УДК 621.3.049.77

В. Л. Артюхов, Г. А. Копейкин, А. А. Шалыто

ОЦЕНКА ЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

При проектировании цифровых и логических микроэлектронных устройств часто возникает задача обоснованной оценки эффективности применяемой элементной базы по критериям, прямо или косвенно связанным с аппаратурными затратами.

Указанные критерии должны допускать простую физическую интерпретацию и содействовать правильному выбору и применению элементной базы.

Ниже приводятся результаты работ по оценке логической эффективности цифровых интегральных микросхем, выпускаемых промышленностью и являющихся схемами комбинационного типа. Эти оценки могут также использоваться и при разработке вновь создаваемых логических элементов.

Выпускаемые в настоящее время логические элементы, являющиеся комбинационными схемами и входящие, например, в состав серии 133 и 134, имеют структуру, описываемую бесповторными формулами.

Бесповторной называется формула, в которую каждая переменная входит только один раз. В таких формулах число переменных n и число букв h совпадают.

В настоящей работе будем рассматривать бесповторные формулы, заданные в базисе $\{\&, \vee, {}^{-}\}$.

Любой логический элемент с m независимыми входами может рассматриваться как многофункциональный, так как после подачи на $m-k$ входов настроечных сигналов, равных константам 0, 1 или информационным переменным, он может быть описан различными формулами из k букв.

Число информационных входов такого элемента равно k, а число настроечных входов — $m-k$.

Так, например, элемент 133ЛР1, описываемый формулой из 4 букв вида $y=\overline{x_1x_2\vee x_3x_4}$, при настройке $x_3=0$ реализует формулу $y=\overline{x_1x_2}$, при настройке $x_4=x_3$ — формулу $y=\overline{x_1x_2\vee x_3}$ и т. д.

При этом обычно рассматривается настройка элемента не на разные формулы, а на различные представители типов формул, так как из каждого такого представителя могут быть получены группы формул путем перенумерации либо инвертирования переменных.

Элемент, который путем настройки может реализовать по крайней мере по одному представителю каждого типа бесповторных формул из k букв, является универсальным в классе произвольных формул из k букв, так как может путем отождествления входов реализовать любую повторную формулу, содержащую то же число букв. Так, например, элемент, реализующий бесповторную формулу $y=(x_1\vee x_2)x_3\vee x_4x_5$, позволяет выполнить также и повторную формулу $y=(z_1\vee z_2)z_3\vee z_1z_2$ при $x_1=z_1$, $x_2=z_2$, $x_3=z_3$, $x_4=z_1$, $x_5=z_2$.

В работе [1] показано, что число элементов, универсальных в классе формул из k букв, требующихся для реализации формулы из h букв, определяется соотношением

$$\left]\frac{h-1}{k-1}\right[\leqslant L(h,k)\leqslant\left]\frac{2(h-1)}{k}\right[, \tag{1}$$

а соответствующее неравенство для системы N булевых формул, в правых частях которых содержится H букв, имеет вид:

$$\left]\frac{H-N}{k-1}\right[\leqslant L(H,N,k)\leqslant\left]\frac{2(H-N)}{k}\right[+N-1. \tag{2}$$

В случае, если элемент многофункционален, т. е. реализует путем настройки лишь представителей некоторых типов формул из k букв, можно ввести так называемое «эквивалентное число информационных входов» $k_э$, которое характеризует «среднее» число информационных входов элемента, в то время как число $(m-k_э)$ определяет число его настроечных входов.

Эквивалентное число информационных входов $k_э$ может быть принято за меру логической эффективности комбинационных схем, поскольку эта величина, как видно из приведенных выше соотношений, при $k_э=k$ прямо связана с количеством элементов, необходимых для построения аппаратуры.

Для определения $k_э$ предлагается формула

$$k_э=\sum_{i=1}^{m}\frac{N(i)}{S(i)}, \tag{3}$$

где $N(i)$ — число типов бесповторных формул из i букв, реализуемых элементом при различных вариантах настройки; $S(i)$ — значение числа типов бесповторных формул из i букв.

Число типов бесповторных формул $S(i)$, определенное в работе [1], приводится в табл. 1.

Таблица 1

Число типов бесповторных формул

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S(i)$	1	2	4	10	24	66	180	522	1532	4624

Для нахождения значения $N(i)$ необходимо определить представителей всех типов бесповторных формул, реализуемых рассматриваемым элементом путем настройки.

