

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 691 852** ⁽¹³⁾ **C2**

(51) МПК
G11C 19/00 (2006.01)
(52) СПК
G11C 19/00 (2019.02)

(21)(22) Заявка: [2017137900](#), 30.10.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.10.2017

Дата регистрации:
18.06.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 30.10.2017

(43) Дата публикации заявки: 30.04.2019 Бюл.
№ [13](#)

(45) Опубликовано: [18.06.2019](#) Бюл. № [17](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 666583 A, 05.06.1979. SU 1140176
A, 15.02.1985. RU 2022773 C1, 30.10.1994. RU
2047922 C1, 10.11.1995. US 2005/0104836 A1,
19.05.2005.

Адрес для переписки:
394026, г. Воронеж, Московский просп., 14,
ФГБОУ ВО "ВГТУ", патентный отдел

(72) Автор(ы):

Тюрин Сергей Владимирович (RU)

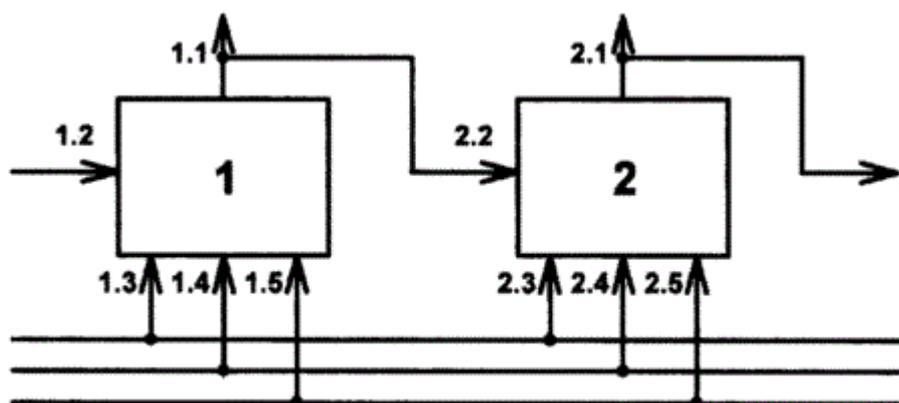
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Воронежский
государственный технический
университет" (RU)

(54) Регистр сдвига

(57) Реферат:

Изобретение относится к цифровой вычислительной технике. Технический результат заключается в расширении функциональных возможностей регистра сдвига за счет возможности автоматического преобразования произвольной Булевой функции, зависящей от n аргументов, к полиномиальной нормальной форме - к полиному Жегалкина или к полиномам Риды - Маллера с фиксированной полярностью. Регистр сдвига состоит из нескольких последовательно расположенных однотипных секций, каждая секция содержит синхронный JK-триггер и один инвертор, в каждую регистровую секцию дополнительно вводится схема управления режимами работы JK-триггера, содержащая элемент ИЛИ, два элемента И и второй инвертор. 7 ил.



Фиг.1

Изобретение относится к цифровой вычислительной технике и предназначено для автоматического преобразования произвольной Булевой функции, зависящей от n аргументов, к полиномиальной нормальной форме - к полиному Жегалкина или к полиномам Рида - Маллера с фиксированной полярностью (positive-polarity Reed-Muller expressions - PPRM).

Наиболее близким по технической сути является широко известный регистр сдвига, смотри, например, [Новожилов О.П. Основы цифровой техники. - М: ИП РадиоСофт, 2004. - 528 с.].

Данный регистр сдвига состоит из нескольких последовательно расположенных однотипных секций, выходы которых являются параллельным выходом регистра сдвига, причем выход каждой предшествующей секций соединен с первым входом последующей секции, первый вход первой секции и выход последней секции не подключены ни к одной из цепей, вторые входы секций объединены между собой и подключены к входу сигнала сброса регистра сдвига, третьи входы секций объединены между собой и подключены к входу сигнала синхронизации, при этом каждая секция содержит синхронный JK-триггер и один инвертор, преобразующий JK-триггер в синхронный D-триггер.

