ИЗВЕСТИЯ РАН. ТЕОРИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, 2006, № 1, с. 78–81

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ

УДК 681.3.06:62-507

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ МОДУЛИ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ С ДВУСТОРОННЕЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

 А. А. Шалыто

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный ун-т информационных технологий механики и оптики

Поступила в редакцию 01.03.05 г.

Предложены многофункциональные логические модули из элементов с двусторонней проводимостью, которые при реализации булевых формул в базисе $\{\&, \vee, !\}$ из шести и менее букв не обладают элементной избыточностью, а при больших значениях этого показателя имеют избыточность, не превышающую 33%.

Введение. Известны различные типы многофункциональных логических модулей из функциональных элементов (элементов с односторонней проводимостью) [1–5], методы их построения [3, 6], а также методы синтеза схем из них [7, 8]. Однако как при построении этого класса модулей, так и при синтезе схем из них обычно используют операцию суперпозиции. Это приводит к тому, что некоторые входы функциональных элементов как бы теряются, так как они подключаются не к входным переменным, а к выходам предыдущих элементов.

Этого недостатка лишены элементы с двусторонней проводимостью, в которых логика выполняется "на проводах". Это приводит к тому, что если, например, имеются два двувходовых элемента "И" из элементов с односторонней проводимостью, то при их суперпозиции получается элемент "И" с тремя входами, в то время как для элементов с двусторонней проводимостью их объединение "проводами" приводит к построению четырехвходового элемента "И". Особенно полезными элементы с двухстороней проводимостью становятся при синтезе многовыходных структур – при реализации систем булевых функций.

Среди элементов с двусторонней проводимостью в системах управления наиболее широко применяются контактные элементы. Весьма большие габариты релейно-контактных элементов, невысокое быстродействие, а также большое энергопотребление затрудняют использования в качестве элементной базы с двусторонней проводимостью. Тем не менее, методы синтеза логических структур из элементов с двусторонней проводимостью не потеряли своего значения, поскольку присущи не только релейно-контактной схемотехнике.

Цель настоящей работы состоит в описании многофункционных логических модулей из элементов с двусторонней проводимостью, которые до определенного значения числа букв q в реализуемой булевой формуле в базисе $\{\&, \vee, !\}$ не обладают элементной избыточностью. При этих значениях q многофункциональность таких модулей обеспечивается только за счет избыточности по внешним выводам. При бóльших значениях числа букв, как и в модулях из элементов с односторонней проводимостью, имеют место оба вида избыточности (элементная и по внешним выводам). Предлагаемые модули настраиваются обычно на выходах за счет их отождествления, а не на входах, как это делается при настройке модулей из элементов с односторонней проводимостью.

1. Модули, универсальные в классе произвольных булевых формул в базисе $\{\&, \vee, !\}$. 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. 1. На этом рисунке нормально разомкнутый контакт *1* и обмотка *2* образуют реле *3*.

Рассматриваемый класс модулей с $2(q + 1)$ внешними выводами впервые описан в [9]. Такие модули из q элементов (при $q \le 6$) являются универсальными в классе булевых формул в базисе $\{\&, \vee, !\}$ из q букв при равной доступности прямых и инверсных входных переменных.[1] 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 [10] имеет 14 внешних выводов (два служат для подачи питания) и состоит из 79 МДП-транзисторов, объединенных в функциональные элементы, в то

[1] Имеется в виду возможность подачи прямых и инверсных значений входных сигналов (*прим. ред.*).

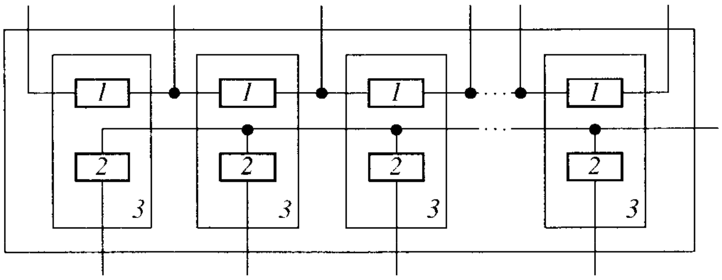

Рис. 1.

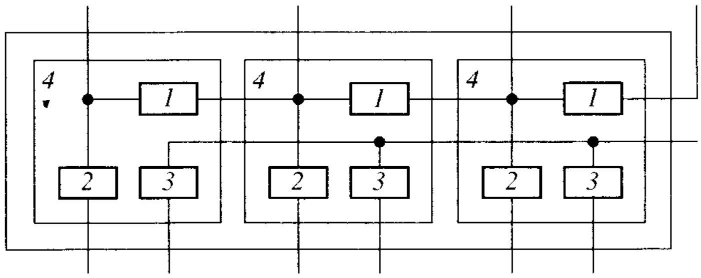

Рис. 2.

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 типов параллельно-последовательных семиконтактных схем, а для реализации одной схемы, рассмотренной ниже, требуется модуль из восьми элементов. Таким образом, только при этом значении q в предлагаемых модулях появляется элементная избыточность.

