Глава 13

Однородные модули из элементов с двусторонней проводимостью и реализация комбинационных схем

13.1. Модули, универсальные в классе произвольных булевых формул в базисе И, ИЛИ, НЕ

К элементам с двусторонней проводимостью относятся, в частности, контактные элементы. Сравнительно большие габариты релейно-контактных элементов приводят к нецелесообразности построения на них порождающих функций, используемых при проектировании модулей из функциональных элементов (элементов с односторонней проводимостью). Это связано с тем, что такие модули обладают избыточностью как по числу элементов, так и по числу внешних выводов.

Поэтому в настоящем разделе решается задача создания модулей из элементов с двусторонней проводимостью, которые до определенного значения числа букв q в реализуемой БФ не обладают элементной избыточностью. При этих значениях q многофункциональность таких модулей обеспечивается только за счет избыточности по внешним выводам. При больших значениях q, как и в модулях из элементов с односторонней проводимостью, имеются оба вида избыточности. Эти модули в отличие от модулей из элементов с односторонней проводимостью настраиваются в основном за счет отождествления выходов.

В предположении о равной доступности прямых и инверсных входных переменных предлагаемые модули, построенные в качестве примера из однотипных одноконтактных реле, имеют однородную структуру, представленную на рис. 13.1. На этом рисунке каждое реле *3*, состоящее из нормально разомкнутого контакта *1* и обмотки *2*, выделено прямоугольником.

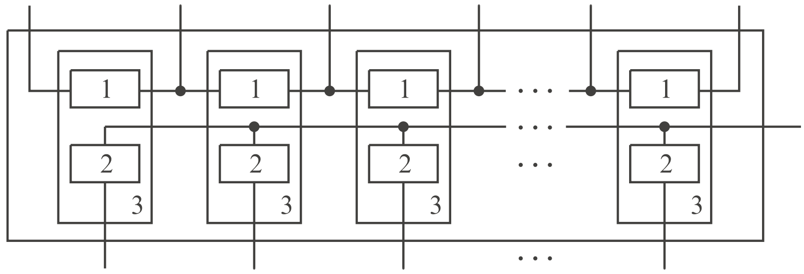

Рис. 13.1

Этот класс модулей с $2(q + 1)$ внешними выводами впервые описан в [1]. Такие модули из q элементов (при $q \leqslant 6$) являются универсальными в классе БФ в базисе $\{\&, \vee, !\}$ из q букв при равной доступности прямых и инверсных входных переменных. При этих значениях q модули обладают избыточностью только по внешним выводам.

Предложенные модули существенно более просты по сравнению с модулями из элементов с односторонней проводимостью с теми же значениями q. Так, например, при $q = 5$ модуль [2] имеет 14 внешних выводов (два служат для подачи питания) и состоит из 79 МДП-транзисторов, объединенных в функциональные элементы, в то время как предлагаемый модуль при этом значении q имеет 12 внешних выводов и содержит лишь пять элементов.

При $q = 7$ модуль из семи элементов реализует путем настройки 179 из 180 параллельно-последовательных контактных схем. Метод подсчета числа таких схем из q контактов предложен в [3], а их табулирование при $q \leqslant 8$ выполнено автором настоящей работы в [4].

С ростом величины q доля параллельно-последовательных контактных схем, реализуемых предлагаемым модулем из q элементов, уменьшается. Так, например, при $q = 8$ модуль из восьми элементов путем настройки реализует 518 из 522 возможных схем.

Причина невозможности построения безызбыточных по числу элементов модулей при $q \geqslant 7$ рассмотрена в следующем разделе, в котором показано также, что для произвольного значения q может быть построен модуль предлагаемого типа, число элементов в котором превышает q.

Модификации рассмотренных модулей, осуществленные за счет введения диодов, приведены в [6—10].

Если доступны лишь только прямые входные переменные, то в качестве q-универсального модуля при $q = 2, 3$ может быть использована схема из q переключательных контактов [5]. На рис. 13.2 в качестве примера приведен такой модуль при $q = 3$. Этот модуль состоит из реле *3*, каждое из которых содержит обмотку *2* и переключательный контакт, условно представленный нормально разомкнутым *1* и нормально замкнутым *4* контактами.