Данный регистр сдвига реализует несколько операций: установка в нулевое состояние всех триггеров регистра; последовательный синхронный прием входных данных при их подаче на первый вход первой секции регистра; хранение принятых данных, которые могут быть считаны параллельно со всех выходов регистра или последовательно с выхода последней секции регистра.

Изобретение направлено на расширение функциональных возможностей регистра сдвига за счет реализации дополнительной операции, обеспечивающей возможность автоматического преобразования произвольной Булевой функции, зависящей от n аргументов, к полиномиальной нормальной форме - к полиному Жегалкина или к полиномам Рида - Маллера с фиксированной полярностью (positive-polarity Reed-Muller expressions - PPRM).

Это достигается тем, что в каждую регистровую секцию 1,2 дополнительно вводится схема управления режимами работы JK-триггера, содержащая элемент ИЛИ 4, два элемента И 5,6 и второй инвертор 7, вход первого инвертора 8 подключен к первому входу первого элемента И 5 и четвертому входу 1.5 регистровой секции, выход инвертора 8 подключен к второму входу второго элемента И 6, первый вход которого подключен к входу второго инвертора 7, к входу J триггера и первому входу 1.2 регистровой секции, выход первого инвертора 7 подключен к второму входу первого элемента И 5, выход которого подключен к первому входу элемента ИЛИ 4, второй вход которого подключен к выходу второго элемента И 6, а выход элемента ИЛИ 4 подключен к входу К триггера, вход С которого подключен к третьему входу

1.4 регистровой секции, а вход R триггера подключен к второму входу 1.3 регистровой секции, четвертые входы 1.5 и 2.5 всех регистровых секций соединены между собой и подключены к сигналу управления режимами работы JK-триггера.

На фиг. 1 представлена структурная схема предлагаемого регистра сдвига; на фиг. 2 - функциональная схема регистровой секции. На фиг. 3 представлена таблица истинности некоторой Булевой функции $F(a, b, c)$ и двоичное кодирование ее элементарных конъюнкций, а на фиг. 4 - монотонные конъюнкции функции $F(a, b, c)$, их двоичное кодирование и соответствие коэффициентам полиномиальной формы. На фиг. 5 представлена таблица, иллюстрирующая процесс последовательного преобразования заявляемым регистром сдвига Булевой функции $F(a, b, c)$ в полином Жегалкина (положительно поляризованный полином Рида - Маллера). На фиг. 6 представлена временная диаграмма работы заявляемого регистра сдвига в режиме полиномиального преобразования Булевой функции. На фиг. 7 представлена функциональная схема, реализующая последовательно-параллельные свертки по модулю два значений Булевой функции и являющаяся комбинационным эквивалентом заявляемого регистра сдвига при его работе в режиме полиномиального преобразования.

Регистр сдвига работает следующим образом. Если на входы 1.5, 2.5 ... всех регистровых секций подается сигнал управления, равный логической единице ($U=1$), то JK - триггер будет функционировать как синхронный D-триггер. В этом режиме выполняются все прежние операции: установка в нулевое состояние всех триггеров регистра; последовательный синхронный прием входных данных при их подаче на первый вход первой секции регистра; хранение принятых данных, которые могут быть считаны параллельно со всех выходов регистра или последовательно с выхода последней секции регистра. Если же на входы 1.5, 2.5 ... всех регистровых секций подается сигнал управления, равный логическому нулю ($U=0$), то JK-триггер будет функционировать как синхронный T-триггер, а регистр сдвига - как полиномиальный преобразователь произвольной Булевой функции, битовые значения которой последовательно подают на первый вход 1.1 первой секции. Для полиномиального преобразования Булевой функции, зависящей от n аргументов, потребуется 2^n регистровых секций и 2^n рабочих такта. При этом каждая регистровая секция трансформируется в накапливающий сумматор по модулю 2 (\oplus), то есть каждая регистровая секция реализует следующее логическое выражение:

$$Q_i^{t+1} = Q_i^t \oplus Q_{i-1}^t, \quad (1)$$

где Q_i^t - текущее логическое значение на выходе i -го триггера;

Q_{i-1}^t - текущее логическое значение на выходе $(i-1)$ -го триггера;

Q_i^{t+1} - следующее логическое значение на выходе i -го триггера.