Отметим, что метод подсчета числа параллельно-последовательных схем из q контактов предложен в [11], а их табулирование при $q \le 8$ было выполнено автором настоящей работы и опубликовано в [12]. Табуляция типов схем позволила проверить реализуемость каждой из них с помощью предлагаемого модуля. 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 возможных 522 схем.

Причина невозможности построения безызбыточных по числу элементов модулей при $q \ge 7$ 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. Если для модуля доступны только прямые входные переменные, то в качестве q-универсального модуля при $q = 2$ или 3 может быть использована схема из q переключательных контактов [13]. На рис. 2 в качестве примера приведен такой модуль при $q = 3$, где переключательный контакт, условно представленный нормально разомкнутым *1* и нормально замкнутым *2* контактами, и обмотка *3* образуют реле *4*. В [14] приведена настройка этого модуля на реализацию представителя каждого из 20 P-типов [13] бесповторных булевых формул в рассматриваемом базисе.

2. Топологический метод реализации комбинационных схем. Предположим, что прямые и инверсные входные переменные равнодоступны и заданы модули, структура которых представлена на рис. 1. Покажем, что свойство двусторонней проводимости позволяет предложить метод синтеза схем из рассматриваемых модулей, при котором имеет место существенно меньшая избыточность, чем при формульном методе [7, 13] реализации булевых формул в базисе $\{\&, \vee, !\}$ из h букв на модулях из элементов с односторонней проводимостью, универсальных в классе формул в том же базисе из q букв ($q \le h$).

Предлагаемый метод, базирующийся на свойстве эйлеровых графов, которые могут быть "пройдены", не отрывая руки от бумаги [13], назван топологическим. Граф является эйлеровым, если он содержит ноль или две вершины нечетной степени [15, 16]. Вершина называется нечетной, если в ней сходится нечетное число ребер. Из теории графов известно, что при отсутствии нечетных вершин граф "проходим" при его обходе, начиная из любой четной вершины, а при двух нечетных вершинах его обход должен начинаться из одной из этих вершин. Известен [15] 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" [16].

Эти результаты теории графов могут быть использованы при реализации произвольных многополюсных схем, построенных из нормально разомкнутых контактов, с помощью модуля, который приведен на рис. 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. 3 приведена контактная схема, реализующая систему булевых формул $z_1 = x_1 \vee x_2 \vee x_4$, $z_2 = x_3$. Эта схема из четырех контактов содержит два узла нечетной степени и поэтому является эйлеровой. Находя эйлеров маршрут в этой схеме, тем самым определяется настройка модуля из четырех контактов (рис. 4). Из приведенного примера следует, что особенность предлагаемого топологического метода состоит в том, что он в от-

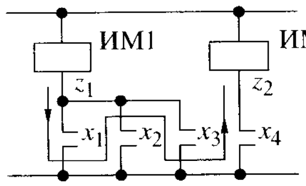

Рис. 3.

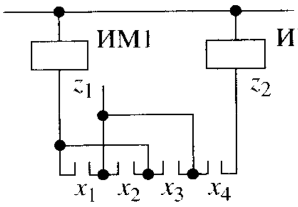

Рис. 4.

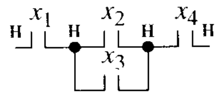

Рис. 5.

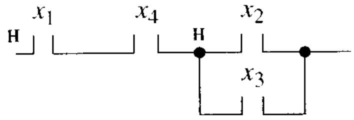

Рис. 6.

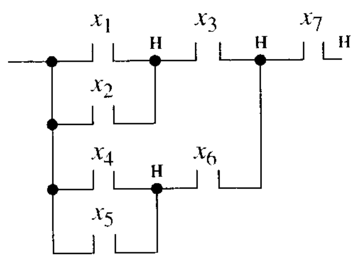

Рис. 7.

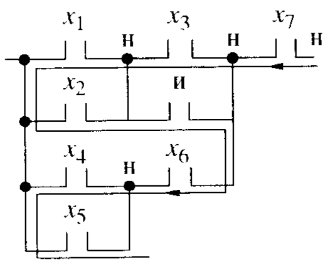

Рис. 8.

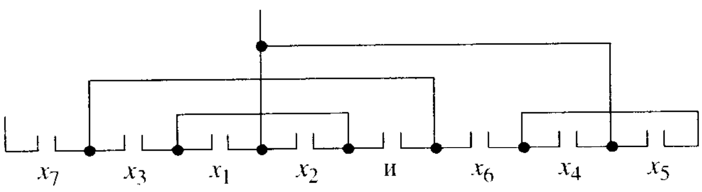

Рис. 9.

личие от метода 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 булевые формулы в рассматриваемом базисе. Простейшая двухполюсная схема, содержащая четыре нечетных (н) узла, приведена на рис. 5. Эта схема из-за наличия четырех нечетных узлов "непроходима", что 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 как, например, вместо схемы на рис. 5 может быть использована схема с двумя нечетными узлами (рис. 6), являющаяся эйлеровой.

