

ВЫКЛЮЧЕНИЕ СИЛЬНОТОЧНЫХ ЦЕПЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

П. И. Зубков, Л. А. Лукьянчиков

(Новосибирск)

Коммутаторы, способные отключить большие токи в заданное время, весьма важны для энергетики и экспериментальной техники. Особенно актуальной является проблема отключения токов за времена от единиц до десятков микросекунд в цепях, содержащих значительные индуктивности. Использовать для этой цели явление взрыва проволочек и фольг затруднительно, так как оно неуправляемо, и, кроме того, момент отключения и характеристика отключения являются функциями тока [1], что исключает возможность их применения в цепях с длительным временем его протекания.

Несколько лучшими характеристиками обладает комбинированный коммутатор, представляющий собой токопроводящий элемент, погруженный в заряд взрывчатого вещества (ВВ) [2]. Детонацией заряда проводник разрушается, сечение его проводящей части уменьшается, плотность тока в нем увеличивается и в некоторый момент времени оказывается достаточной для выполнения условий электрического взрыва, который и производит выключение.

Ниже рассматривается иная принципиальная схема выключения тока с помощью ВВ. При этом процесс, как и в широко распространенных промышленных устройствах, разделяется на три основные стадии: создание промежутка в цепи и возникновение в нем дугового разряда; гашение электрической дуги потоком газа и заполнение пространства с высокой напряженностью поля веществом, обладающим достаточной электрической прочностью.

Использование конденсированных ВВ позволяет получить следующие преимущества, не реализуемые обычными способами:

1) с точностью до долей микросекунды синхронизацию начала процесса выключения по внешнему управляющему сигналу;

2) большую (>1 км/с) скорость формирования промежутка в цепи с одновременным заполнением его продуктами детонации, обладающими электрической прочностью, значительно превосходящей прочность воздуха при нормальных условиях [3];

3) на несколько порядков меньшие времена гашения дуги высокоскоростными потоками продуктов детонации, обладающими значитель-

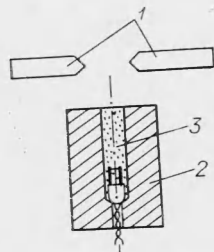


Рис. 1. Схема опыта.

1 — электроды; 2 —
стальная гильза; 3 —
заряд ВВ.

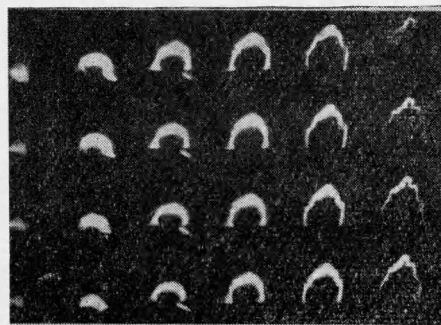


Рис. 2. Покадровая съемка процесса дугогашения.

ной ($\approx 1 \text{ г/см}^3$) плотностью и низкой температурой (на порядок ниже температуры плазмы дуги).

Первые два пункта достаточно очевидны. Эффективность детонации для реализации последнего иллюстрируется описанными ниже экспериментами.

Исследование гашения электрических дуг продуктами детонации производилось в промежутке (рис. 1), включенном в разрядную цепь с характерным временем изменения тока, много большим, чем время

Т а б л и ц а 1

Плотность ВВ, г/см ³	Ток в дуге, кА	Время гашения дуги, мкс
0,9	0,5	2,1
	1,6	39
1,1	0,7	2,2
	2,0	23
1,3	0,8	2,4
	2,5	15

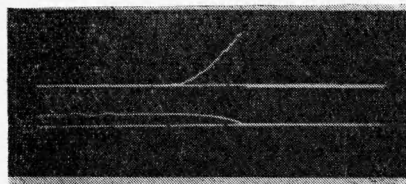


Рис. 3. Оциллограмма опыта. Верхний луч — напряжение на промежутке при отключении; нижний луч — ток в цепи; метки времени через 20 мкс.