Из соотношения (1) следует, что во втором режиме работы при $U=0$ регистр сдвига преобразуется в специфический синхронный счетчик, в котором после установки этого счетчика в ноль в каждой i -ой его секции определяется четное или нечетное количество единичных значений, которое принимал выход $(i-1)$ -ой секции на некотором количестве тактов счета. Если количество входных для i -ой секции единичных значений было четным, то на выходе i -ой секции формируется логический ноль, а если количество входных для i -ой секции единичных значений было нечетным, то на выходе i -ой секции формируется логическая единица. Предлагаемое преобразование регистра сдвига позволяет его использовать как полиномиальный преобразователь произвольной Булевой функции, зависящей от n аргументов, к полиномиальной нормальной форме - к полиному Жегалкина или к полиномам Рида -

Маллера с фиксированной полярностью (positive-polarity Reed-Muller expressions - PPRM).

Рассмотрим подробнее работу предлагаемого регистра сдвига в режиме полиномиального преобразователя.

Широко известно, например, (Акинин А.А., Акинина Ю.С., Подвальный С.Л., Тюрин С.В. Автоматизация полиномиального разложения булевых функций на основе метода неопределенных коэффициентов // Системы управления и информационные технологии. 2011. Т. 44. №2. С. 4-8.), что существуют следующие тождественные аналитические представления Булевых функций (БФ), зависящих от n переменных:

$$V_{i=0}^{2^n-1} f_i \wedge K_i \equiv \sum_{i=0}^{2^n-1} g_i \wedge K_i^M, \quad (2)$$

где $V_{i=0}^{2^n-1} f_i \wedge K_i$ - совершенная дизъюнктивная нормальная форма БФ;

$\sum_{i=0}^{2^n-1} g_i \wedge K_i^M$ - полиномиальная нормальная форма;

\wedge - знак конъюнкции;

V - знак дизъюнкции;

Σ - знак суммы по модулю два;

f_i - значение (0, 1) БФ на i -ом наборе аргументов;

K_i - элементарная конъюнкция максимального ранга на i -ом наборе аргументов;

g_i - коэффициенты (0, 1) полиномиальной нормальной формы;

K_i^M - монотонная конъюнкция на i -ом наборе аргументов.

С учетом (2) и данных, представленных на фиг. 3 и фиг. 4 для Булевой функции F (a, b, c), имеем:

$$V_{i=0}^7 f_i \wedge K_i = (1 \wedge K_0) V(0 \wedge K_1) V(1 \wedge K_2) V(0 \wedge K_3) V(0 \wedge K_4) V(1 \wedge K_5) V(1 \wedge K_6) V(0 \wedge K_7) = \bar{a} \bar{b} \bar{c} V \bar{a} b \bar{c} V a b \bar{c} V a b c \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{2^n-1} g_i \wedge K_i^M &= (g_0 \wedge K_0^M) \oplus (g_1 \wedge K_1^M) \oplus (g_2 \wedge K_2^M) \oplus (g_3 \wedge K_3^M) \oplus \\ &\oplus (g_4 \wedge K_4^M) \oplus (g_5 \wedge K_5^M) \oplus (g_6 \wedge K_6^M) \oplus (g_7 \wedge K_7^M) = \\ &= (g_0 \wedge 1) \oplus (g_1 \wedge c) \oplus (g_2 \wedge b) \oplus (g_3 \wedge bc) \oplus \\ &\oplus (g_4 \wedge a) \oplus (g_5 \wedge ac) \oplus (g_6 \wedge ab) \oplus (g_7 \wedge abc). \end{aligned} \quad (4)$$

