

УДК 534.222.2:621.3

Взрывная импульсная мощность для термоядерных исследований

В. А. Демидов, В. Д. Селемир

Для термоядерных исследований требуются многомегаамперные импульсные токи с временем нарастания 0,1–1 мкс. При формировании таких импульсов с использованием индуктивных накопителей энергии необходимо применение одной или нескольких ступеней обострения импульса тока. При этом имеют место большие энергетические потери. По оценкам, для реализации технических проектов с запуском термоядерной реакции требуется энергия в десятки и сотни мегаджоулей. Во ВНИИЭФ в последние 30 лет устройства для термоядерных исследований основываются на системах с взрывным сжатием магнитного потока – взрывомагнитных генераторах.

Введение

В работе рассматриваются мощные дисковые взрывомагнитные генераторы (ДВМГ) для комплекса ЭМИР [1, 2], предназначенного для генерации импульсов мягкого рентгеновского излучения (МРИ) 10-мегаджоульного уровня при быстром сжатии многопроволочных лайнеров, а также приводятся результаты экспериментов с размыкателями тока электровзрывного и взрывного действия.

Привлекательность применения взрывной импульсной мощности для термоядерных исследований заключается в том, что взрывная техника дает возможности наращивать уровень мощности и энергетики от опыта к опыту без существенного увеличения материальных средств и времени, что невозможно осуществить при использовании стационарных энергетических установок. Кроме того, применение взрывомагнитных генераторов позволяет изменять в широких пределах выходные параметры источника энергии, что также трудно осуществить в других устройствах.

Разработанные на начальном этапе развития магнитной кумуляции взрывные генераторы были мало пригодны для решения практических задач из-за своих низких характеристик: энергии, мощности, коэффициента усиления энергии и др. Научно-технический прорыв в развитии взрывной импульсной мощности был сделан в начале 70-х годов прошлого столетия, когда были проведены первые испытания многомодульных ДВМГ с профильной поверхностью проводников, сжимающих магнитный поток, и начались исследования быстроходных спиральных ВМГ с высокой начальной индуктивностью, предназначенных для запитки ДВМГ [3, 4].

Дисковые взрывомагнитные генераторы

До недавнего времени во ВНИИЭФ для проведения термоядерных исследований применялись два типа ДВМГ – диаметром 400 мм [5] и 1000 мм [6, 7]. Эскиз многоэлементного дискового генератора приведен на рис. 1.

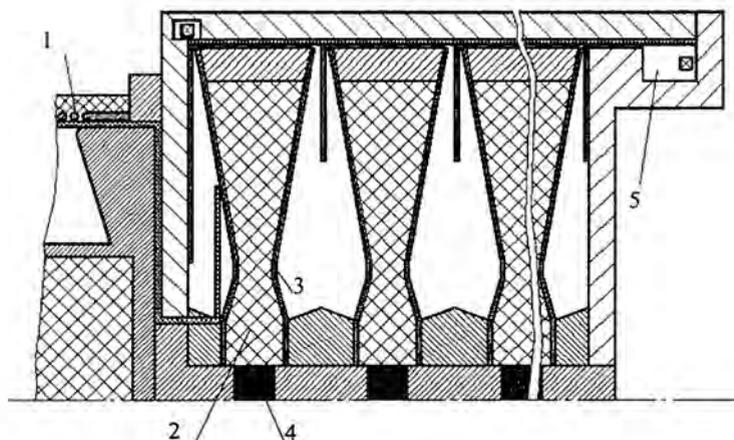


Рис. 1. Эскиз многоэлементного ДВМГ с предусилителем энергии: 1 – предусилитель энергии (спиральный ВМГ); 2 – заряд ВВ; 3 – медная оболочка; 4 – электродетонатор; 5 – нагрузка

В генераторе диаметром 1000 мм был получен ток ~ 300 МА [6, 8]. Однако эффективная работа ДВМГ большого диаметра возможна только на низкоиндуктивные нагрузки. Кроме того, с увеличением диаметра генератора растет характерное время нарастания тока τ_e (время нарастания тока в e раз в конце работы), что ограничивает возможности применения ДВМГ. Для питания сильноточных нагрузок целесообразно параллельное соединение нескольких ДВМГ сравнительно малого диаметра [9, 10]. Пример такого соединения приведен на рис. 2. В связи с этим в рамках программы создания взрывного комплекса ЭМИР нами разрабатываются дисковые генераторы с зарядами взрывчатого вещества (ВВ) диаметром 240 мм (ДВМГ-240) и 480 мм (ДВМГ-480). Особенности этих генераторов являются высокая быстроходность ($\tau_e = 3,5$ и 7 мкс соответственно) и повышенная в $1,5$ – 2 раза по сравнению с ДВМГ диаметром 400 мм удельная энергоемкость при работе на реальные, сравнительно большие нагрузки (10 – 40 нГн). Первые результаты расчетов этих генераторов представлены в работе [9]. Следует отметить, что при создании ДВМГ расчетные исследования играют большую роль, так как в процессе экспериментальной отработки очень сложно технологически изменять конструкцию ДВМГ для ее усовершенствования. Именно поэтому методикам расчета ДВМГ уделяется большое внимание [9, 11].



