

А.В. Аттетков, М.М. Бойко

## ДЕТОНАЦИОННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Рассмотрена классификация детонационных логических элементов (ДЛЭ) — устройств, логические операции в которых осуществляются с помощью взрывных сигналов. Изучаются ДЛЭ, техническая реализация которых базируется на физическом принципе «эффект угла». Проанализированы способы описания функциональных свойств ДЛЭ с помощью булевых функций. Приведены примеры реализации булевых функций в детонационных элементах одно- и двухступенчатой логики.

Логическими элементами (ЛЭ) называются устройства, осуществляющие логические операции с сигналами. Можно выделить ограниченное число простейших ЛЭ, с помощью которых возможна реализация любой логической функции: сложения, вычитания, сравнения сигналов и т.д. Техническая реализация ЛЭ может быть различной: на реле, диодах, транзисторах, интегральных микросхемах. Важное место в классе подобных элементов занимают детонационные логические элементы (ДЛЭ) — устройства, логические операции в которых осуществляются с помощью взрывных сигналов (детонационных импульсов). Комбинационные логические устройства, содержащие ДЛЭ, находят в настоящее время широкое применение в системах инициирования детонации и передачи детонационных импульсов [1—7].

Задачи проектирования ДЛЭ, разработки физических принципов и математических основ теории передачи взрывных сигналов тесно связаны с проблемой пределов распространения стационарной детонации в тонких слоях взрывчатых веществ (ВВ), детонационной способностью зарядов в виде полос и лент, явлением распространения детонации в устройствах остроугольной геометрии, содержащих заполненные ВВ каналы. Закономерности данного процесса в профилированных (имеющих изгибы и ответвления) слоях пластичных ВВ экспериментально исследовались в работе [1]. Показано, что при повороте детонационной волны на заданный угол в области вершины угла поворота образуется зона непрореагировавшего вещества конечных геометрических размеров (рис. 1; зона непрореагировавшего ВВ затенена). Соотношение между характерным размером указанной зоны и шириной слоя ВВ и определяет предел распространения детонации в профилированном слое: детонация не затухает, если разность указанных величин превышает критическую толщину слоя ВВ (рис. 1, а), в противном случае (рис. 1, б, в) наблюдается срыв детонации — реализуется «эффект угла». Аналогичные закономерности в поведении наблюдаются и при распространении детонации в профилированных зарядах ВВ цилиндрической формы.

Функциональные свойства ЛЭ и комбинационных логических устройств на их основе, устанавливающие взаимосвязь состояния сигнала на выходе ЛЭ или устройства с возможными комбинациями сигналов на входе, описываются с помощью логических (булевых) функций. Последние могут быть заданы таблично (в виде таблиц истинности) или в аналитической форме (символами алгебры логики). Условные графические изображения простейших ДЛЭ, а также соответствующие им функциональные обозначения ЛЭ микросхемных устройств на цифровых микросхемах [8] и таблицы истинности показаны на рис. 2: а — элемент И (конъюнктор, &),  $Y = X_1 \cdot X_2$ ; б — элемент ИЛИ (дизъюнктор, |),  $Y = X_1 + X_2$ ; в — элемент НЕ (инвертор, 1)  $Y = X_1$ ; г — элемент Исключающее ИЛИ (сумматор по модулю 2,  $\oplus$ ),  $Y = X_1 \oplus X_2$ .

Булева функция конъюнкции, реализуемая ДЛЭ (рис. 2, а) может принимать значение 1 только на одном из четырех возможных наборов переменных, а именно на наборе  $X_1 = 1$  и  $X_2 = 1$ . На всех остальных наборах переменных ее значение равно нулю. Применительно к преобразо-

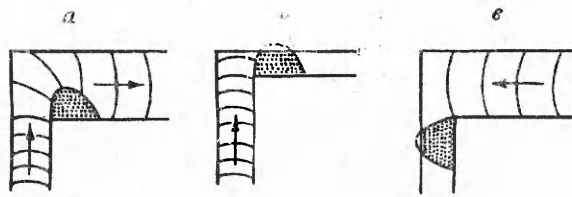


Рис. 1. Реализация «эффекта угла» при повороте детонационной волны.

