

УДК 681.32

М.С. Никитин, К.А. Никитина
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Пермь

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИЙ ЭЛЕМЕНТА ФРЕДКИНА НА ОСНОВЕ LUT FPGA

В данной статье рассмотрены варианты реализации обратимого элемента Фредкина на основе LUT FPGA на одну переменную, приведен их анализ.

Ключевые слова: элемент Фредкина, моделирование, обратимость, универсальный логический модуль.

M.S. Nikitin, K.A. Nikitina
Perm national research polytechnic university, Perm

SIMULATION OF FREDKIN GATE IMPLEMENTATIONS BASED ON LUT FPGA

This article discusses the options for implementing a reversible Fredkin gate based on a single-variable FPGA LUT, and provides an analysis of them.

Keywords: Fredkin gate, simulation, reversibility, universal logic module.

Введение. Развитие квантовых вычислений заставляет все больше обращать внимание на исследование обратимой логики. Обратимость позволяет определить однозначное соответствие входов и выходов, что позволяет как возвращать энергию, потраченную на вычисления источнику, так и контролировать правильность вычислений. Так же исследуются механизмы, позволяющие реализовать на их основе, как отдельные квантовые процессоры, так и целые компьютеры.

Реализация элементов Фредкина. Для выполнения квантовых вычислений разработано множество элементов логики, одним из таких элементов является элемент Фредкина. Элемент Фредкина (также встречается как Вентиль Фредкина) представляет собой обратимый универсальный логический модуль, позволяющий реализовывать квантовые вычисления. Условное обозначение элемента представлено на рисунке 1, а на рисунке 2 представлена таблица истинности для данного элемента. На таблице истинности наблюдаем биекцию входов-выходов, что и способствует обратимости элемента.

Пример реализации необратимого элемента Фредкина представлен на рисунке 3. При моделировании данного элемента наблюдаем прямую (слева-направо) передачу сигналов. Для обратимых элементов предложено несколько вариантов реализации. Разберем каждый из предложенных вариантов.

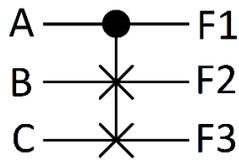


Рисунок 1 – Условное обозначение вентиля Фредкина в квантовых схемах

№	C	B	A	F1	F2	F3
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1
2	0	1	0	0	1	0
3	0	1	1	0	1	1
4	1	0	0	1	0	0
5	1	0	1	1	1	0
6	1	1	0	1	0	1
7	1	1	1	1	1	1

Рисунок 2 – Схема реализации элемента Фредкина

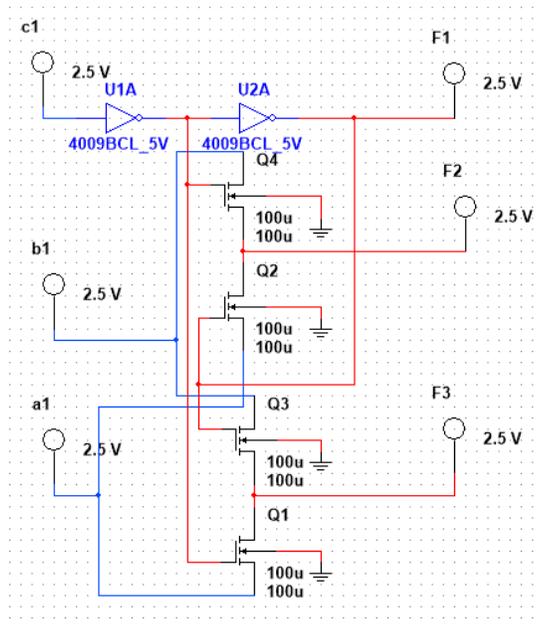


Рисунок 3 – Схема реализации элемента Фредкина

Первый вариант (рисунок 4) дополнен тристабильными буферами для управления направлением передачи информации, прямой (слева-направо) FORWARD=1 и обратной (справа-налево) FORWARD=0. Т.к. инвертор состоит из 2 транзисторов, а тристабильный буфер из 6 транзисторов, в сумме, с уже имеющимися транзисторами, получаем общее количество задействованных транзисторов равным 98.