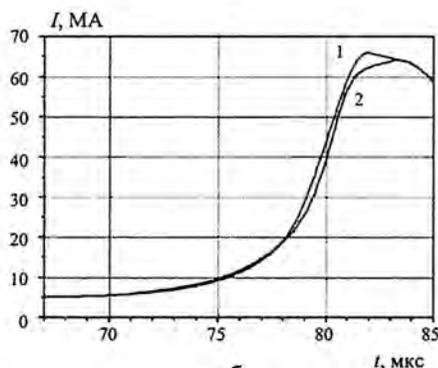
Рис. 2. Схема энергетической установки "Спрут"

К настоящему времени проведены эксперименты с 3- и 10-элементными ДВМГ-240. Внешний вид ДВМГ-240-3 представлен на рис. 3,а. При запитке током $I_0 = 5,2$ МА этот генератор обеспечивает в нагрузку $L_H \sim 1,5$ нГн ток 60 МА при $(dI/dt)_{\max} = 1,9 \cdot 10^{13}$ А/с. Экспериментальные результаты близки к расчетным (рис. 3,б). Десятиэлементный генератор при начальном токе 4 МА формирует в $L_H = 5$ нГн ток 44 МА с характерным временем $\tau_e \sim 4$ мкс.

Поскольку для термоядерных экспериментов требуются короткие импульсы тока, то необходимо производить обострение тока ДВМГ. Для получения в лайнерных нагрузках импульса тока с фронтом ~ 1 мкс в наших экспериментах использовался электровзрывной размыкатель тока (ЭВРТ).



а



б

Рис. 3. Внешний вид (а) и результаты эксперимента (б) с ДВМГ-240-3 в опыте с запиткой ~ 5 МА на индуктивную нагрузку $\sim 1,5$ нГн: 1 – расчет; 2 – эксперимент

В экспериментах с трехэлементным ДВМГ-240 исследовалась коммутация тока как однослойным, так и многослойным ЭВРТ. Многослойный ЭВРТ представлял собой несколько слоев медной фольги, чередующихся со слоями диэлектрика из лавсана. Толщина всех слоев фольги в опытах с многослойным ЭВРТ подбиралась равной толщине фольги в опыте с однослойным ЭВРТ и составляла $\approx 0,2$ мм. ЭВРТ располагался коаксиально с дисковыми элементами на диаметре 264 мм, длина фольги в ДВМГ-240-3 равна 150 мм. Нагрузка подключалась в заданный момент времени при помощи взрывного замыкающего ключа. Начальная индуктивность контура ДВМГ составляла 27 нГн, его конечная индуктивность 1,6 нГн, а индуктивность нагрузки $\sim 1,5$ нГн. Во всех опытах ток запитки ДВМГ составлял ~ 5 МА, а максимальная производная тока ДВМГ ~ 10 МА/мкс. На рис. 4 представлены зависимости от времени токов ДВМГ и нагрузки в опыте с однослойным и четырехслойным ЭВРТ. Там же для сравнения приведены результаты опыта с трехэлементным ДВМГ без ЭВРТ на нагрузку $\sim 1,5$ нГн. Как видно из рис. 4, ток к моменту электровзрыва фольги примерно в 1,5 раза ниже, чем в опыте без ЭВРТ, а влияние фольги на работу генератора становится заметным примерно за 6 мкс до электровзрыва. Относительный рост сопротивления ЭВРТ составил ~ 200 , что согласуется с результатами [12]. Наблюдается также некоторое увеличение скорости нарастания сопротивления ЭВРТ с ростом количества слоев фольги, но максимальный ток в нагрузке при этом снижается.

