

О ПОКРЫТИИ СХЕМ ЯЧЕЙКАМИ ЗАДАННОГО НАБОРА

В.М.Курейчик, В.А.Калашников, В.А.Селютин, Е.Т.Вакалова

Цикл задач технического проектирования дискретных устройств включает этап преобразования функциональных схем в принципиальные (задача покрытия). В работе описывается алгоритм покрытия функциональных схем, выполненных на базе МОП-транзисторов, типовыми ячейками. Отличием предлагаемой методики от известных является использование в качестве исходной информации скобочных форм булевых выражений и учет структуры представления и размещения информации в памяти ЭВМ при разработке алгоритма.

Исходная функциональная схема представляется в виде z подсхем (конфигураций или базовых элементов). Множество N покрывающих ячеек таково, что для каждой подсхемы m функциональной схемы существует хотя бы одна покрывающая ячейка из набора. В том случае, если есть несколько вариантов покрытия, критерием оптимальности получаемого результата является минимум суммарной стоимости покрытия.

Суммарная стоимость определяется как

$$C = \sum_{i=1}^z C_i, \quad (1)$$

где C_i - стоимость одной ячейки в покрытии. Как правило, стоимость ячейки пропорциональна ее сложности. В дальнейшем под сложностью ячейки будем понимать число логических элементов ϕ_i в ней. Соответственно через ϕ_i обозначим число элементов прообразов в схеме. Тогда коэффициент избыточности при использовании выбранной ячейки $n_i \in N$ равен

$$\beta_e = \frac{\psi_e - \psi_e}{\psi_e} \quad (2)$$

С помощью коэффициента избыточности можно оценить эффективность использования ячейки в покрытии. Более точной в этом смысле является удельная стоимость покрытия:

$$C_{e, yg} = \frac{C_e (1 + \beta_e)}{\psi_e} \quad (3)$$

которую можно использовать также для оценки конечного результата:

$$C_{yg} = \sum_{e=1}^z C_{e, yg} \quad (4)$$

Отметим, что оценка (4) эффективна при сравнении различных вариантов покрытия схемы с целью выбора оптимального по стоимости и минимуму использованного оборудования. Для определения текущих значений стоимости на каждом шаге покрытия схемы можно применять более простое выражение:

$$C_{тек} = \sum_{e=1}^z C_e \cdot \beta_e \quad (5)$$

Исходными данными для выполнения покрытия являются описание элементов заданного набора и функциональной схемы. Базовые элементы схемы и ячейки покрывающего набора записываются в виде скобочных форм булевых выражений. Каждая скобочная форма отражает элемент, неразложимый в смысле реализуемых функций. Базовые элементы могут отличаться как по внутреннему набору выполняемых логических операций, так и по числу входов. Если описание одной ячейки состоит из нескольких скобочных форм, такие ячейки называются многофункциональными или многовыходными. Пример двухвыходной ячейки показан на рис.1. Она описывается выражением:

$I70 = И - НЕ (И(\Phi4, I60))$,
 $I60 = И - НЕ (И(\Phi2, ИЛИ(И(I1, I2), И(I6, I7))), ИЛИ (I3, I4, I5))$.

Описания базовых элементов и ячеек покрывающего набора служат исходными для получения их машинного представления. Ис-

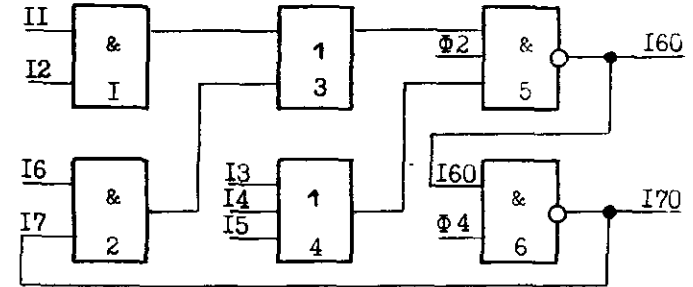


Рис. 1

ходные данные включают также информацию о числе типов ячеек, их конструктивных особенностях и стоимости ячеек каждого типа.

С целью получения эффективного доступа и наглядности представления хранимой информации принята машинная структура данных, близкая к сети [1].

