

Реализация автоматом транзисторной схемы

М. М. Петрунин

Введение

Схемотехническая мысль исторически опережала математическую, и поэтому методом проб и ошибок была выработана библиотека **хорошо** работающих элементов, из которых впоследствии строится любая схема. Элементами библиотеки являются как элементы, реализующие логические операции, так и иные операции (например, Latch). Так как всякий чип на данном этапе развития схемотехники строится с использованием конечного набора операций из элементов библиотеки, они становятся объектом исследования и моделирования. Их функционирование, каждого в отдельности, хорошо изучено.

Но, если рассматривать ситуацию на более низком уровне, то можно заметить, что каждый элемент библиотеки, в сущности, состоит из небольшого числа низкоуровневых элементов. Функционирование этих элементов также хорошо изучено. Но при попытке соединить эти элементы (в булевом понимании происходящего) в схему, реализующую Latch, возникает ряд трудностей. В этой работе делается попытка эти трудности преодолеть.

1. Цели и задачи

Цель данной работы — разобраться в методике построения микросхем и выработать математическую модель, позволяющую понять логику построения чипов и предсказать функционирование проектируемых чипов.

Для достижения цели поставлена задача построить математическую модель функционирования чипа Latch и элементов, из которых он состоит.

2. Рассмотрение задачи

2.1. Latch

На схемотехническом уровне он выглядит следующим образом (см. рис. 1).

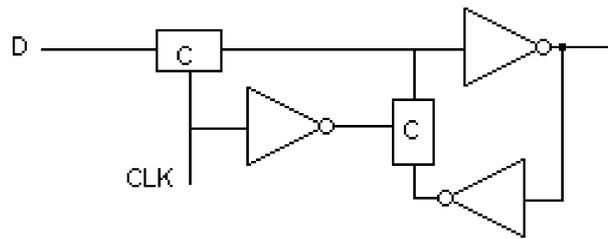


Рис. 1. Схема, реализующая латч.

2.2. С-транзистор и инвертор

Latch строится из двух элементов:

Название:	Инвертор	С-транзистор
Изображение:		

2.3. Построение булевой модели

Перед нами стоит задача построить модель функционирования этих двух автоматов, **инвертора** и **С-транзистора** так, чтобы при соединении их в схему получался Latch.

Но при построении булевой интерпретации возникает ряд проблем:

- Возникает недопустимая для функциональных элементов операция «склейки» выходов.

- б) Возникает недопустимая для функциональных элементов операция обратной связи.

2.4. Построение небулевой модели и разрешение противоречий

Отрезок $[0, 1]$ (входные\выходные напряжения) разобьем на 4 неравные части:

$$\left(\begin{array}{ll} 0, & \text{если } v = 0 \\ 0\alpha, & \text{если } v \in (0, 1/2) \\ 1\alpha, & \text{если } v \in (1/2, 1) \\ 1, & \text{если } v = 1 \end{array} \right)$$

Такт же разбиваем на 8 частей. В нашей модели мы полагаем, что переход « $0 \rightarrow 1$ » происходит за $1/4$ такта.

Определение 1. Физической последовательностью символов стандартного алфавита $\{0, 0\alpha, 1\alpha, 1\}$ называется последовательность a_n произвольной длины (необязательно конечная), для которой верно, что если индекс n , таков, что $\exists a_{n+1}$ и

$$\left(\begin{array}{ll} \text{если } a_n = 0, & \text{то } a_{n+1} \neq 1\alpha, 1 \\ \text{если } a_n = 0\alpha, & \text{то } a_{n+1} \neq 1 \\ \text{если } a_n = 1\alpha, & \text{то } a_{n+1} \neq 0 \\ \text{если } a_n = 1, & \text{то } a_{n+1} \neq 0\alpha, 0 \end{array} \right)$$

Определение 2. Физической последовательностью расширенного алфавита (или просто физической последовательностью) называется последовательность β , не содержащая символа z , и, если ее рассматривать как последовательность стандартного алфавита, β является физической последовательностью стандартного алфавита.

Согласно понятию физической последовательности строятся автоматы, реализующие С-транзистор и инвертор. Оба автомата, являются автоматами Мура. Следовательно, мы решили вторую из двух проблем (пункт 2.3.б), так как в этом случае можно использовать стандартную автоматную операцию обратной связи, здесь она корректна.

Для разрешения первой проблемы (пункт 2.3.а) можно ввести вспомогательный элемент без памяти f , фактически реализующий максимум.

2.5. Связь между булевой и небулевой моделями Latch

Определение 3. Результатом операции свертки автомата $F = (A, Q, B, \varphi, \psi)$ по входным последовательностям A_* называется автомат $F_* = (A_*, Q_*, B_*, \varphi_*, \psi_*)$, где $A_* \subset 2^{A^N}$, $Q_* \subset 2^Q$, $B_* \subset 2^B$, $\varphi_* : Q_* * A_* \rightarrow Q_*$, $\psi_* : Q_* * A_* \rightarrow B_*$. F_* получается из F по следующим индуктивным правилам:

- а) $\{q_0\} \in Q_*$, где q_0 — инициальное состояние автомата.
- б) Если $q_1^* \in Q_*$, то $q_2^* \in Q_*$, где $q_2^* = \{q_2 \mid \varphi(q_1, a), \text{ где } q_1 \in q_1^*, a \in a^*, \forall a^* \in A_*\}$, где φ понимается, как функция над словами, а не над символами.

Никаких других элементов не содержится в Q_* .