Из (4) следует, что для получения аналитического представления БФ в полиномиальной нормальной форме необходимо и достаточно определить значения коэффициентов g_i . Именно такую задачу и решает предлагаемый регистр сдвига, работающий в режиме полиномиального преобразователя. На фиг. 5 поясняется работа заявляемого регистра сдвига, имеющего восемь секций и преобразующего Булеву функцию F (a, b, c), таблица истинности которой представлена на фиг. 3. На фиг. 6 показана временная диаграмма, соблюдение которой необходимо для корректной работы заявляемого регистра сдвига в режиме полиномиального преобразователя. Важным является и то, что значение коэффициента g_{2^n-1} всегда формируется на выходе 1.1 первой регистровой секции.

На основании данных, представленных на фиг. 5, имеем следующую полиномиальную форму (полином Жегалкина) для функции F (a, b, c):

$$F(a, b, c) = 1 \oplus c \oplus a \oplus ab \quad (5)$$

На фиг. 7 представлена функциональная схема, реализующая последовательно-параллельные свертки по модулю два значений Булевой функции и являющаяся

комбинационным эквивалентом заявляемого регистра сдвига при его работе в режиме полиномиального преобразования. На основе анализа этого комбинационного эквивалента не трудно получить известную из дискретной математики систему уравнений, которую, по математической сути, реализует заявляемый регистр сдвига в режиме полиномиального преобразования Булевых функций:

$$\begin{aligned}
 g_7 &= f_0 \oplus f_1 \oplus f_2 \oplus f_3 \oplus f_4 \oplus f_5 \oplus f_6 \oplus f_7 \\
 g_6 &= f_0 \oplus f_2 \oplus f_4 \oplus f_6 \\
 g_5 &= f_0 \oplus f_1 \oplus f_4 \oplus f_5 \\
 g_4 &= f_0 \oplus f_4 \\
 g_3 &= f_0 \oplus f_1 \oplus f_2 \oplus f_3 \\
 g_2 &= f_0 \oplus f_2 \\
 g_1 &= f_0 \oplus f_1 \\
 g_0 &= f_0
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Техническим результатом от использования заявляемого изобретения является дополнительная возможность простого решения задачи автоматического преобразования произвольной Булевой функции, зависящей от n аргументов, к полиномиальной нормальной форме с минимальными аппаратными и временными затратами: требуется 2^n регистровых секций и 2^n тактов работы заявляемого регистра сдвига.

Формула изобретения

Регистр сдвига, состоящий из последовательно расположенных однотипных секций, выходы которых являются параллельным выходом регистра сдвига, причем выход каждой предшествующей секций соединен с первым входом последующей секции, первый вход первой секции и выход последней секции не подключены ни к одной из цепей, вторые входы секций объединены между собой и подключены к входу сигнала сброса регистра сдвига, третьи входы секций объединены между собой и подключены к входу сигнала синхронизации, при этом каждая секция содержит синхронный JK-триггер и один инвертор, отличающийся тем, что в каждую регистровую секцию дополнительно вводится схема управления режимами работы JK-триггера, содержащая элемент ИЛИ, два элемента И и второй инвертор, вход первого инвертора подключен к первому входу первого элемента И и четвертому входу регистровой секции, выход инвертора подключен к второму входу второго элемента И, первый вход которого подключен к входу второго инвертора, к входу J триггера и первому входу регистровой секции, выход первого инвертора подключен к второму входу первого элемента И, выход которого подключен к первому входу элемента ИЛИ, второй вход которого подключен к выходу второго элемента И, а выход элемента ИЛИ подключен к входу K триггера, вход С которого подключен к третьему входу регистровой секции, а вход R триггера подключен к второму входу регистровой секции, четвертые входы всех регистровых секций соединены между собой и подключены к сигналу управления режимами работы JK-триггера.