Анализ, выполненный автором в [13], показал, что для любого *PN*-типа булевых формул из шести и менее букв в рассматриваемом базисе может быть выбран такой представитель, который реализуется эйлеровой схемой, что обеспечивает безызбыточность q-универсальных модулей этого типа при $q \leq 6$. При $q = 7$ существует один *PN*-тип булевых формул, для которого не может быть выбран представитель, который реализуется эйлеровой схемой, так как все схемы, функционально эквивалентные схеме на рис. 7, содержат четыре нечетных узла.

Реализация этой схемы с помощью рассматриваемых модулей обеспечивается за счет введения избыточного (и) контакта (рис. 8) по аналогии с введением "моста" в задаче Эйлера о "кенигсбергских мостах", породившей теорию графов [16]. При этом отметим, что на обмотку реле, соответствующую "избыточному" контакту, подается логический ноль, что делает этот контакт разомкнутым всегда.

На рис. 9 приведен предлагаемый модуль из весьми контактов, реализующий схему на рис. 8. При этом отметим, что на обмотку, соответствующую избыточному контакту, входная переменная не подается. В [13] показано, что длина "цепочки", требующейся для реализации произвольной формулы в базисе $\{\&, \vee\}$ из h букв, удовлетворяет соотношению

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

Таким образом, в данном случае избыточность не превосходит 33% в отличие от избыточности более чем в 100%, имеющей место при использовании формульного метода для модулей из элементов с односторонней проводимостью. Подход, изложенный в настоящей работе, был применен к исследованию функциональных возможностей "цепочек" из одинаковых резисторов. При этом в [17] показано, например, что цепочка из пяти таких резисторов, каждый из которых имеет сопротивление R, может реализовать путем наложения перемычек 35 различных номиналов сопротивлений, лежащих в диапазоне от $R/5$ до $5R$.

Заключение. Предложен принципиально новый класс многофункциональных модулей из элементов с двусторонней проводимостью, универсальных в классе булевых формул в базисе $\{\&, \vee, !\}$ из h букв, которые при равной доступности прямых и инверсных выходов источников информации за счет настройки на выходах не обладают элементной избыточностью при $h \le 6$. 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.

Подход, использованный при построении предложенных модулей, был применен для исследования функциональных возможностей однородных "цепочек" из резисторов с промежуточными выводами между ними. При этом, в частности, такая "цепочка" из пяти резисторов порождает 35 различных номиналов сопротивлений. На основе теории эйлеровых графов представлен топологический метод реализации многовыходных комбинационных схем, позволяющий эффективно применять свойство двусторонней проводимости элементов, из которых построены модули. Предложены многофункциональные модули из элементов с двусторонней проводимостью, универсальные при доступности только прямых источников информации в классе булевых формул в базисе $\{\&, \vee, !\}$ при $h \le 3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yau S.S., Tang C.K.* Universal Logic Modules and Their Application // IEEE Trans. on Computers. 1970. № 2.
2. *Stone H.E.* Universal Logic Modules // Recent Developments in Switching Theory // Ed. A. Makhopadhyay. N.Y.: Acad. Press, 1971.
3. *Якубайтис Э.А.* Теория автоматов. Многофункциональные логические модули // Итоги науки и техники: Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. № 13. М.: ВИНИТИ, 1987.
4. *Шалыто А.А.* Модули, универсальные в классе всех булевых функций с парафазными входными переменными // Изв. РАН. ТиСУ. 1997. № 5.
5. *Шалыто А.А.* Модули, универсальные в классе самодвойственных функций и в "близких" к ним классах // Изв. РАН. ТиСУ. 2001. № 5.
6. *Шалыто А.А.* Методы построения многофункциональных логических модулей // Изв. РАН. ТиСУ. 2004. № 6.
7. *Артюхов В.Л., Копейкин Г.А., Шалыто А.А.* Об оценках сложности реализации булевых формул древовидными схемами из настраиваемых модулей // АиТ. 1981. № 11.
8. *Шалыто А.А.* Мультиплексорный метод реализации булевых функций схемами из произвольных логических элементов // Изв. РАН. ТиСУ. 2003. № 1.
9. *Прангишвили И.В., Ускач М.А., Артюхов В.Л. и др.* Многофункциональный логический модуль. А.с. 427336 СССР // Б.И. 1974. № 17.
10. *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.
11. *Шеннон К.Э.* Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
12. *Артюхов В.Л.* Логические методы синтеза дискретных систем. Л.: Ин-т повышения квалификации руководящих работников и специалистов судостроительной пром-сти, 1974.
13. *Артюхов В.Л., Копейкин Г.А., Шалыто А.А.* Настраиваемые модули для управляющих логических устройств. Л.: Энергоиздат, 1981.
14. *Артюхов В.Л., Фишман Л.М., Боброва И.Л. и др.* Многофункциональный логический модуль. А.с. 841518 СССР // Б.И. 1981. № 23.
15. *Зыков А.А.* Теория конечных графов. Новосибирск: Наука, 1969.
16. *Оре О.* Графы и их применение. М.: Мир, 1965.
17. *Артюхов В.Л., Копейкин Г.А., Шалыто А.А.* Функциональные возможности микроэлектронных резистивных наборов // Автометрия. 1979. № 3.