ванию детонационного импульса это означает, что сигнал на выходе взрывного устройства появится только тогда, когда сигнал будет присутствовать на двух входах ( $X_1$  и  $X_2$ ). Напротив, булева функция дизъюнкция, реализуемая ДЛЭ, изображенным на рис. 2, б, принимает значение 1 на всех наборах переменных, кроме одного:  $X_1 = 0$  и  $X_2 = 0$ . Применительно к преобразованию детонационного импульса это означает, что сигнал на выходе взрывного устройства появится в любом случае, когда сигнал 1 присутствует хотя бы на одном из входов.

Выделим также булеву функцию, реализуемую ДЛЭ, изображенным на рис. 2, в. Применительно к преобразованию детонационного импульса данная функция означает, что сигнал на выходе взрывного устройства, имеющего один вход  $X_1$ , появится только в том случае, когда сигнал 1 на входе

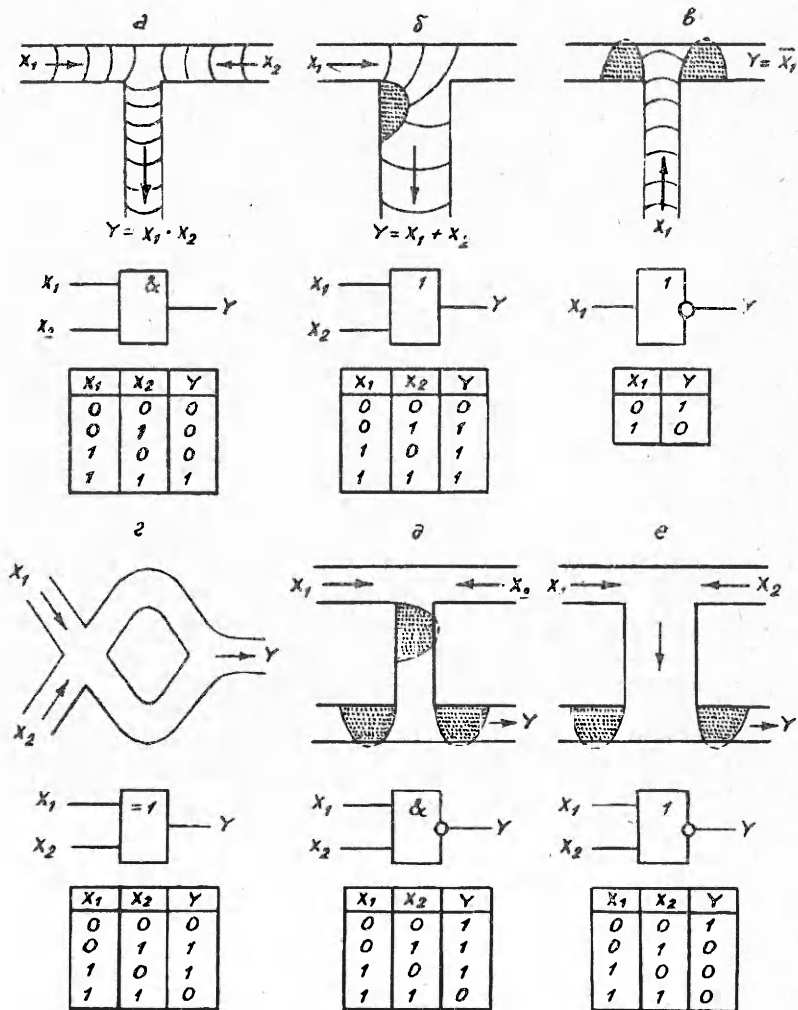


Рис. 2. Детонационные элементы одноступенчатой логики.

Рис. 3. Детонационные элементы двухступенчатой логики.