Был проведен опыт с десятиэлементным ДВМГ-240 с ЭВРТ при его работе на нагрузку, эквивалентную той, которая будет использоваться в опытах по генерации МРИ при схлопывании многопроволочного лайнера. Устройство состояло из спирального предусилителя диаметром 200 мм, десятиэлементного ДВМГ-240, ЭВРТ и нагрузки (рис. 5). ЭВРТ содержал девять цилин-

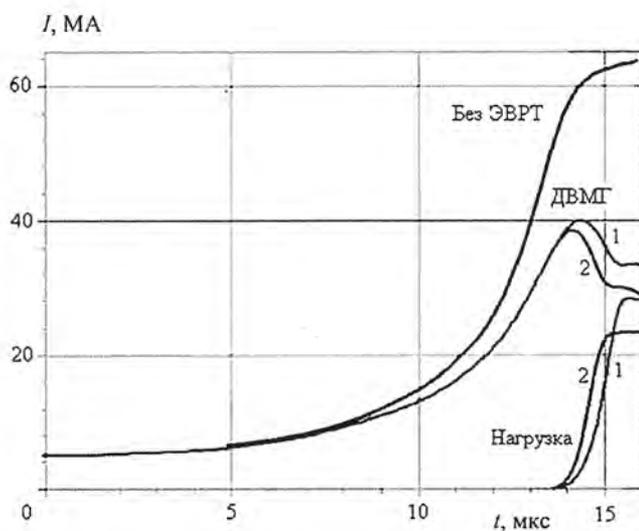


Рис. 4. Результаты экспериментов с трехэлементным генератором: 1 – опыт с однослойным ЭВРТ; 2 – опыт с четырехслойным ЭВРТ

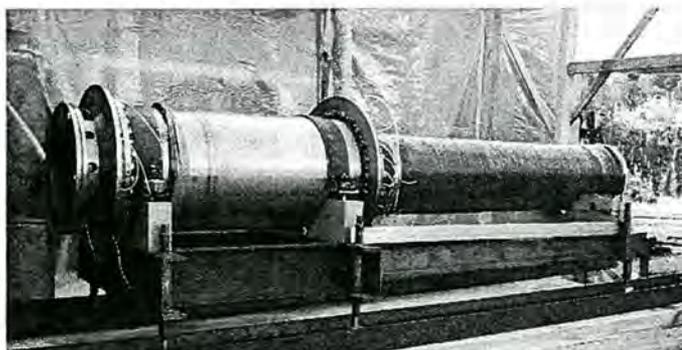


Рис. 5. Внешний вид десятиэлементного генератора ДВМГ-240 с ЭВРТ и предусилителем энергии

дических слоев медной фольги толщиной по 0,02 мм каждый без диэлектрика между ними, расположенных на диаметре 264 мм. Длина фольги составляла 500 мм. В опыте ток запитки дискового генератора равнялся 3 МА. В конечном контуре ДВМГ индуктивностью ~ 5 нГн зарегистрирован импульс тока амплитудой ~ 40 МА с максимальной скоростью нарастания $1,3 \cdot 10^{13}$ А/с. В нагрузке индуктивностью $\sim 6,5$ нГн получен импульс тока амплитудой 14 МА с характерным временем нарастания (от 0,1 до 0,9 его максимального значения) $\sim 1,1$ мкс. Максимальная производная тока в нагрузке составила $1,1 \cdot 10^{13}$ А/с.

Взрывные размыкатели тока

Численные расчеты показывают, что для генерации импульса МРИ с требуемой по проекту ЭМИР энергетикой ~ 10 МДж лайнерную систему необходимо запитать током ~ 60 МА с временем нарастания не более 1 мкс. Такой импульс тока может быть сформирован устройством на основе многоэлементного дискового генератора и размыкателя тока.

Несмотря на высокие абсолютные значения тока (~ 35 МА) в импульсе, полученном в нагрузке с помощью электровзрывного размыкателя при запитке от ДВМГ [12], удельные характеристики ЭВРТ сравнительно низкие. Например, напряженность электрического поля менее 4 кВ/см, фронт импульса тока превышает 1 мкс. Причиной этого является низкая удельная (на единицу массы фольги в ЭВРТ) мощность ДВМГ.

В работе [13] было предложено использовать для формирования импульса тока в лайнере взрывной размыкатель тока (ВРТ) [14]. Преимущества ВРТ хорошо известны – взрывные размыкатели не ухудшают работу ВМГ, время нарастания тока в нагрузке практически не зависит от мощности генератора и начало импульса тока в нагрузке можно синхронизировать с любым событием с точностью $\sim 0,1$ мкс. В большинстве экспериментов с разрушением фольг диэлектрическими струями [15] время нарастания тока в нагрузках превышает 1 мкс. Вместе с тем в [16, 17] показано, что при использовании в ВРТ ребристой преграды удается сократить время τ до 0,3–0,5 мкс. Очевидно, что разработку ВРТ для формирования токовых импульсов в десятки мегаампер необходимо вести на уменьшенных моделях. С этой целью нами проведены испытания ВРТ диаметром 100 и 200 мм с запиткой от спиральных ВМГ. Опыты проводились как при номинальных начальных параметрах, так и в условиях повышенной плотности потока электромагнитной энергии $p = EH = I_R^2 R / (\pi D l)$, где E и H – напряженность электрического и магнитного полей в размыкателе; I_R, R – ток через размыкатель и его сопротивление; D, l – диаметр расположения и длина проводника ВРТ. Именно с этим параметром связаны нагрев проводящего слоя среды в размыкателе и его сопротивление. Высоких значений p можно достичь несколькими способами: путем повышения разрываемого тока (линейной плотности тока), сокращением длины фольги или увеличением индуктивности нагрузки (изменением эффективной индуктивности схемы коммутации).