$\varphi_*(q^*, a^*) = q_1^*$, где $q_1^* = \{q_1 \mid \varphi(q, a), \text{ где } q \in q^*, a \in a^*\}$, где φ в прежнем смысле.

$\psi_*(q^*, a^*) = b^*$, где $b^* = \{b_{end} \mid \psi(q, a), \text{ где } q \in q^*, a \in a^*\}$, где b_{end} — последний символ выходной последовательности.

B_* определяется, как множество всевозможных выходов $\psi_*(q^*, a^*) \forall q^*, a^*$.

Пояснение: в случае, если $\forall b^* \in B_* : |b^*| = 1$, то в качестве B_* берется B с помощью естественного соответствия. Множеству b^* сопоставляется его единственный элемент.

Определение 4. Свертка называется корректной, если для нее применимо пояснение и $B_* = \{0, 1\}$.

Машинным образом проверяется (так как у результирующего автомата Latch ~ 550 состояний, а у промежуточных доходит до десятков тысяч), что результат соединения элементов С-транзистор, инвертор и f путем свертки по $A_* = \{\{ \langle 0_\alpha 1_\alpha 11111 \rangle, \langle 1111111 \rangle \}; \{ \langle 1_\alpha 0_\alpha 00000 \rangle, \langle 0000000 \rangle \}\}$ ведет себя на 0/1 так, как и предполагалось.

3. Расширенная постановка задачи

Была сформулирована новая задача: найти класс схем над базисом {С-транзистор, инвертор, f }, про который можно сказать, что он позволяет осуществить корректную свертку.

4. Рассмотрение расширенной задачи

4.1. Необходимые понятия и определения

Определение 5. Правильной последовательностью называется физическая последовательность следующего вида: $(\{0, 1\})^*(\langle \Pi \text{ или } K \rangle \langle K \rangle)^*$. Где часть $(\{0, 1\})^*$ называется предпериодом правильной последовательности, а

$$\begin{aligned} \Pi \text{ (переход):} & \quad \left\{ \begin{array}{l} 0\alpha 1\alpha 11 \\ 1\alpha 0\alpha 00 \end{array} \right\}, \\ K \text{ (константа):} & \quad \left\{ \begin{array}{l} 1111 \\ 0000 \end{array} \right\}. \end{aligned}$$

Определение 6. Набор правильных последовательностей называется согласованным, если у них одинаковые длины предпериодов.

Определение 7. Корректной двухвходной схемой называется схема над элементами {С-транзистор, инвертор} с двумя входами и одним выходом без обратной связи, у которой к clock-входу любого С-транзистора подведен один и тот же вход схемы, быть может, через произвольное количество инверторов. И верно, что этот вход схемы не подведен ни к одному не clock-входу никакого С-транзистора.

4.2. Выявление класса схем, свертка которых корректна

Утверждение 1. Если про корректную двухвходную схему известно, что при подаче на входы согласованных последовательностей χ_i на выход поступает правильная последовательность τ с предпериодом имеющим остаток при делении на 8 не равен 7 или 6, то свертка по входным последовательностям $A_* = \{\{ \langle 0\alpha 1\alpha 111111 \rangle, \langle 11111111 \rangle \}; \{ \langle 1\alpha 0\alpha 000000 \rangle, \langle 00000000 \rangle \}$ является корректной.

Определение 8. Задержкой входа k схемы на вход n автомата С-транзистор называется количество С-транзисторов или инверторов, которые находятся на пути вход схемы k — вход С-транзистора n , если такой существует; если нет, то определение некорректно.

Определение 9. Задержкой входа k схемы на выход n автомата называется количество С-транзисторов или инверторов, которые на-

ходятся на пути вход схемы k — выход n . Будем говорить, выход n задерживает вход k на задержку входа k на выход n .

Определение 10. Автомат C -транзистор согласован, если $\forall n, k: n$ — входа автомата, k — входа схемы, верно, что либо количество задержек равно, либо определение количества задержек некорректно.

Теорема 1. Если в корректной двухвходовой схеме каждый C -транзистор согласован, а выход задерживает не $clock$ -вход на число, делящееся на 8 с остатком не равен 7 или 6, то свертка автомата F , реализующего схему, по входным последовательностям $A_* = \{\{ \langle 0_\alpha 1_\alpha 111111 \rangle, \langle 11111111 \rangle \}; \{ \langle 1_\alpha 0_\alpha 000000 \rangle, \langle 00000000 \rangle \}$ является корректной.

5. Выводы

- 1) Представлена модель функционирования C -транзистора и инвертора, которая позволяет разрешить противоречия использования операции «склейки» выходов и обратной связи, и соединить элементы в схему, реализующую Latch.
- 2) Выделен класс схем, которые так же, как и схема Latch корректно свертываются и позволяют оперировать с собой, не как с громоздкими автоматами над 5-ти буквенным алфавитом, а как с компактными, булевыми автоматами.
- 3) С помощью операции свертки получен автомат Latch, функционирующий согласно схемотехническим описаниям в терминах алфавита $\{0, 1\}$.

Автор работы выражает признательность С. В. Алёшину за научное руководство.

Список литературы

- [1] Кудрявцев В. Б., Алёшин С. В., Подколзин А. С. Введение в теорию автоматов. М.: Наука, 1985.
- [2] John Michael, Smith Sebastian. Application-Specific Integrated Circuits (The VLSI Systems Series).
- [3] Weste N., Eshraghian Kamran. Principles of CMOS VLSI Design: A Systems Perspective with Verilog / VHDL Manual.