отсутствует. В противном случае на выходе взрывного устройства действует сигнал 0.

ДЛЭ, показанный на рис. 2, г, носит название схемы **Исключающее ИЛИ** (логическая неравнозначность). Булева

функция, реализуемая данным элементом, означает, что сигнал на выходе устройства может появиться при наличии сигнала 1 только на одном из входов ( $X_1$  или  $X_2$ ). При одновременном появлении сигналов на входах  $X_1$  и  $X_2$  срабатывает физический принцип «эффект угла»; детонационный импульс в этом случае не передается на выход устройства.

Рассмотренные ДЛЭ относятся к классу функциональных элементов одноступенчатой логики, а собственно функции, реализуемые ДЛЭ рис. 2, а—в, называются основным функционально полным набором, на основе которого можно получить любую функцию, используя лишь принцип суперпозиции. Примеры детонационных элементов одноступенчатой логики, реализующих более сложные булевы функции **И—НЕ** ( $Y = X_1 \cdot X_2$ ) и **ИЛИ—НЕ** ( $Y = X_1 + X_2$ ), показаны на рис. 2, д, е соответственно.

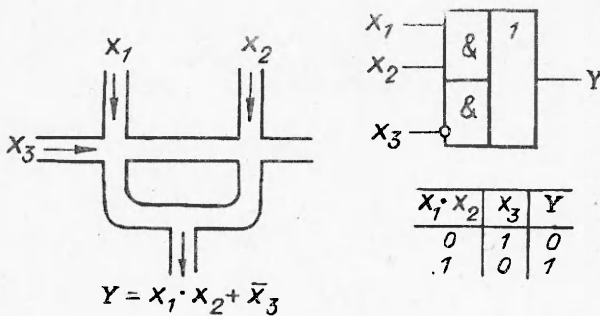
Схемотехнические возможности ДЛЭ второго класса — элементов двухступенчатой логики — иллюстрирует рис. 3. Представленный логический элемент реализует булеву функцию **И—ИЛИ** ( $Y = X_1 \cdot X_2 + X_3$ ). Это означает, что появление сигнала на выходе взрывного устройства возможно лишь при отсутствии сигнала 1 на входе  $X_3$ , но их одновременном присутствии на входах  $X_1$  и  $X_2$ . На всех остальных наборах переменных значение булевой функции на выходе устройства равно нулю. Например, при  $X_3 = 0$  и наличии сигнала 1 на одном из входов ( $X_1$  или  $X_2$ ) в этом случае реализуется схема **И** (см. рис. 2, а). Появление сигнала 1 на входе  $X_3$  приводит к реализации схемы **НЕ** (см. рис. 2, в): в зависимости от одновременности подачи сигналов на входы  $X_3$  и  $X_1, X_2$  происходит перекрытие одного ( $X_1$ ) или двух ( $X_1$  и  $X_2$ ) каналов и детонационный импульс не передается на выход устройства.

Детонационные элементы рассмотренного класса, их логические и схемотехнические возможности позволяют синтезировать комбинационные логические устройства взрывного типа, осуществлять временное регулирование задержки передачи взрывного сигнала, коммутацию сигналов, их селекцию или прерывание. Технологическая реализация подобных элементов достаточно проста, что предопределяет возможность их широкого применения при проектировании взрывных устройств повышенной безопасности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 94-03-09839).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков С.А., Шутов В.И. О распространении детонации в полосе, имеющей углы поворота // ФГВ. — 1980. — Т. 16, № 3. — С. 153—154.
2. Pat. 3035518 USA, IC<sup>2</sup> F42B3/10. Detonation — wave shaped / D.L. Coursen. — Publ. 22.05.62.
3. Pat. 3430564 USA, IC<sup>2</sup> F42B3/10. Explosive gate, diode and switch / D.A. Silvia, R.T. Ramsey, J.H. Spencer. — Publ. 4.03.69.
4. Pat. 3496868 USA, IC<sup>2</sup> F42D3/00, B3/00. Explosive elements / D.A. Silvia, R.T. Ramsey. — Publ. 24.02.70.
5. Pat. 3753402 USA, IC<sup>2</sup> F42D1/04, C06C5/04. Explosive and hand logic elements / F.L. Menz, M.R. Osburn. — Publ. 21.08.73.
6. Pat. 3768409 USA, IC<sup>2</sup> F42B3/10. Binary explosive logic network / F.L. Menz, S.L. Redmond. — Publ. 30.10.73.