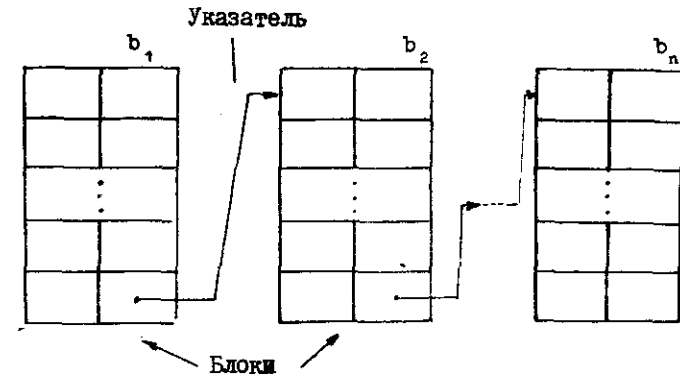


Рис. 2

Структура данных состоит из блоков $B_i, i \in I = \{1, \dots, k\}$, и указателей (рис.2). Блоки представляют собой подмассивы смежных ячеек памяти, которые содержат информацию об одном базовом элементе схемы. Указатели, по существу, являются адресами подмассивов и служат для определения взаимосвязанных элементов.

- $c_1 < 101.000.000 >$,
 $< 000.2.000 >$,
- $c_2 < 000.3.000 >$,
 $< 000.4.000 >$,
- $c_3 < \dots \text{II} >$,
 $< \text{III} \dots \text{OI2} >$,
- $c_4 < \dots \text{I3} >$,
 $< \text{III} \dots \text{OI4} >$.

Значения идентификатора L_j определяются из матрицы:

L_3	000
F_1	001
F_2	010
$2MTL = F_3$	011
F_4	100
ΦK	101
BxK	111

где L_3 , ΦK , BxK соответственно определяют логический элемент, фазный контакт и входной контакт устройства. Наличие прочерков в списках c_3 и c_4 обусловлено тем, что описывается ячейка без схемных связей.

Разработанный внутренний язык позволяет представлять конечные результаты покрытия в наглядной и удобной для контроля форме. Например, для каждой ячейки печатается последовательность ее вхождения в различные цепи (эквипотенциалы).

$Y_1 < \# Y_1 > : < \# экв. > [< \# к >], < \# экв. > [< \# к >] \dots < \# экв. > [< \# к >] ;$

$Y_2 < \# Y_2 > : < \# экв. > [< \# к >], < \# экв. > [< \# к >] \dots < \# экв. > [< \# к >] ;$

где $\# Y_i >$, ($i = 1, \dots, s$) - номер описываемой ячейки;

$< \# экв. >$ - номер цепи;

$[< \# к >]$ - номер контакта (вывода) описываемого элемента.

Эта информация достаточна для использования её на последующих этапах машинного проектирования.

Рассмотрим теперь алгоритм покрытия.

Назовем ячейку памяти ПМ словом. Каждое слово состоит из двух полуслов и содержит информацию о двух входах логического элемента. Учитывая (6), отметим, что число слов, необходимых для записи информации об одном базовом элементе, не превышает величину

$$e_{2j} = \sum_{i=1}^z \left(\text{entier } \frac{P_i}{2} + 1 \right).$$

Совокупность слов, смежных слову, имеющему признак α_1 , а также само это слово, образует комплекс.

Таким образом, имеем следующую структуру носителей информации, именуемых в дальнейшем рангами: полуслово-слово-комплекс-блок.

Идея предлагаемого алгоритма состоит в выделении среди множества N ячеек заданного набора подмножества $D \subset N$, покрывающего данную конфигурацию m схемы, и определении таких элементов этого подмножества, ранги информации которых совпадают по качественным и количественным признакам с рангами информации об m . Процесс ведется путем направленного перебора до достижения минимальной избыточности суммарной стоимости покрытия.

Использование многофункциональных ячеек с несколькими выходами для покрытия одновыходных элементов схемы упрощает алгоритм и сокращает затраты машинного времени. Однако результат покрытия при этом качественно невисок, что обусловлено технико-экономическими причинами, значительной конструктивной избыточностью. Поэтому предусматривается максимальное заполнение многовыходных ячеек элементами схемы.

Пусть $\alpha' \in D$ - ячейка, имеющая ξ выходов, а R_i - базовый элемент схемы, отображенный с помощью α' . Все элементы внутри α' взаимосвязаны. Очевидно, что при заполнении α' элементами, связанными с R_i , будет получен результат, улучшенный по критериям стоимости и числа связей между ячейками. Для этого среди множества всех внешних выводов ячейки α' определяем контакты, смежные различным блокам B_f , ($f \in I$). Выделение происходит путем сравнения содержимого правой половины списка c_j исходной информации и матрицы MVE . Множество K выделенных блоков B_f составит множество элементов-кандидатов на размещение в ячейке α' . Последовательным рассмотрением совокупности элементов R_i и $B_f \in K$ выбирается оптимальный по стоимости вариант заполнения ячейки α' . Если $\xi > 2$, процесс повторяется, но в этом случае множество K включает блоки, смежные как R_i , так и B_f .

