

Ю. А. Виноградов

**О синтезе
четырёхзначных ква-
зикомплементарных
МОП-схем**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки:
Виноградов Ю. А. О синтезе четырёхзначных квазикомплементарных МОП-схем // Математические вопросы кибернетики. Вып. 8. – М.: Наука, 1999. – С. 298–300. URL: <http://library.keldysh.ru/mvk.asp?id=1999-298>

О СИНТЕЗЕ ЧЕТЫРЕХЗНАЧНЫХ КВАЗИКОМПЛЕМЕНТАРНЫХ МОП-СХЕМ*)

Ю. А. ВИНОГРАДОВ

(МОСКВА)

В технической реализации той или иной логико-математической идеи оптимальное решение оказывается, как правило, компромиссным. Инженерные оценки проекта — быстродействие, энергоэкономичность, помехозащищенность, технологичность будущей конструкции — являются сильнейшими селекторами, отбирающими из множества равноценных, казалось бы, математических решений лишь очень немногие [1]. Нередко удовлетворительного решения не находят вовсе.

В настоящей работе, целью которой является построение функционально полного в P_4 базиса, реализуемого в МОП-структурах, этой стороне дела уделено необходимое внимание.

Быстродействие структур, реализующих k -значные функции, приблизится к наивысшему, ограниченному лишь физикой явлений — скоростями распространения, элементарными релаксациями и др., если состояния $0, 1, \dots, k-1$ не будут связаны с временем**).

Организация «безвременного» функционирования в k -значных МОП-структурах, управляемых электрическим полем и формирующих электрические напряжения на своих выходах, не оставляет выбора: каждому значению из $\{0, 1, \dots, k-1\}$ должен быть поставлен в соответствие электрический потенциал — напряжение из $\{U_0, U_1, \dots, U_{k-1}\}$.

В современной МОП-технике значительный интервал напряжений, которые могут быть приложены к каналу исток–сток МОП-транзистора, — $[0, U_{ис\max}]$ (где $U_{ис\max} \geq 15$ В), и относительно малое напряжение отсечки затвор–исток — $U_{зи\отс}$ (где $U_{зи\отс} \in [0, 5; 1]$ В; при $U_{зи} < U_{зи\отс}$ проводимость канала исток–сток транзистора практически равна нулю), позволяют «рассставить» на интервале $[0, U_{ис\max}]$ напряжения U_0, U_1, U_2, U_3 (в P_4 — константы $0, 1, 2, 3$) так, что функционирующие в P_4 МОП-структуры будут иметь и достаточно высокую помехозащищенность в любом из своих состояний. Особый интерес в МОП-технике представляют КМОП-структуры***)

*) Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 99-01-01111)

***) Время присутствует, например, в частотных и фазоимпульсных кодировках.

***) Полевые транзисторы, составляющие МОП- и КМОП-структуры, работают в так называемом режиме обогащения (он обеспечивается специальной технологией их изготовления), отличающемся тем, что напряжения $U_{зи}$ и $U_{ис}$ оказываются в одном интервале, что позволяет связывать сток одного транзистора с затвором другого непосредственно. КМОП-техника привлекательна почти нулевым энергопотреблением в статике, большим входным и малым выходным сопротивлениями функциональных элементов во всех режимах. МОП- и КМОП-структуры технологичны: число трудоемких операций, которые должны быть выполнены при изготовлении кремниевого чипа, относительно невелико.

(комплементарные МОП-), *n*- и *p*-канальные транзисторы которых включены так, как это показано на примере простейшей из них — в КМОП-паре (рис. 1).

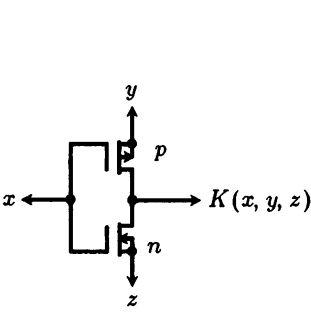


Рис. 1

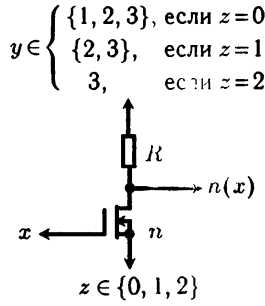


Рис. 2

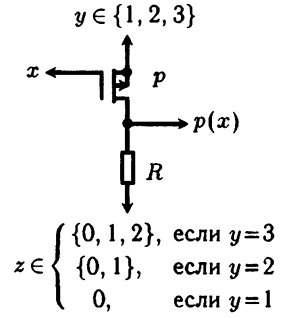


Рис. 3

Рассмотрим базисный набор, состоящий из КМОП-пары (ее четырехзначная модель приведена в табл. 1) и резисторных *n*МОП-инверторов (рис. 2, табл. 2) и *p*МОП-инверторов (рис. 3, табл. 3), реализующих все возможные здесь инверсии (источниками питания резисторных инверторов служат генераторы констант 0, 1, 2, 3).