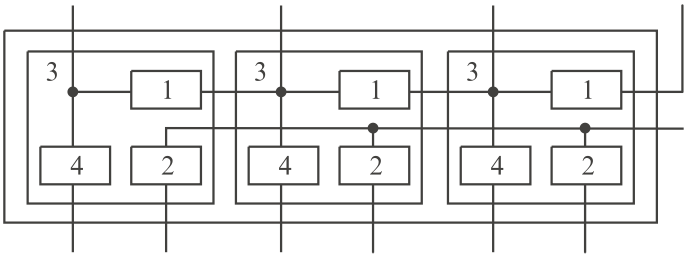

Рис. 13.2

В [11] приведена настройка этого модуля на реализацию представителя каждого из 20 P-типов бесповторных БФ в рассматриваемом базисе.

13.2. Топологический метод реализации многовыходных комбинационных схем

Предположим, что прямые и инверсные входные переменные равнодоступны и заданы модули, представленные на рис. 13.1.

Применяя формульный метод при $q \leqslant 6$, может быть построена схема, реализующая произвольную БФ в рассматриваемом базисе из h букв ($h \geqslant q$), число модулей в которой определяется соотношением (2.1). Из этого соотношения следует, что при таком методе синтеза избыточность по числу элементов может достигать двух, несмотря на то что при $h \leqslant 6$, как отмечено в предыдущем разделе, формулы заданного класса могут быть реализованы на таких модулях без избыточности по числу элементов.

Покажем, что свойство двусторонней проводимости позволяет предложить метод синтеза схем из рассматриваемых модулей, при котором имеет место существенно меньшая избыточность, чем при формульном методе.

Этот метод, базирующийся на свойстве эйлеровых графов, которые могут быть «пройдены» не отрывая руки от бумаги [9], может быть назван топологическим.

Граф является эйлеровым, если он содержит ноль или две вершины нечетной степени [12]. Вершина называется нечетной, если она образована нечетным числом ребер. Из теории графов известно, что при отсутствии нечетных вершин граф «проходи́м» при его обходе, начиная из любой четной вершины, а при двух нечетных вершинах его обход должен начинаться из одной из этих вершин.

Известен [12] алгоритм Хоанг Туи, который строит эйлерову цепь в случае, если граф содержит две нечетные вершины.

В произвольном графе число нечетных вершин четно, и при наличии более двух таких вершин он «непроходим».

Эти результаты теории графов могут быть использованы при реализации произвольных многополюсных схем, построенных из нормально разомкнутых контактов, с помощью модуля, который приведен на рис. 13.1.

Если реализуемая схема является эйлеровой, то в ней должен быть найден эйлеров маршрут (эйлерова линия), который определяет настройку модуля — обозначения контактов в «цепочке» и перемычки между ее внешними выводами. Так как в цепочке обеспечен доступ к любой «точке», то произвольная эйлерова схема из q контактов может быть безызбыточно реализована такой цепочкой из q контактов.

На рис. 13.3 приведена контактная схема, реализующая систему булевых формул $z_1 = x_1 x_2 x_4$, $z_2 = x_3$. Эта схема из четырех контактов содержит два узла нечетной степени и поэтому является эйлеровой. Находя эйлеров маршрут в этой схеме, мы тем самым определяем настройку модуля из четырех контактов (рис. 13.4).

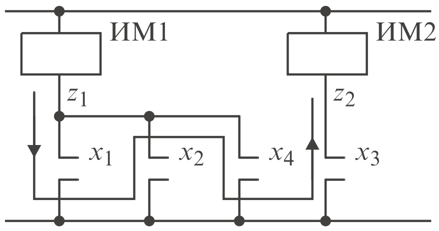

Рис. 13.3

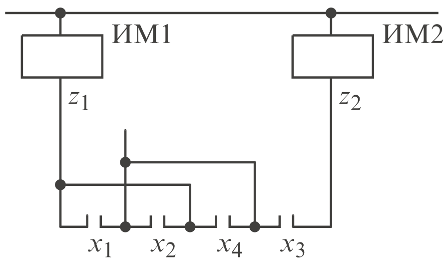

Рис. 13.4

Из изложенного следует, что особенность предлагаемого топологического метода состоит в том, что он в отличие от методов синтеза схем из функциональных элементов позволяет эффективно реализовать не только одну формулу, но и систему формул.

Применим предложенный метод синтеза для построения двухполюсных контактных схем, реализующих одиночные БФ в рассматриваемом базисе. Простейшая двухполюсная схема, содержащая четыре нечетных (н) узла, приведена на рис. 13.5. Из-за наличия таких четырех узлов в этой схеме она «непроходима» и, следовательно, не обеспечивает 4-универсальности модуля в классе произвольных параллельно-последовательных контактных схем из четырех контактов. Однако это свойство обеспечивается в классе *PN*-типов таких схем. Так, например, вместо схемы на рис. 13.5 всегда может быть использована функционально эквивалентная ей схема с двумя нечетными узлами (рис. 13.6), являющаяся эйлеровой.