Взрывные размыкатели содержали ребристую преграду и медную фольгу толщиной 0,3 мм. Запитка ВРТ осуществлялась от спиральных генераторов диаметром 100 мм (ВМГ-100) и 200 мм (ВМГ-200) [18]. Эскиз устройства приведен на рис. 6. В опытах варьировались индуктивность разрываемого контура (конечного контура ВМГ), максимальный ток ВМГ, индуктивность нагрузки, а также длина и диаметр расположения фольги. Исследовались зависимости характерного времени нарастания тока в нагрузке τ и значения p от варьируемых параметров. Результаты экспериментов представлены в таблице. Под № 1 в ней приведены результаты испытания ВРТ в номинальном режиме. В опыте № 2 максимальный ток ВМГ был увеличен в $\sim 1,7$ раза и составил 9,5 МА. Зависимость $R(t)$ в этом опыте, как и в предыдущем, монотонно возрастает (рис. 7). Максимальное значение p достигает 1,2 ГВт/см², при этом время τ возросло по сравнению с опытом № 1, согласно результатам [17], пропорционально разрываемому току, но оно не превышает 1 мкс.

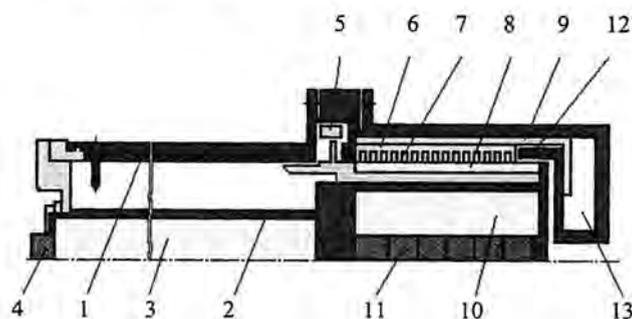


Рис. 6. Эскиз спирального ВМГ с взрывным размыкателем: 1 – спираль; 2 – центральная труба; 3 – заряд ВВ; 4 – электродетонатор; 5 – измерительный датчик; 6 – ребристая преграда; 7 – фольга; 8 – заряд ВВ; 9 – изолятор; 10 – заряд ВВ; 11 – электродетонатор; 12 – замыкающий ключ; 13 – нагрузка

Результаты испытаний источников энергии на основе спиральных ВМГ и ВРТ с ребристой преградой

Номер опыта	D , мм	l , мм	$L_{кз}$, нГн	$L_{нз}$, нГн	$I_{кз}$, МА	$I_{нз}$, МА	U_p , кВ	τ , мкс	p , ГВт/см ²
1	100	90	30	10	5,4	3,8	67	0,6	0,89
2	100	90	30	10	9,5	6,5	67	1,0	1,2
3	100	40	30	10	6,2	4,7	39	0,9	1,6
4	100	190	20	40	6,9	2,0	210	0,43	1,5
5	200	200	30	10	9,2	7,0	110	0,6	0,5
6	100	300	20	17	5,6	3,4	190	0,30	0,70
7	200	400	50	21	9,3	6,6	340	0,48	0,71

Примечание: D – диаметр расположения фольги; l – длина фольги; $L_{кз}$, $L_{нз}$ – индуктивность контура ВМГ в момент разрушения фольги и индуктивность нагрузки; $I_{кз}$ – разрываемый ток; $I_{нз}$ – максимальный ток в нагрузке; U_p – максимальное напряжение на размыкателе; τ – характерное время нарастания тока в нагрузке (от $0,1 \cdot I_{нз}$ до $0,9 \cdot I_{нз}$); p – плотность потока электромагнитной энергии через размыкатель.