Сформулируем теперь алгоритм покрытия функциональной схемы ячейками из заданного набора.

1°. Выбираем строку b_i блока B_i . Переходим к 2°. Если список блоков пуст, переходим к II°.

2°. Определяем множество D_i ячеек, покрывающих базовый элемент, отображенный в B_i . Переходим к 3°.

3°. Для ячейки $d_q \in D_i$, ($q=1, \dots, s$) определяем число полуслов λ_q каждого комплекса и сравниваем с соответствующим значением λ_i комплексов описания элемента в схеме. При $\lambda_q \geq \lambda_i$ для каждого комплекса ячейки d_q , переходим к 4°. В противном случае переходим к 6°.

4°. Сравниваем содержимое списков b_i в описании ячейки и элемента схемы. При совпадении переходим к 5°. В противном случае переходим к 6°.

5°. Определяем с помощью (2) β_q и с помощью (5) $C_{тек}$. Переходим к 6°.

6°. Увеличиваем параметр q на 1 и переходим к 3°. При $q = s$ переходим к 7°.

7°. Строим кортеж значений $C_{тек}^q$ и выбираем минимальное. Если ячейка $\min C_{тек}^q$ имеет $\xi > 1$, переходим к 8°, в противном случае переходим к 1°.

8°. Определяем множество K и для всех $B_f \in K$ производим сравнение со свободной частью d'_q ячейки d_q . Для этого производим присвоение значений $d_q \Rightarrow d'_q$, $q = const$, $\lambda_i \Rightarrow \lambda_f$ и в пункте 6° $q \Rightarrow f$. Переходим к 3°. Если ячейка заполнена, переходим к 10°. В противном случае переходим к 9°.

9°. Строим новое множество K и переходим к 8°.

10°. Увеличиваем параметр i на 1 и переходим к 1°.

II°. По формуле (1) определяем суммарную стоимость покрытия. Конец работы алгоритма.

Рассмотрим пример покрытия МОП-транзисторной схемы, изображенной на рис.4, ячейками из заданного набора. Набор функционально полный и состоит из 3 ячеек, показанных на рис.5. Стоимости ячеек соответственно равны $C_1=3$, $C_2=4$, $C_3=2$. При выполнении алгоритма выделено 8 фрагментов, каждый из которых можно покрыть одной ячейкой. Фрагменты 1,2,4,6,7,8 покрываются с коэффициентом избыточности $\beta = 0$. При покрытии фрагментов 3 и 5 коэффициент избыточности $\beta_3 = \beta_5 = 0,3$. Суммарная стоим -