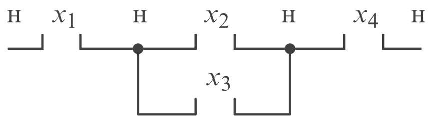

Рис. 13.5

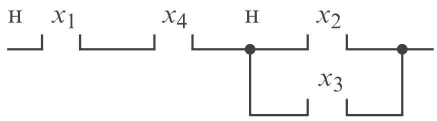

Рис. 13.6

Анализ, выполненный автором в [5], показал, что для любого *PN*-типа БФ в рассматриваемом базисе из шести и менее букв может быть выбран такой представитель, который реализуется эйлеровой схемой, что и обеспечивает безызбыточность q-универсальных модулей этого типа при $q \leqslant 6$.

При $q = 7$ существует один *PN*-тип БФ, для которого не может быть выбран представитель, который реализуется эйлеровой схемой, так как все схемы, функционально эквивалентные схеме на рис. 13.7, содержат четыре нечетных узла.

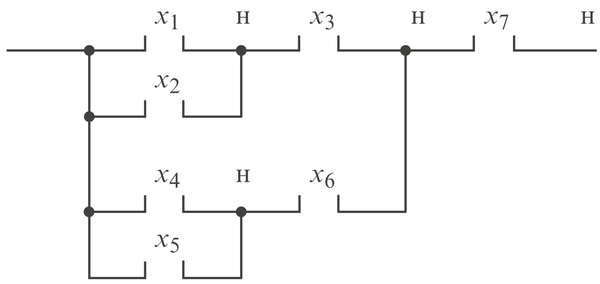

Рис. 13.7

Реализация этой схемы с помощью рассматриваемых модулей обеспечивается за счет введения избыточного (и) контакта (рис. 13.8) по аналогии с введением «моста» в задаче Эйлера о «кёнигсбергских мостах», породившей теорию графов [13]. При этом отметим, что на обмотку реле, соответствующую «избыточному»

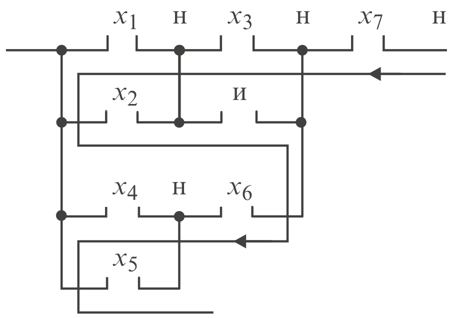

Рис. 13.8

контакту, подается логический ноль, что делает этот контакт всегда разомкнутым.

На рис. 13.9 приведен предлагаемый модуль из восьми контактов, реализующий схему на рис. 13.8.

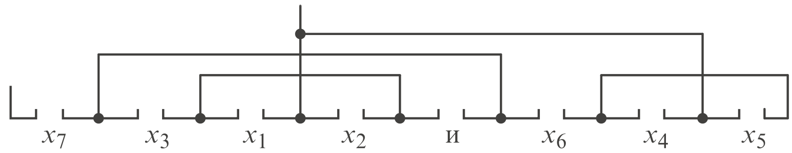

Рис. 13.9

В [5] показано, что длина «цепочки», требующейся для реализации произвольной формулы в базисе И, ИЛИ из h букв, удовлетворяет соотношению

$$h \leqslant d \leqslant [(4/3)h - 1/3].$$

Таким образом, в данном случае избыточность не превосходит 33 % в отличие от более чем 100 % избыточности, имеющей место при применении модулей из функциональных элементов.

Предложенные модули были использованы в НПО «Аврора» при создании унифицированных кассет логики на релейно-контактных элементах. Эти модули позволили согласовать большое число внешних выводов реле с относительно небольшим числом внешних выводов этих кассет.

Кроме [1, 5] имеется еще несколько работ [14—18], в которых рассмотрены предложенные модули.

Существенный интерес для практики представляет вопрос о реализации предложенных модулей на бесконтактных элементах с двусторонней проводимостью, например на оптронах, который в настоящей работе не рассматривается.

Весьма полезным было приложение подхода, изложенного в настоящей главе, к исследованию функциональных возможностей «цепочек» из одинаковых резисторов с промежуточными выводами между ними. При этом в [19], например, показано, что цепочка из пяти одинаковых резисторов, каждый из которых имеет сопротивление R, может реализовать путем наложения перемычек 35 различных номиналов сопротивлений, лежащих в диапазоне от $R/5$ до $5R$.