Таблица 1

<i>x</i>	1	2	3	0	1	2	3	0	2	3	0	3	0	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	
<i>y</i>	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	1	1	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	1	2	3	3	3
<i>z</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	
<i>K(x, y, z)</i>	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	3	0	1	1	2	2	1	1	3	3	1	2	2	2	3	3	2	3	3	3		

Примечание:
 1) наборы {*x, y, z*}, не указанные в таблице, недопустимы;
 2) *y, z* ∈ {0, 1, 2, 3}, *K* — истоки КМОП-пар — могут быть соединены лишь с генераторами констант и выходами (объединенными стоками) КМОП-пар.

Таблица 2

<i>x</i>	<i>n</i> ₁ (<i>x</i>)	<i>n</i> ₂ (<i>x</i>)	<i>n</i> ₃ (<i>x</i>)	<i>n</i> ₄ (<i>x</i>)	<i>n</i> ₅ (<i>x</i>)	<i>n</i> ₆ (<i>x</i>)
0	3	3	2	1	2	3
1	0	3	0	0	2	3
2	0	1	0	0	1	3
3	0	1	0	0	1	2

Примечание: выход *n*МОП-инвертора может быть соединен лишь с *x*-входами.

Таблица 3

<i>x</i>	<i>p</i> ₁ (<i>x</i>)	<i>p</i> ₂ (<i>x</i>)	<i>p</i> ₃ (<i>x</i>)	<i>p</i> ₄ (<i>x</i>)	<i>p</i> ₅ (<i>x</i>)	<i>p</i> ₆ (<i>x</i>)
0	3	2	3	1	2	3
1	3	2	3	0	2	3
2	3	0	3	0	1	3
3	0	0	1	0	1	2

Примечание: выход *p*МОП-инвертора может быть соединен лишь с *x*-входами.

Является ли базис

$$B = \{0, 1, 2, 3, K(a, b, c), n_1(x), n_2(x), n_3(x), n_4(x), n_5(x), n_6(x), \\ p_1(x), p_2(x), p_3(x), p_4(x), p_5(x), p_6(x)\}$$

функционально полным в P_4 ?

Поскольку K -функция существенно зависит более чем от одной переменной и принимает все значения, то о полноте базиса B можно судить по числу одноместных функций из P_4 , порождаемых суперпозициями базисных функций (см. теорему Слупецкого). Это число нетрудно установить в коротком компьютерном эксперименте. Базис B обладает функциональной полнотой, так как в суперпозициях были получены все одноместные функции из P_4 .

В таких же коротких переборах найдем n - и p -функции, без которых (без любой из них) базис теряет полноту. Это функции: $n_1(x)$, $n_2(x)$, $p_1(x)$ и $p_2(x)$. Они необходимы. Их достаточность также выяснялась экспериментально: базис проверялся на полноту без восьми функций: $n_3(x)$, $n_4(x)$, $n_5(x)$, $n_6(x)$, $p_3(x)$, $p_4(x)$, $p_5(x)$ и $p_6(x)$. Они оказались лишними.

Таким образом был получен легко реализуемый в МОП-структурах и функционально полный в P_4 базис $\{0, 1, 2, 3, K(a, b, c), n_1(x), n_2(x), p_1(x), p_2(x)\}$, содержащий лишь нужные функции. Легко видеть, что все его n - и p -элементы используются лишь в качестве входных, а основную нагрузку в синтезе принимают на себя K -элементы, в строгих суперпозициях которых и будет решаться та или иная задача. Энергопотребление структуры, реализующей в этой технике (назовем ее *квазикомплементарной* — ККМОП-техникой) функцию $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в P_4 не превысит $3\epsilon n$, где ϵ — энергопотребление резисторного МОП-инвертора в активном (энергопотребляющем) состоянии.

В строго комплементарной технике — в базисе $\{0, 1, 2, 3, K(a, b, c)\}$ — может быть синтезирована КМОП-структура, реализующая в P_4 функцию $K(K(x, 3, 1), K(K(x, 3, 2), 3, 2), K(K(x, 1, 0), 1, 0)) \equiv x$. Этот КМОП-повторитель [2], практически снимающий ограничения на число нагрузок функциональных элементов (и так немалое — несколько десятков), — важный инструмент в инженерном синтезе четырехзначных ККМОП-схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов Ю. А. О синтезе трехзначных МДП-схем // Математические вопросы кибернетики. Вып. 3. — М.: Наука, 1991. — С. 187–198.
2. Виноградов Ю. А. Авторское свидетельство № 1422399.

Поступило в редакцию 12 VII 1999