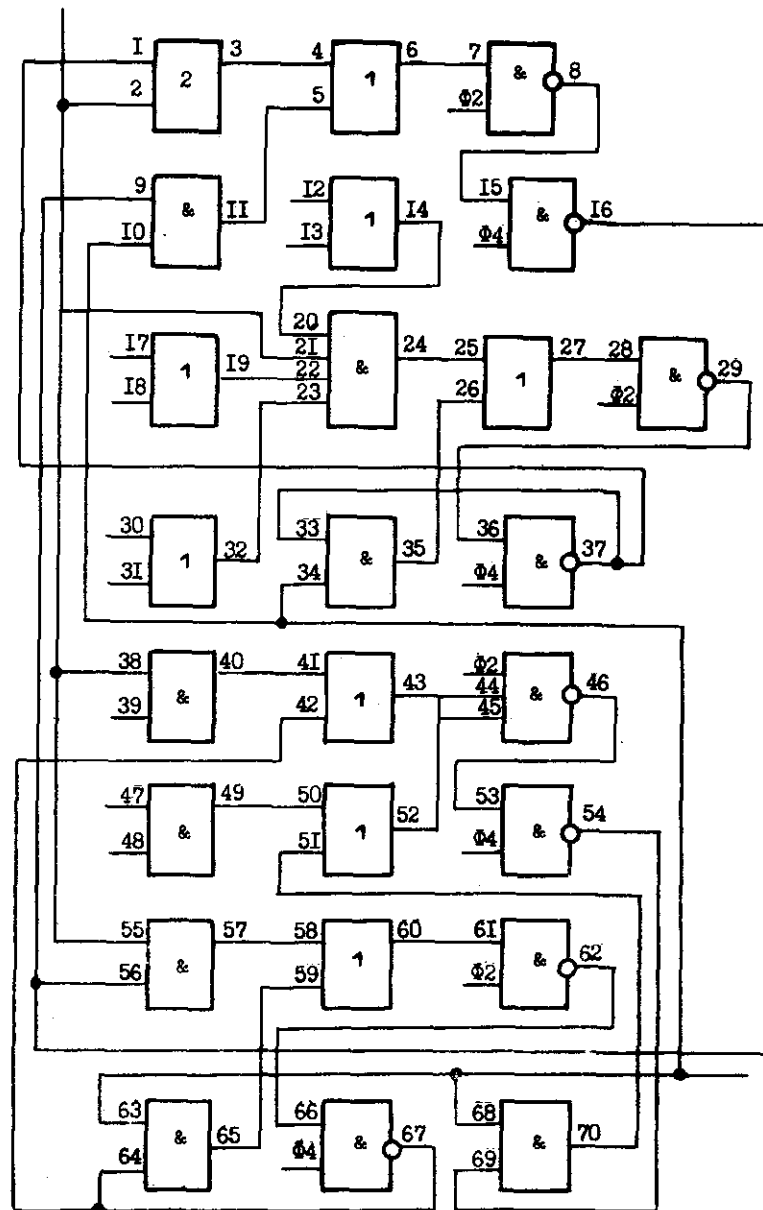


Рис. 4

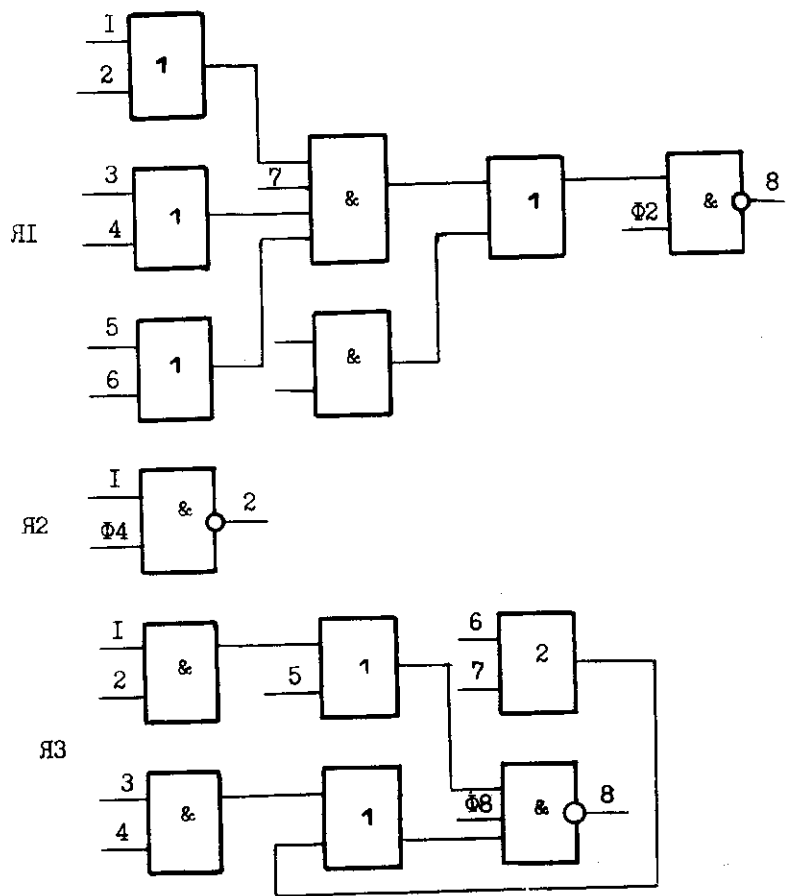


Рис. 5

мость покрытия, определенная по формуле (1), $C=13$, $C_{уд} = 3,415$.
 На рис. 6 показана схема коммутации ячеек.