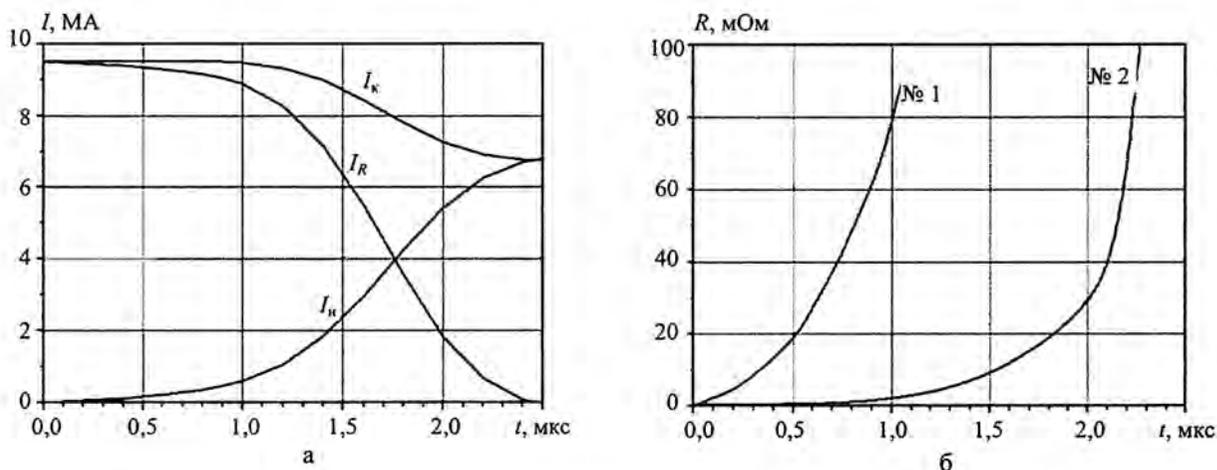


Рис. 7. Зависимости тока от времени в опыте № 2 (а) и сопротивления размыкателя от времени в опытах № 1 и 2 (б): $I_{к}$ – ток в разрываемом контуре, $I_{н}$ – ток в нагрузке, $I_{Р}$ – ток в размыкателе. Отсчет времени ведется от начала появления тока в нагрузке

В опыте № 3 с укороченной фольгой при токе ВМГ 6,2 МА и в опыте № 4 с $L_{н} = 40$ нГн значение p достигло 1,5 и 1,6 ГВт/см². При этом резко изменились зависимости $R(t)$ размыкателей (рис. 8). Сопротивление в этих опытах достигает некоторого максимума, а затем снижается. По-видимому, следует считать значение $p \geq 1,5$ ГВт/см² критическим для данного типа ВРТ.

В таблице под номерами 6 и 7 приведены результаты экспериментов, в которых показана возможность обострения импульса тока спиральных ВМГ до уровня 0,3–0,5 мкс. Эти источники энергии (ВМГ-100 и ВМГ-200 с ВРТ) применялись для запитки многопроволочных лайнеров в модельных экспериментах по программе ЭМИР. Получены импульсы МРИ с энергией ~ 30 кДж и ~ 100 кДж соответственно. Характеристики импульсов МРИ соответствуют ранее полученным на стационарных установках [19].

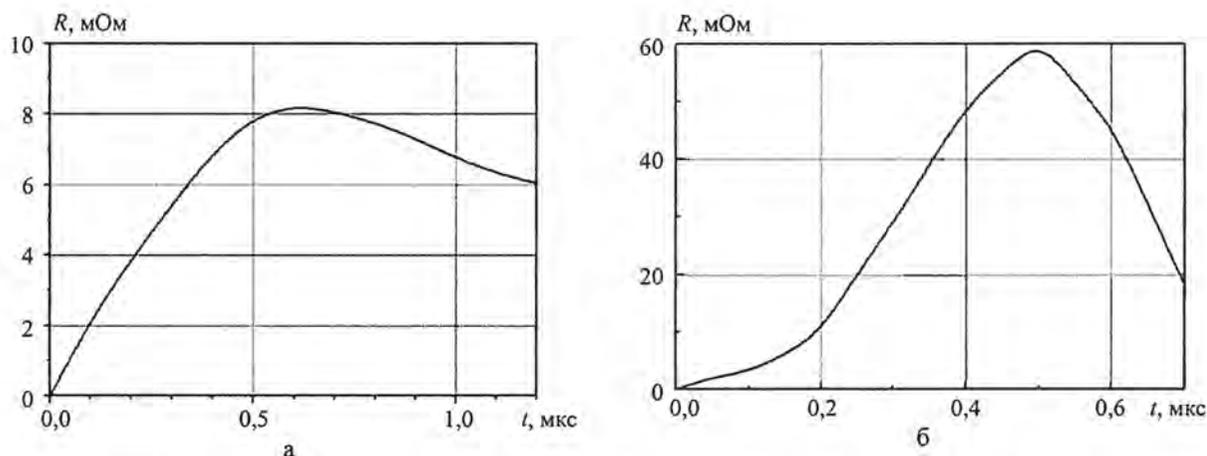


Рис. 8. Зависимости сопротивления размыкателя от времени в опытах № 3 (а) и № 4 (б)