$$Y = X_1 \cdot X_2 + \bar{X}_3$$

7. Pat. 3973499 USA, IC<sup>2</sup> F42C19/09. Safe rocket motor igniter using sequenced initiation to and explosive logic network /M.A. Anderson, F.L. Menz. — Publ. 10.08.76.
8. Букреев И.Н., Горячев В.И., Мансуров Б.М. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. — М.: Радио и связь, 1990. — 416 с.

107005, г. Москва  
НИИСпецмаш, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Поступила в редакцию 14/VII 1993,  
после доработки — 4/II 1994

УДК 539.3:621.7

*В.Ф. Нестеренко, Я.Л. Лукьянов, М.П. Бондарь*

## ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИКОНТАКТНОЙ ЗОНЫ В РЕЖИМЕ ОБРАЗОВАНИЯ “ХОЛОДНОГО” ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

В работах [1—4] экспериментально обнаружены качественно новые режимы регулярного и нерегулярного отражений ударной волны от контакта пористой среды и монолитного материала на примере порошка меди (нержавеющей стали) и монолитной меди в цилиндрической геометрии. Их новизна определяется наличием “холодного” пограничного слоя в порошке, примыкающем к монолитному центральному стержню [1—4], и образованием дополнительного, нетрадиционного контактного разрыва, отходящего от физической границы монолита и порошка и ограничивающего “холодный” пограничный слой с внешней стороны [2, 3].

Рассматриваемое явление (“холодный” слой и дополнительный контактный разрыв) экспериментально обнаружено также и на примере других пористых и монолитных материалов [5, 6]. Его механизмы рассматривались в работах [1—8].

Авторы работ [1—8] указывают на определяющую роль отраженных от контакта импульсов сжатия, приводящих к отличию истории нагружения порошка, примыкающего к центральному стержню, от его поведения в условиях стационарного однократного ударно-волнового сжатия. Это и приводит к уменьшению запасаемой внутренней энергии в порошке “холодного” слоя по отношению к более удаленным от контакта областям и к отходу контактного разрыва от физической границы порошок — монолит.

В то же время в подходе авторов [1—4, 7] и [5, 6, 8] имеется и важное различие. Оно состоит в том, что особенность процесса сжатия порошка в “холодном” слое в [1—4, 7] связывается с конечной шириной фронта ударной волны, в связи с чем невозможно интерпретировать процесс его образования с помощью отраженных ударных волн, где состояние за фронтом рассчитывается с помощью ударной адиабаты, а в [5, 6, 8] рассматриваемое явление объясняется воздействием на порошок волн сжатия, вызванных “бугром” пластической деформации, предшествующим основному сжатию в падающей волне.

По нашему мнению, в настоящее время отсутствуют надежные экспериментальные или теоретические доказательства в пользу разделения роли первого и второго механизмов. Так, остаются неясными основные характеристики “бугра” деформации — скорость его распространения, высота, амплитуда массовой скорости. Использование скорости звука для объемных возмущений в материале преграды для разделения режимов отражения не вполне корректно, так как поверхностные пластические возмущения являются качественно другим процессом. Направление асимметричной деформации отдельных гранул [6] не может служить способом определения направления распространения фронта волны в порошке, так как это можно с уверенностью сделать только при коллективном характере деформации многих гранул. Более того, близость характерных размеров “холодно-

© В.Ф. Нестеренко, Я.Л. Лукьянов, М.П. Бондарь, 1994.