Выводы

1. Предложен принципиально новый класс многофункциональных модулей из элементов с двусторонней проводимостью, универсальных в классе БФ в базисе И, ИЛИ из h букв, которые за счет настройки на выходах при $h \leqslant 6$ не обладают элементной избыточностью.

2. Показано, что для произвольных значений числа букв h в указанных булевых формулах элементная избыточность таких модулей не может превышать 33 %, что существенно меньше, чем у известных модулей из элементов с односторонней проводимостью.

3. Подход, использованный при построении рассмотренных модулей, был применен для исследования функциональных возможностей однородных «цепочек» из резисторов с промежуточными выводами между ними. При этом, в частности, показано, что такая «цепочка» из пяти резисторов порождает 35 различных номиналов сопротивлений.

4. На основе теории эйлеровых графов предложен топологический метод реализации многовыходных комбинационных схем, позволяющий эффективно применять свойство двусторонней проводимости элементов, из которых построены модули.

5. Предложены однородные многофункциональные модули из элементов с двусторонней проводимостью, универсальные в классе БФ в базисе И, ИЛИ, НЕ при $h \leqslant 3$.

Литература

1. *Прангишвили И. В., Ускач М. А., Артюхов В. Л., Копейкин Г. А., Шалыто А. А.* Многофункциональный логический модуль. А. с. СССР № 427336 // Бюл. изобр. 1974. № 17.

2. *Прангишвили И. В., Ускач М. А., Копейкин Г. А.* Комплекс логических МДП-интегральных схем для систем автоматики и телемеханики // Приборы и системы управления. 1970. № 4.

3. *Шеннон К. Э.* Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. литер., 1963.

4. *Артюхов В. Л.* Логические методы синтеза дискретных систем. Л.: ИПК СП, 1974.

5. *Артюхов В. Л., Копейкин Г. А., Шалыто А. А.* Настраиваемые модули для управляющих логических устройств. Л.: Энергоиздат, 1981.

6. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А., Суханов Ю. И.* Многофункциональный логический модуль. А. с. СССР № 819809 // Бюл. изобр. 1981. № 13.

7. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А., Суханов Ю. И.* Многофункциональный логический модуль. А. с. СССР № 840883 // Бюл. изобр. 1981. № 23.

8. *Артюхов В. Л., Кузнецова О. С., Шалыто А. А.* Многофункциональный логический модуль. А. с. СССР № 1629909 // Бюл. изобр. 1991. № 7.

9. *Артюхов В. Л., Кузнецова О. С., Шалыто А. А.* Многофункциональный логический модуль. А. с. СССР № 1629984 // Бюл. изобр. 1991. № 7.

10. *Артюхов В. Л., Кузнецова О. С., Шалыто А. А.* Многофункциональный логический модуль. А. с. СССР № 1631713 // Бюл. изобр. 1991. № 8.

11. *Артюхов В. Л., Фишман Л. М., Боброва И. Л., Шалыто А. А.* Многофункциональный логический модуль. А. с. СССР № 841518 // Бюл. изобр. 1981. № 23.

12. *Зыков А. А.* Теория конечных графов. Новосибирск: Наука, 1969.

13. *Оре О.* Графы и их применение. М.: Мир, 1965.

14. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А.* Функциональные возможности однородной одномерной реберной структуры из элементов с двусторонней проводимостью // Логический синтез в дискретных однородных средах. Третье Всесоюз. совещ. М.: Ин-т проблем передачи информации, 1974.

15. *Артюхов В. Л., Копейкин Г. А., Шалыто А. А.* Однородные одномерные реберные структуры из элементов с двусторонней проводимостью // Однородные вычислительные структуры и малые ЭВМ. Всесоюз. семинар. М.: Ин-т проблем управления, 1979.

16. *Артюхов В. Л., Копейкин Г. А., Шалыто А. А.* Многофункциональные логические модули из элементов с двусторонней проводимостью // Изв. вузов. Приборостроение. 1981. № 4.

17. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А.* Применение эйлеровых и гамильтоновых графов при реализации переключательных схем // Методы и программы решения оптимизационных задач на графах и сетях. Тез. докл. III Всесоюз. совещ. Ч. 1. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1984.

18. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А.* Однородные структуры для реализации булевых формул // Логические методы построения однородных и систолических структур. Труды I Всесоюз. совещ. М.: Ин-т проблем передачи информации, 1988.

19. *Артюхов В. Л., Копейкин Г. А., Шалыто А. А.* Функциональные возможности микроэлектронных резистивных наборов // Автометрия. 1979. № 3.