Второй вариант (рисунок 5) относительно 1 варианта, обладает меньшим количеством тристабильных буферов, что способствует упрощению схемы, уменьшению занимаемой ей площади. Общее количество транзисторов в этом варианте составляет 54.

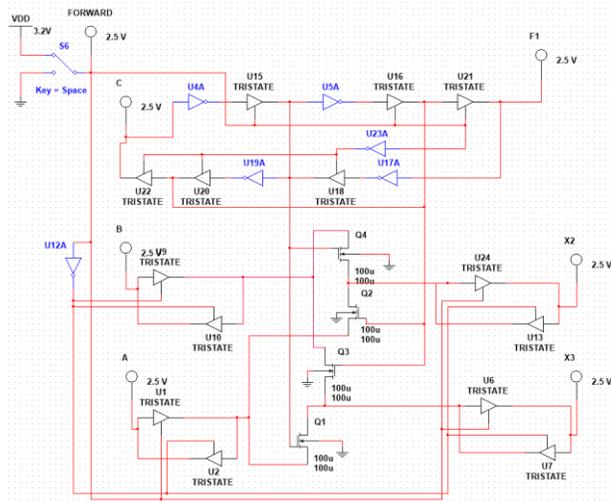


Рисунок 3 – Схема обратимого элемента Фредкина, версия 1

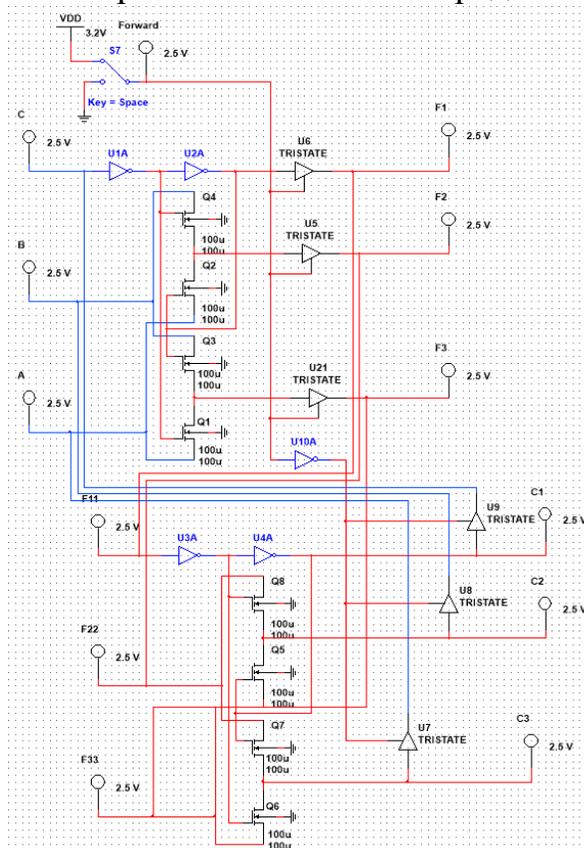


Рисунок 4 – Схема обратимого элемента Фредкина, версия 2

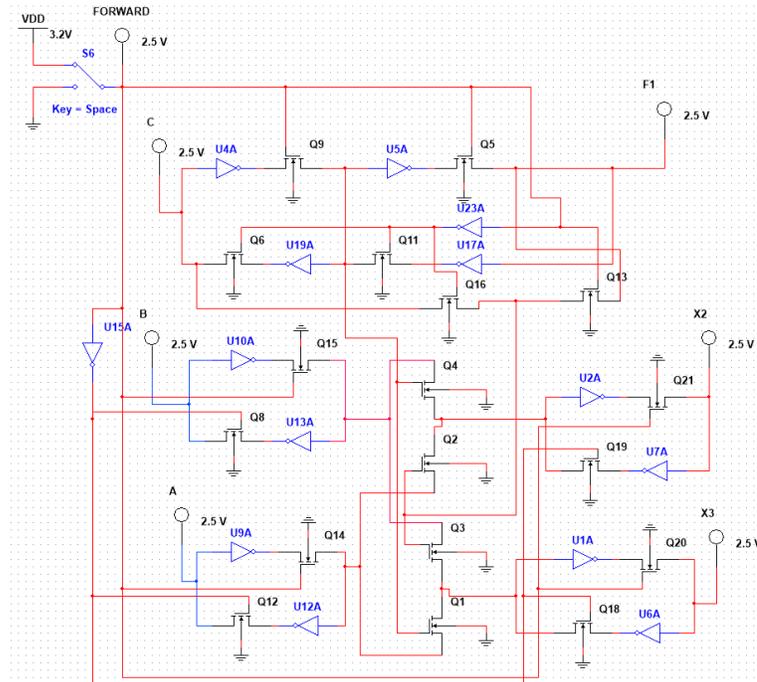


Рисунок 5 – Схема обратимого элемента Фредкина, версия 3

Третий вариант (рисунок 5) отличается отсутствием тристабильных буферов, данный вариант будет иметь наименьшую занимаемую площадь, т.к. общее количество задействованных транзисторов равно 46.

Моделируя все предложенные варианты. Для удобства сводим данные по задержкам в одну таблицу (таблица 1).

Таблица 1 – Сводные данные по задержкам

Вариант	t, нс			
	V, В			
	3,2		5	
	Freq, МГц			
	1	10	1	10
0	169,9	169,9	169,9	169,9
1	169,9	179	169,9	179
2	169,9	179	169,9	179
3	169,9	179	169,9	179

Таблица 2 – Сводные данные по задержкам

Вариант	Количество транзисторов, штук
0	8
1	98
2	54
3	46

По данным полученным в результате моделирования показывают схожие характеристики. И различия заключаются в сложности схемы, что выражается в занимаемой ими площади, в количестве используемых элементов.

Вывод. Анализируя различные варианты, можем установить, что лучшим вариантом для применения является 3 вариант, т.к. по временным характеристикам не наблюдаются отличия, а общее количество транзисторов меньше чем в остальных.

Для применения 1 и 2 вариант требуются большие затраты, а результаты не отличаются от 3.

Список литературы

1. Ismaeel Salman Abu Aballi. Quantum computing. – URL: https://www.researchgate.net/publication/338828306_Quantum_computing (accessed 12 March 2020).