Программа алгоритма "Покрытие" составлена на автокоде MADLEN для ЦВМ БЭСМ-6 и выполняет следующие операции: выбор массива \mathcal{D} ячеек, покрывающих элемент m схемы; выбор ячеек $\alpha_i \in \mathcal{D}$, проверку соответствия между покрываемой конфигурацией

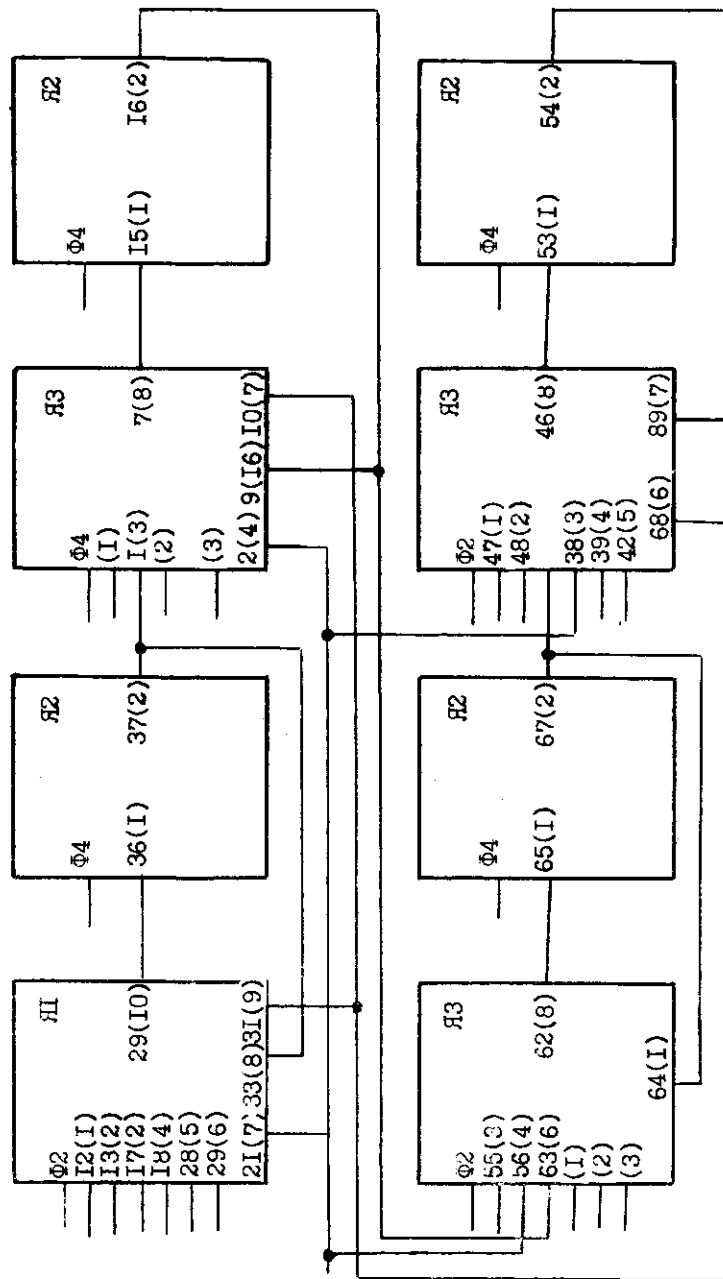


Рис. 6. Схема коммутации ячеек

цией и покрывающей ячейкой по числу входящих в них компонент; проверку соответствия по числу входов; качественный анализ соответствия; выбор оптимального варианта (*min* стоимости); вывод результата на АППУ.

Использование разработанного языка описания схем позволило в значительной степени сократить объем программы и представить ее в форме стандартных процедур. Так, например, процедура выбора массива покрывающих ячеек имеет вид:

```
11,VTM,N
12,VTM,СХЕМА
9,VTM
ЦИКЛ 1:11,ХТА,
12,АТХ
,ASN,40
,ASN,108
,UTC, $\uparrow$ =2
,ЛЕХ
11,UTM,1
12,UTM,1
,U1A,ЦИКЛII
9,UTM,1
,ITA,9
,UTC, $\uparrow$ =2
,ЛЕХ
,USA,ВЫХОД
11,UTM, $\uparrow$ -1
11,ХТА,
,UTC, $\uparrow$ =3777 7777 3777 7777
,ЛЕХ
,UZA,КОНЕЦ
ВЫХОД
```

Программа занимает 1000 машинных команд. Время трансляции - 15 минут. Время решения задачи покрытия зависит от сложности и объема схемы. Объем ОЗУ ЦВМ позволяет покрывать схемы, содержащие до 5000 МОП-транзисторов.

Л и т е р а т у р а

1. ХОПГУД Ф. Методы компиляции. М., "Мир", 1972.

Поступила в ред.-изд.отд.
20 августа 1973 г.