дугогашения. Одновременно с измерением тока в цепи и напряжения на исследуемом промежутке процесс регистрировался на фоторазвертке. Инициирование заряда ВВ, продуктами детонации которого гасили дугу, производилось через некоторое время после начала разряда, когда последний можно было считать развившимся. По оциллограммам тока в цепи и напряжения на исследуемом промежутке определялось время гашения. Результаты приведены в табл. 1.

Анализ фотографий процесса гашения, снятого в режиме покадровой съемки (рис. 2), дает возможность получить качественную картину явления. Ударная волна, образовавшаяся при выходе на торец заряда фронта детонации, движется в направлении оси дуги, ускоряет последнюю и выносит из межэлектродного промежутка.

В начальной стадии процесса фронт волны является границей токопроводящей зоны канала дуги. Затем, по мере падения ее интенсивности и в результате действия на дугу электромагнитных сил, последняя отделяется от фронта, и через нее начинает протекать газ, движущийся перед продуктами детонации, вызывая ее интенсивное охлаждение. Через некоторое время проводящий канал дуги приходит в контакт с холодными по сравнению с плазмой дуги и плотными продуктами детонации, что, в свою очередь, приводит к еще более интенсивному охлаждению его и угасанию. Исследуемый промежуток к этому времени заполнен электрически прочными продуктами детонации и не пробируется.

В последующих экспериментах гашение электрической дуги производилось в промежутках, созданных с помощью ВВ. Детонация осуществлялась в наиболее неблагоприятный момент, когда ток в разрядном контуре почти достигал своего максимального значения. На рис. 3 приведены характерные оциллограммы процесса в этом случае. Время выключения, определенное по этим оциллограммам, дано в табл. 2, для данного контура и тока в нем оно определяется конструкцией выключателя и числом последовательных промежутков.

В описанных экспериментах скорости продуктов детонации лежали в интервале от 3 до 5 км/с, скорости же создания промежутков, согласно оценкам, составили 2 км/с.

Достижение более высоких параметров выключения требует:

1) ускоренного формирования промежутков за счет гидродинамических явлений (кумуляция, естественное и искусственное образование последовательности промежутков);

2) форсирования (например, за счет кумуляции) взаимодействующих продуктов детонации с дугой. При этом необходимо учитывать, что возможны эффекты, связанные с резким падением собственного сопротивления продуктов [4];

3) вольтсекундных характеристик продуктов детонации на различных этапах расширения.

Таблица 2

Максим. ток в цепи, кА	Емкость разрядн. конденсатора, мкФ	Индуктивность, мГн	Сечение шины, мм ²	Вес заряда ВВ, г	Время выключения, мкс
50	300	~5	50	100	15-50
6,5	300	~30	1000	25	10-40
10	300	~125	2000	40	15-50

Кроме того, надо иметь в виду, что при взрыве образуются ударные волны, движущиеся в магнитном поле отключаемого тока и в значительном электрическом поле, возникающем после отключения. Это может привести к вторичным пробоям промежутка, предотвращение которых требует исследований электрической прочности воздуха, сжатого ударной волной. При выключении в ближней зоне детонационного фронта необходимо учитывать распределение электропроводности продуктов детонации [5].

Поступила в редакцию
23/II 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Ф. Кварцхава, В. В. Бондаренко и др. ЖЭТФ, 1956, 31, 5.
2. Г. Кнопфель. Сверхсильные импульсные магнитные поля. М., «Мир», 1972.
3. П. И. Зубков, Л. А. Лукьянчиков. ПМТФ, 1970, 4.
4. В. М. Титов, Г. В. Пряхин, Г. А. Швецов. ПМТФ, 1971, 3.
5. П. И. Зубков, Л. А. Лукьянчиков, Б. С. Новоселов. ФГВ, 1971, 7, 2.