

РАСПОЗНАВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПРОХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В КМОП СХЕМЕ

Черемисинов Д. И., Черемисинова Л. Д.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {cher, cld}@newman.bas-net.by

Рассматривается задача распознавания в КМОП схеме подсем из проходных транзисторов, являющихся передаточными элементами и мультиплексорами (демультиплексорами).

ВВЕДЕНИЕ

Современные СБИС содержат сотни миллионов транзисторов и связей между ними. Важным инструментом автоматизированного проектирования схем такой сложности являются средства распознавания высокоуровневых структур в схемах на транзисторном уровне. Построение иерархического структурного описания по плоскому (одноуровневому) структурному описанию является существенной операцией в процессе верификации, проектирования и перепроектирования интегральных схем.

В статье [1] описан метод и программа декомпиляции КМОП схемы из транзисторов, основным компонентом которой является нахождение подсем из транзисторов, реализующих КМОП вентили. В настоящей работе предлагаются методы (и их программная реализация) для выявления в КМОП схеме, заданной плоским нетлстом в формате SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), подсем проходной транзисторной логики (PTL – pass transistor logic), представляющих собой передаточные элементы и мультиплексоры (демультиплексоры).

I. ЭЛЕМЕНТЫ КМОП ЛОГИКИ НА ОСНОВЕ ПРОХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Логические элементы на основе стандартной КМОП логики состоят из равномогных групп р-МОП и n-МОП транзисторов, их недостатком является значительное количество МОП транзисторов, в частности р-МОП. В КМОП схемах наряду с КМОП вентилями часто используются логические элементы на основе цепей из проходных транзисторов.

На выводы проходных р-МОП и n-МОП транзисторов подаются входные и внутренние сигналы схемы (вместо сигналов питания и земли). n-МОП транзистор является почти идеальным переключателем при передаче сигнала логического 0, но сильно снижает уровень логического сигнала 1. р-МОП транзистор, наоборот, почти идеально пропускает сигнал 1, но не совершенен при передаче сигнала 0. Для устранения этих недостатков в качестве КМОП ключа применяют передаточный вентиль – пару параллельно соединенных n-МОП и р-МОП транзисторов (рис. 1), для которых используется парафазное управление: на

вход р-МОП транзистора подается управляющий сигнал C , а на вход n-МОП инвертированный – \bar{C} . Передача сигнала в таком вентиле может идти в обоих направлениях под управлением напряжения C и \bar{C} на затворах МОП транзисторов.

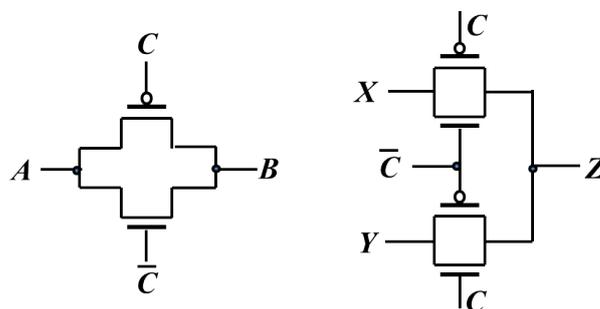


Рис. 1 – Передаточный вентиль и мультиплексор на его основе

Передаточные вентили широко используются при проектировании регулярных структур, таких как мультиплексоры, демультиплексоры, триггеры, ПЗУ, триггеры.

Мультиплексор представляет собой устройство, которое позволяют подключать несколько входов к одному выходу. КМОП мультиплексор на основе проходной логики пропускает ток в обоих направлениях, позволяя коммутировать не только цифровые, но и аналоговые сигналы. На рис. 1 приведена схема мультиплексора (селектора) 2×1 , имеющего два входа X и Y и один выход Z . Сигналы X и Y подаются на передаточные элементы $G1$ и $G2$, селектирующий сигнал C управляет передачей на выход одного из сигналов X или Y . $C = 0$ открывает элементы $G1$, пропуская на выход сигнал X . Если $C = 1$, то на выход проходит сигнал Y . Выходная функция мультиплексора $Z = X\bar{C} \vee YC$.

Схема, представленная на рис. 1, может выполнять и обратную функцию – функцию демультиплексора 1×2 , передавая сигнал с выхода Z на входы X и Y . В этом случае сигнал с входа Z поступает на выход X , когда $C = 0$, и на выход Y , когда $C = 1$. Функции X и Y демультиплексора могут быть записаны как $X = Z\bar{C}$ и $Y = ZC$.

II. ЗАДАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ СХЕМ НА

Исходная плоская и результирующая иерархическая транзисторные схемы представляются в формате проектирования SPICE. Главной частью SPICE-описания схемы является список транзисторов, в котором для каждого вывода транзистора (сток, затвор, исток, подложка) указано имя цепи, соединяющей его с остальными частями схемы. Описание связей униполярного транзистора в формате SPICE имеет вид:

M<name> <nd> <ng> <ns> <nb> <model-name> ,

где name – название транзистора; nd, ng, ns и nb – идентификаторы цепей, связанных с выводами стока (drain), затвора (gate), истока (source) и подложки (substrate) соответственно; model-name – тип транзистора: n-МОП или p-МОП (nmos или pmos). Например, SPICE-описание CN2 передаточного элемента (рис. 1), состоящего из двух транзисторов, имеет вид (здесь цепь nC соответствует сигналу \bar{C}):

```
.SUBCKT CN2 A nC B C
M1 A C B vcc pmos
M2 A nC B gnd nmos
.ENDS
```

III. РАСПОЗНАВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ВЕНТИЛЕЙ

Передаточные элементы распознаются путем поиска пар n-МОП и p-МОП транзисторов, соединённых параллельно выводами стока и истока. На следующем листинге выделены две пары транзисторов, составляющие передаточные вентили:

```
.SUBCKT rdrv1 r1 s1 c d vcc gnd q
M0 130 8 9 gnd MN
M1 gnd r1 130 gnd MN
M2 131 s1 gnd gnd MN
M3 13 g 131 gnd MN
M4 8 c 13 gnd MN
M5 d 10 8 gnd MN
M6 gnd c 10 gnd MN

M18 13 g vcc vcc MP
M19 8 10 13 vcc MP
M20 d c 8 vcc MP
M21 vcc c 10 vcc MP
M22 12 10 g vcc MP
```

Временная сложность поиска связанных транзисторов путем попарного сравнения строк SPICE описания пропорциональна числу сочетаний из n (число транзисторов в схеме) по 2. Для реальных схем, содержащих миллионы транзисторов, это не приемлемо.

В работе предлагается метод поиска параллельно связанных транзисторов линейной сложности с помощью хеш-таблицы. Таблица строится в процессе последовательного анализа строк исходного SPICE-описания, когда находится графовая модель схемы. Ключами хеш-таблицы являются хеши, вычисленные по текстовым строкам, образованным из имен цепей истока и стока

каждого из транзисторов анализируемой схемы. Ситуация, когда для очередного рассматриваемого ключа в хеш-таблице уже есть вход, означает, что транзисторы с этим хешем составляют передаточный вентиль.

IV. РАСПОЗНАВАНИЕ МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ

Распознавание мультиплексоров 2×1 осуществляется на этапе анализа схемы, когда передаточные вентили уже распознаны. Тогда для них строится хеш-таблица. Ключами этой таблицы служат хеши от имен цепей, подключенных к выводам A и B каждого из передаточных элементов (модели CN2). Для каждого элемента вычисляется два хеша: для A, B и B, A. Таким образом, каждый вентиль попадает в две записи хеш-таблицы. С точки зрения топологии не имеет значения, какую функцию (мультиплексирования или демультиплексирования) выполняет распознанная схема. По умолчанию считается, что это схема работает как мультиплексор.

Ситуация, когда для очередного рассматриваемого ключа в хеш-таблице уже есть вход, означает, что существует два передаточных элемента G1 и G2, которые потенциально могут быть составлять мультиплексор. Для таких пар элементов производится проверка фактических параметров цепей C и nC, связанных с затворами транзисторов: необходимо, чтобы был взаимно обратный порядок их следования в этих элементах.

На следующем листинге:

```
.SUBCKT fdrv1s1 r1 s1 c d q
X0I1 r1 11 14 G0_0
X0I2 8 r1 9 G0_1
X0I3 s1 12 11 G0_2
X0I4 s1 9 13 G0_3
X1I1 11 qn G1_0
X1I2 c 10 G1_0
X1I3 12 q G1_1
X2I1 13 10 8 c CN2
X2I2 8 c d 10 CN2
X2I3 9 10 12 c CN2
X2I4 12 c 14 10 CN2
.ENDS
```

элементы X2I1 и X2I2 попадают в одну запись хеш-таблицы, так как $A_2 = B_1 = 8$ и, кроме того, $nC_1 = 10$, $C_1 = c$, а $nC_2 = c$, $C_2 = 10$. Таким образом, элементы X2I1 и X2I2 составляют мультиплексор. Аналогично элементы X2I3 и X2I4 также образуют мультиплексор.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные методы распознавания передаточных вентилях и мультиплексоров в КМОП схеме реализованы на языке C++ и включены в программу декомпиляции плоской транзисторной схемы [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черемисинов, Д.И. Извлечение сети логических элементов из КМОП схемы транзисторного уровня / Д.И. Черемисинов, Л.Д. Черемисинова // Микроэлектроника. – № 3 (48). – 2019. – С. 224–234.