Рассмотрим микросхему 133ЛР3, структура которой описывается формулой $y=\overline{x_1x_2\vee x_3x_4\vee x_5x_6\vee x_7x_8x_9}=(\bar{x}_1\vee\bar{x}_2)(\bar{x}_3\vee\bar{x}_4)(\bar{x}_5\vee\bar{x}_6)(\bar{x}_7\vee\bar{x}_8\vee\bar{x}_9)$.

Из этой формулы путем настройки, в частности, получаются представители всех типов бесповторных формул из 3 букв:

$$x_1=x_2=x_3=x_4=x_5=x_6=0,\quad y_1=\bar{x}_7\vee\bar{x}_8\vee\bar{x}_9;$$

$$x_1=x_2=x_3=x_4=0,\quad x_8=x_9=1,\quad y_2=(\bar{x}_5\vee\bar{x}_6)\bar{x}_7;$$

$$x_1=x_2=x_3=x_4=0,\quad x_9=1,\quad x_8=x_6,\quad y_3=\bar{x}_5\bar{x}_7\vee\bar{x}_6;\quad x_2=x_4=x_6=1,\quad x_7=x_8=x_9=0,\quad y_4=\bar{x}_1\bar{x}_3\bar{x}_5,$$

что свидетельствует, как было показано выше, об универсальности микросхемы 133ЛР3 в классе произвольных формул в рассматриваемом базисе из 3 букв.

Авторами найдены представители типов бесповторных формул, реализуемых этим элементом, для различного числа букв. Значения $N(i)$ при $i=1\div9$ для микросхемы 133ЛР3 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Число типов бесповторных формул, реализуемых микросхемой 133ЛР3

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N(i)$	1	2	4	8	10	12	9	4	1

Логическая эффективность рассматриваемой микросхемы определяется по формуле (3) и вычисляется следующим образом:

$$k_{э_1}=\frac{1}{1}+\frac{2}{2}+\frac{4}{4}+\frac{8}{10}+\frac{10}{24}+\frac{12}{66}+\frac{9}{180}+\frac{4}{522}+\frac{1}{1532}\approx4{,}46.$$

Значение k для этой микросхемы равно 3. Для микросхемы 134ЛР2, структура которой описывается формулой $y=\overline{x_1x_2\vee x_3x_4\vee x_5x_6x_7\vee x_8x_9x_{10}x_{11}}$, $k_э$ определяется из соотношения

$$k_{э_2}=\frac{1}{1}+\frac{2}{2}+\frac{4}{4}+\frac{10}{10}+\frac{17}{24}+\frac{26}{66}+\frac{32}{180}+\frac{30}{522}+\frac{18}{1532}+\frac{7}{4624}+\frac{1}{14136}\approx 5{,}35.$$

Отсюда следует, что для этой микросхемы $k=4$.

Для многофункционального логического модуля, входящего в состав серии 108 [3],

$$k_{э_3}=\frac{1}{1}+\frac{2}{2}+\frac{4}{4}+\frac{10}{10}+\frac{24}{24}+\frac{58}{66}+\frac{50}{180}+\frac{26}{522}=6{,}21.$$

При этом $k=5$.

Подобные оценки легко могут быть найдены и для любых других типов комбинационных элементов.

Метод синтеза схем, обеспечивающий использование всех функциональных возможностей применяемой для реализации микросхемы в классе формул в соответствии с оценками (1) и (2), изложен в работе [2].

Таким образом, введенный в работе коэффициент позволяет определить связь между логической эффективностью используемых элементов и их количеством, требующимся для реализации произвольной формулы или системы формул, чем восполняет пробел, имеющийся в литературе по этой тематике [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артюхов В. Л., Копейкин Г. А., Шалыто А. А.* Синтез комбинационных схем из многофункциональных логических модулей. — В кн.: Построение управляющих устройств и систем. М.: Наука, 1974, с. 45—48.

2. *Артюхов В. Л., Копейкин Г. А., Шалыто А. А.* О многофункциональном использовании цифровых интегральных схем. — Тез. докл. на V Всесоюз. науч.-техн. конф. «Проблемы создания систем управления судовыми техническими средствами», Л.: Судостроение, 1973, с. 21—30.

3. *Бабичева Е. В., Прангишвили И. В., Ускач М. А., Шаипов Н.* Некоторые критерии оценки эффективности логических модулей, выполняемых на интегральных схемах. — Автоматика и телемеханика, 1968, № 3, с. 131—139.

АВТ, 1981, № 1, с. 38—40.

Поступила в редакцию
11.11.79

АКАДЕМИЯ НАУК ЛАТВИЙСКОЙ ССР

АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

1981 N1

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК ● ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗИНАТНЕ» ● РИГА