 13th IEEE International Pulsed Power Conference, Las Vegas, USA, 2001. P. 971–973.
3. Ивановский А. В., Куделькин В. Б., Вахрушев В. В., Чернышёв В. К. Магнитокумулятивные генераторы – импульсные источники энергии. – Саров: Всерос. науч.-исслед. ин-т эксперим. физики, 2012.
4. Буыко А. М., Petrukhin A. A., Anderson B. G., Atchison W. L., Lindemuth L. R., Reinovsky R. E. / Proc. 28th International Plasma Science and Pulsed Power Conf. – Las Vegas, USA, 2001. P. 135–141.
5. Гриневич Б. Е., Демидов В. А., Ивановский А. В., Куделькин В. Б. / Труды Международной конференции «8-е Харитоновские тематические научные чтения по проблемам физики высоких плотностей энергии», Саров, 21–24 марта 2006 г. – Саров: Всерос. науч.-исслед. ин-т эксперим. физики, 2006. С. 567–569.
6. Чернышев В. К., Протасов М. С., Шевцов В. А. // Вопр. атом.науки и техники. Сер. Мат. моделирование физ. процессов. 1992. Вып. 4. С. 33.
7. Демидов В. А., Жаринов Е. И., Казаков С. А., Чернышев В. К. / Труды 3-й Междунар. конф. по генерации меггауссных магнитных полей и родственным экспериментам, Новосибирск, 13–17 июня 1983 г. – М.: Наука, 1984. С. 330–331.
8. ANSYS Inc. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ansys.com>
9. Material models, URL: <http://www.cadfecis.ru/products/ansys/simulation/structural/explicit-dynamics/autodyn/>
10. Торопов К. С., Арюткин М. Ю., Климушкин К. Н., Ситникова Н. И. / Труды XIV Научно технической конференции «Молодежь в науке». – Саров, 2015. С. 245–251.
11. Климушкин К. Н., Ситникова Н. И., Торопов К. С., Арюткин М. Ю. / Труды II Международной конференции «Плазменные, лазерные исследования и технологии». – Москва, 2016. С. 372.

Unit to disconnect a disk explosive magnetic generator from a helical generator

B. E. Grinevich, K. N. Klimushkin, N. I. Sitnikova, and K. S. Toropov

All-Russia Research Institute of Experimental Physics
37 Mira Ave., Sarov, Nizhny Novgorod Region, 607188, Russia
E-mail: bgr@elph.vniief.ru

Received September 27, 2019

A unit disconnecting a disk explosive magnetic generator from a helical one and not containing the electric detonators is considered. The beginning of operation of the units disconnecting the device concurs with the end of the helical generator operation. The operation principle and the structural layout of the disconnection unit are described. The results of the computer simulation and of the experiments on modernization of standard disconnection units is presented.

Keywords: explosive, helical explosive magnetic generator, disk explosive magnetic generator, disconnection unit.

REFERENCES

1. M. S. Protasov, B. V. Arkhipov, A. A. Petrukhin, and V. A. Prokopov, in *Proc. 3rd International Conference on Megagauss Magnetic Field Generation and Related Topics, Novosibirsk, 13–17 June 1983*, (Moscow, Nauka, 1984). P. 26–28.
2. V. K. Chernyshev, V. V. Vakhrushev, V. I. Shpagin, and V. B. Kudelkin, in *Proc. 28th IEEE International Conference on Plasma Science and The 13th IEEE International Pulsed Power Conference*, (Las Vegas, USA, 2001). P. 971–973.
3. A. V. Ivanovskiy, V. B. Kudelkin, V. V. Vakhrushev, and V. K. Chernyshev, *Magnetocumulative generators – pulsed sources of energy: monograph, 2 volumes*. (Sarov: All-Russia Research Institute of Experimental Physics. 2012.) V. 1.
4. A. M. Buyko, A. A. Petrukhin, B. G. Anderson, W. L. Atchison, I. R. Lindemuth, and R. E. Reinovsky, in *Proc. 28th International Plasma Science and Pulsed Power Conf.* (Las Vegas, USA, 2001). P. 135–141.
5. B. E. Grinevitch, V. A. Demidov, A. V. Ivanovskiy, and V. B. Kudelkin, in *Proc. International Conference “Khariton Scientific Talks on the Problems of High Energy Density Physics”, Sarov, 21–24 March 2006*, (Sarov: All-Russia Research Institute of Experimental Physics, 2006) P. 567–569.
6. V. K. Chernyshev, M. S. Protasov, and V. A. Shevtsov, *Voprosy Atomn. Nauki i Tekhnologii Series: Mathematical Simulation of Physical Processes*, No. 4, 33 (1992).
7. V. A. Demidov, E. I. Zharinov, S. A. Kazakov, and V. K. Chernyshev, in *Proc. 3rd International Conference on Megagauss Magnetic Field Generation and Related Topics, Novosibirsk, 13–17 June 1983* (Moscow, Nauka, 1984). P. 330.
8. ANSYS Inc.: [Electronic resource]. URL: <http://www.ansys.com>
9. *Material models*, URL: <http://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/simulation/structural/explicit-dynamics/autodyn/>
10. K. S. Toropov, M. Yu. Aryutkin, K. N. Klimushkin, and N. I. Sitnikova, in *Proc. XIVth Scientific and Technical Conference “Youth in Science”* (Sarov. 2015). P. 245–251.
11. K. N. Klimushkin, N. I. Sitnikova, K. S. Toropov, M. Yu. Aryutkin, in *Proc. IInd International Conference “Plasma, Laser Researches and Technologies”* (Moscow. 2016). P. 372.