2. А. С. Сигов, Е. Г. Андрианова, Д. О. Жуков, С. В. Зыков, И. Е. Тарасов. Квантовая информатика: обзор основных достижений – Российский технологический журнал, 2019, Том 7, № 1(27), 5-37 с.
3. R.V. Patel, J. Ho, F. Ferreyrol, T.C. Ralph, G.J. Pryde. A quantum Fredkin gate – Science Advances, Том 2, №3
4. С.Ф Тюрин. "Биллиардное" моделирование универсальных логических модулей на основе элемента Фредкина для квант-ютинга – Прикладная математика и вопросы управления (ПНИПУ), 2020, №2, 55-72с.
5. С.Ф Тюрин. LUT based Fredkin gate – Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020 №1, 44-53 с.
6. O. Drozd, V. Antoniuk, V. Nikul, M. Drozd. Hidden faults in FPGA-built digital components of safety-related systems – 14 международная конференция “TCSET’2018 Conference “Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science”, Львов, Украина, 2018, 805-809 с.
7. K. Zashcholkin, O. Drozd, O. Ivanova, P. Bykovyy. Formation of the Interval Stego Key for the Digital Watermark Used in Integrity Monitoring of FPGA-based Systems – CEUR Workshop Proceedings, №2623, 2020, 267-276с.

Сведения об авторах

Никитин Максим Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, электротехнический факультет, гр. КОБ-16-1с, Пермь, email: mann1k@yandex.ru

Никитина Ксения Андреевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, электротехнический факультет, гр. АТ1-20-1м Пермь, email: ksu2317@yandex.ru

About the authors

Nikitin Maksim Sergeevich – Student of Perm National Research Polytechnic University, Electrical Engineering Faculty, gr. KOB-16-1s, Perm, email: mann1k@yandex.ru

Nikitina Kseniya Andreevna - Master's degree student of Perm National Research Polytechnic University, Electrical Engineering Faculty, gr. AT1-20-1m, Perm, email: ksu2317@yandex.ru