Регистр сдвига

K_i	a	b	c	f_i
$K_0 = \bar{a}\bar{b}\bar{c}$	0	0	0	1 (f_0)
$K_1 = \bar{a}\bar{b}c$	0	0	1	0 (f_1)
$K_2 = \bar{a}b\bar{c}$	0	1	0	1 (f_2)
$K_3 = \bar{a}bc$	0	1	1	0 (f_3)
$K_4 = a\bar{b}\bar{c}$	1	0	0	0 (f_4)
$K_5 = a\bar{b}c$	1	0	1	1 (f_5)
$K_6 = ab\bar{c}$	1	1	0	1 (f_6)
$K_7 = abc$	1	1	1	0 (f_7)

Фиг.3

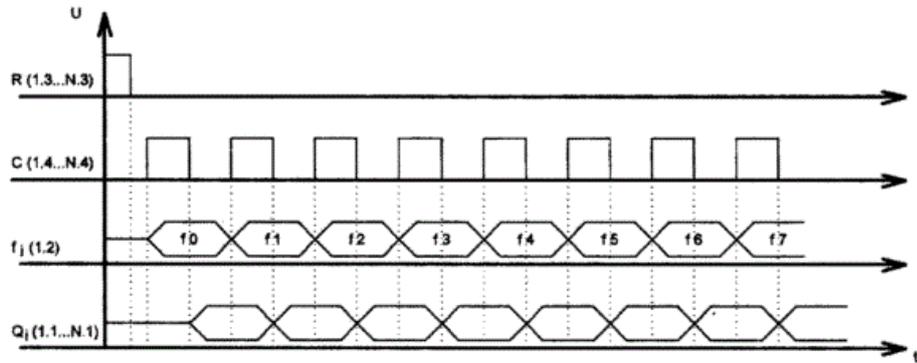
a	b	c	K_i^M	g_i
0	0	0	$K_0^M = 1$	g_0
0	0	1	$K_1^M = c$	g_1
0	1	0	$K_2^M = b$	g_2
0	1	1	$K_3^M = bc$	g_3
1	0	0	$K_4^M = a$	g_4
1	0	1	$K_5^M = ac$	g_5
1	1	0	$K_6^M = ab$	g_6
1	1	1	$K_7^M = abc$	g_7

Фиг.4

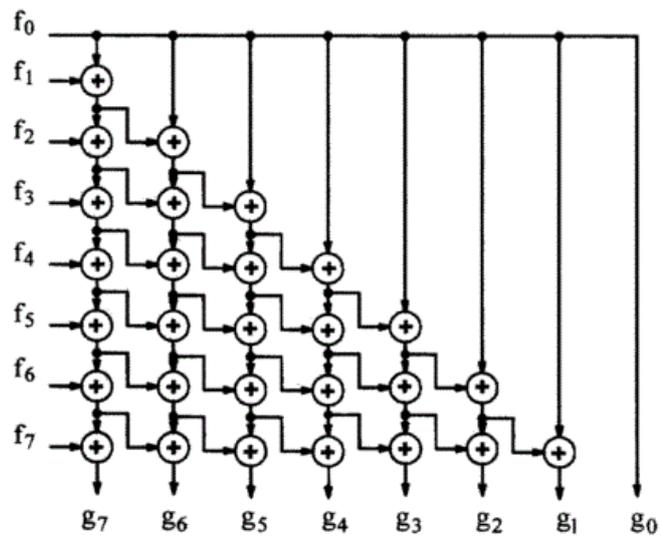
№ такта	f_i	g_i							
		g_7 (1.1)	g_6 (2.1)	g_5 (3.1)	g_4 (4.1)	g_3 (5.1)	g_2 (6.1)	g_1 (7.1)	g_0 (8.1)
0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	0	0	0
6	1	1	0	1	1	1	1	0	0
7	1	0	1	1	0	0	0	1	0
8	0	0	1	0	1	0	0	1	1

Фиг.5

Регистр сдвига



Фиг.6



Фиг.7