Модуль комплекса ЭМИР

При создании взрывного размыкателя на ток в нагрузке ~ 60 МА можно взять за основу результаты опыта № 2 (см. таблицу). При этом необходимо увеличить диаметр и длину размыкателя в ~ 10 раз, сохранив значения L_k и L_n . Разрыв цепи с $L_k \approx 30$ нГн и $I_k \approx 90$ МА таким ВРТ обеспечит в нагрузке $L_n \sim 10$ нГн (лайнер) ток ~ 60 МА с $\tau \leq 1$ мкс. Возможность моделирования ВРТ при сохранении линейной плотности разрываемого тока и параметров цепи коммутации хорошо видна из сравнения результатов опытов № 1 и 5, в которых размеры ВРТ отличались в два раза, токи ВМГ также отличались в ~ 2 раза, а временные характеристики импульса тока в нагрузке и зависимости $R(t)$ одинаковы (рис. 9).

По нашим оценкам, источником запитки ВРТ на ток ~ 60 МА может стать 15-элементный дисковый генератор с диаметром зарядов взрывчатого вещества 480 мм (ДВМГ-480-15) [9]. Расчетные зависимости индуктивности и тока ДВМГ-480-15 приведены на рис. 10.

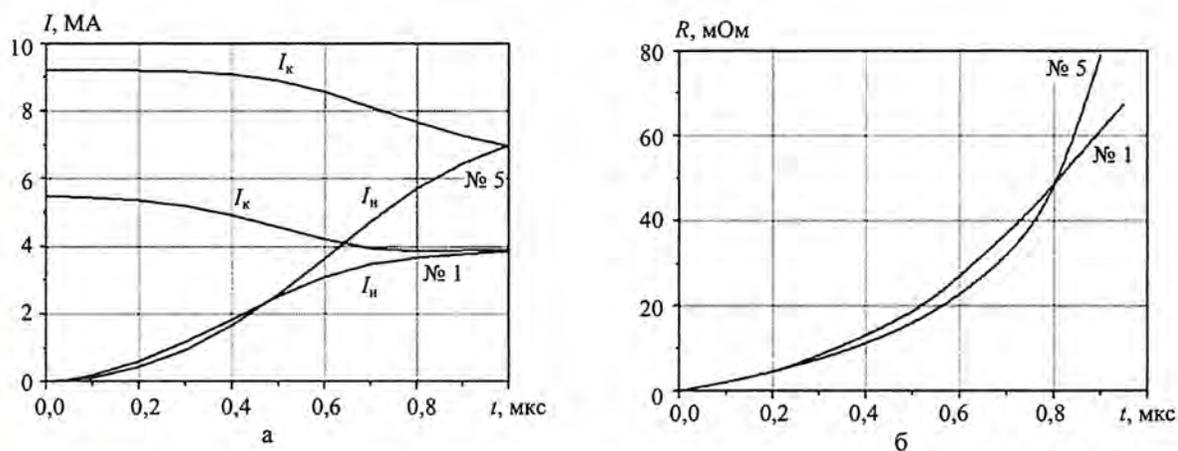


Рис. 9. Зависимости токов (а) и сопротивления размыкателя (б) от времени в опытах № 1 и 5

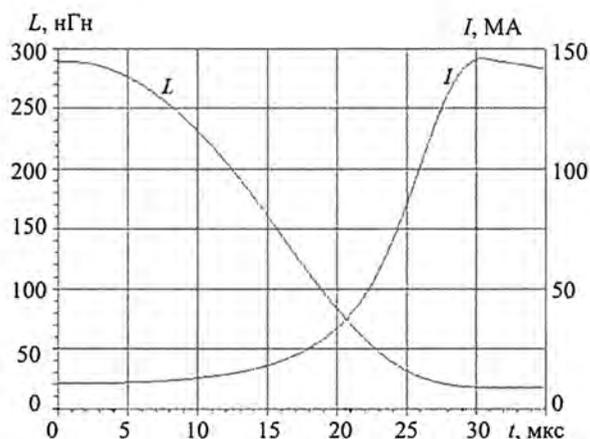


Рис. 10. Зависимости от времени индуктивности (L) и тока (I) ДВМГ-480-15

На рис. 11 приведен эскиз модуля комплекса ЭМИР. Он состоит из предусилителя энергии на основе спирального ВМГ-320, 15-элементного ДВМГ-480, взрывного размыкателя тока с диаметром расположения фольги 1000 мм и нагрузки в виде каскадного многопроволочного лайнера.

В настоящее время на основе результатов, полученных при испытаниях ДВМГ-240-3 и ДВМГ-240-10, разработан и изготовлен 5-элементный дисковый генератор диаметром 480 мм (ДВМГ-480-5) (рис. 12). Первое его испытание предполагается с индуктивной "жесткой" нагрузкой. При $I_0 = 10$ МА ожидаемый ток в нагрузке ~ 130 МА, характерное время нарастания $\tau_e = 7$ мкс.

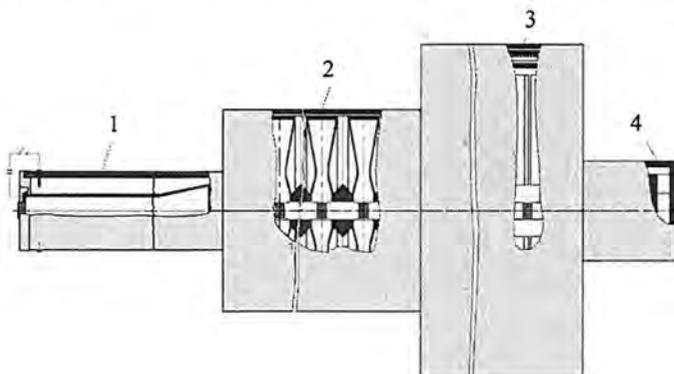


Рис. 11. Эскиз модуля комплекса ЭМИР: 1 – предусилитель энергии (ВМГ-320); 2 – дисковый генератор (ДВМГ-480-15); 3 – взрывной размыкатель тока; 4 – нагрузка

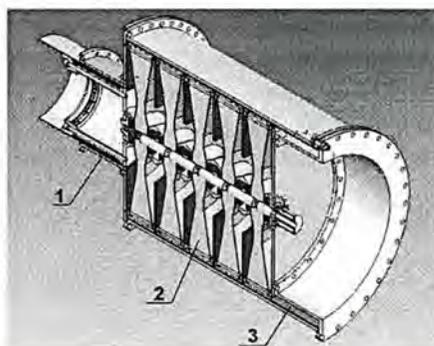


Рис. 12. Эскиз ДВМГ-480-5: 1 – взрывной узел отключения предусилителя; 2 – дисковый элемент; 3 – нагрузка

Заключение

Приведены результаты испытаний дисковых ВМГ диаметром 240 мм при работе на индуктивную нагрузку и в режиме обострения импульса тока электровзрывным размыкателем. По результатам исследований источников энергии на основе спиральных ВМГ и взрывных размыкателей тока дано обоснование возможности создания ВРТ для формирования импульса тока ~ 60 МА в лайнерной нагрузке комплекса ЭМИР при использовании 15-элементного ДВМГ диаметром 480 мм.

Список литературы

1. Selemir V. D., Demidov V. A., Ivanovskii A. V. et al. Explosion Complex for the Generation of Pulsed Soft X Radiation // *Plasma Physics Reports*. 1999. Vol. 25, N 12. P. 1000–1009.
2. Selemir V. D., Demidov V. A., Ivanovsky A. V. et al. Explosive Device for Generation of Pulsed Fluxes of Soft X-Ray Radiation // *Megagauss Magnetic Field Generation, its Application to Science and Ultra-High Pulsed Power Technology* / Ed. H. J. Schneider-Muntau. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore, 2004. P. 446–449.
3. Чернышев В. К., Протасов М. С., Шевцов В. А. Первые дисковые взрывомагнитные генераторы // *Сверхсильные магнитные поля. Физика. Техника. Применение* / Под ред. В. М. Титова и Г. А. Швецова. М.: Наука, 1984. С. 23–25.
4. Chernyshev V. K., Zharinov E. I., Demidov V. A., Kazakov S. A. High-Inductance Explosive Magnetic Generators with High Energy Multiplication // *Megagauss Physics and Technology* / Ed. P. J. Turchi. N.Y.–L.: Plenum Press, 1980. P. 641–649.
5. Протасов М. С., Архипов Б. В., Петрухин А. А. и др. Быстродействующий дисковый взрывомагнитный генератор // *Сверхсильные магнитные поля. Физика. Техника. Применение* / Под ред. В. М. Титова и Г. А. Швецова. М.: Наука, 1984. С. 26–28.
6. Demidov V. A., Kraev A. I., Mamyshev V. I. et al. Three-Module Disk Explosive Magnetic Generator // *Megagauss Fields and Pulsed Power Systems* / Ed. V. M. Titov and G. A. Shvetsov. N.Y.: Nova Science Publishers, 1990. P. 351–354.
7. Pavlovskii A. I., Lyudaev R. Z., Boyko B. A. et al. Investigation of Disk Magnetocumulative Generators // *Megagauss Fields and Pulsed Power Systems* / Ed. V. M. Titov and G. A. Shvetsov. N.Y.: Nova Science Publishers, 1990. P. 331–336.
8. Шевцов В. А., Андреев В. С., Демидов В. А. и др. Результаты экспериментального исследования мощного дискового ВМГ // *Мегагауссная и мегаамперная импульсная технология и применения* / Под ред. В. К. Чернышева, В. Д. Селемира, Л. Н. Пляшкевича. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1997. С. 282–283.
9. Demidov V. A., Kazakov S. A., Kravchenko A. S. et al. High-Power Energy Sources Based on the FCG Parallel and Series Connection. // *Digest of Technical Papers 11th IEEE International Pulsed Power Conference* / Ed. G. Cooperstein and I. Vitkovitsky. Baltimore. Maryland, 1997. P. 1459–1464.
10. Demidov V. A., Selemir V. D., Kazakov S. A. et al. Multi-Module Flux Compression Energy Source "Sprut" // *Megagauss Magnetic Field Generation, its Application to Science and Ultra-High Pulsed Power Technology* / Ed. H. J. Schneider-Muntau. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore, 2004. P. 676–679.

11. Буйко А. М., Данов В. М., Мамышев В. И., Якубов В. Б. Методика численного расчета дисковых взрывомагнитных генераторов // Мегагауссная и мегаамперная импульсная технология и применения / Под ред. В. К. Чернышева, В. Д. Селемира, Л. Н. Пляшкевича. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1997. С. 414–418.
12. Chernyshev V. K., Buyko A. M., Koctyukov V. N. et al. Investigation of Electrically Exploded Large Area Foil for Current Switching // Megagauss Fields and Pulsed Power Systems / Ed. V. M. Titov and G. A. Shvetsov. N.Y.: Nova Science Publishers, 1990. P. 465–470.
13. Selemir V. D., Demidov V. A., Ivanovsky A. V. et al. Study of Possibility of Soft X-Ray Generation at the Experiments with Magnetocumulative Generators // The 28th IEEE International Conference on Plasma Science and 13th IEEE International Pulsed Power Conference / Ed. R. Reinovsky and M. Newton. Las Vegas, Nevada, 2001. P. 735–737.
14. Chernyshev V. K., Volkov G. I., Ivanov V. A., Vakhrushev V. V. Study of Basic Regularities of Formation of Multi-MA-Current Pulses with Short Risettime by EMG Circuit Interruption // In: Megagauss Physics and Technology / Ed. P. J. Turchi. N.Y.–L.: Plenum Press, 1980. P. 663–675.
15. Chernyshev V. K., Andreevskikh L. A., Volkov G. I. et al. Mechanical Conductor Disruption Character in Explosive Current Commutators // Megagauss Fields and Pulsed Power Systems / Ed. V. M. Titov and G. A. Shvetsov. N.Y.: Nova Science Publishers, 1990. P. 533–536.
16. Selemir V. D., Demidov V. A. Pulsed Power Explosive Generators for Physical Studies // Megagauss X / Ed. M. von Ortenberg. Berlin: Humboldt University at Berlin, 2005. P. 161–168.
17. Chernyshev V. K., Demidov V. A., Veselov V. N. et al. Investigation of the Speed Response Dependence of the Explosive Current Opening Switch on Initial Conditions // Megagauss Fields and Pulsed Power Systems / Ed. V. M. Titov and G. A. Shvetsov. N.Y.: Nova Science Publishers, 1990. P. 527–531.
18. Селемир В. Д., Демидов В. А., Пляшкевич Л. Н. и др. Сильноточные (30 МА и более) импульсы энергии для питания индуктивных и активных нагрузок // Мегагауссная и мегаамперная импульсная технология и применения / Под ред. В. К. Чернышева, В. Д. Селемира, Л. Н. Пляшкевича. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1997. С. 248–254.
19. Desjarlais M. P., Marder B. M. Theory of Wire Number Scaling in Wire-Array Z-Pinches // Phys. Plasmas. 1999. Vol. 6, N 5. P. 2057–2064.

Explosive Pulsed Power for Controlled Fusion

V. A. Demidov, V. D. Selemir

Megaampere pulsed currents with a rise time of 0.1–1 μ s are required for fusion studies. Use of one or several stages of the current pulse sharpening should be used at such pulses formation using inductive systems of energy storage. In this case large energy losses take place. According to estimations, to realize technical projects of fusion reaction ignition the inductive sources with the stored energy of tens and hundreds megajoules are required. In RFNC-VNIIEF during the last 30 years devices for fusion studies are based on the systems with explosive magnetic flux compression – explosive magnetic generators (EMG).