УРАЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
УГЛТУ

В.Я. Тойбич
А.И. Бабин

ЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ СОСТАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ И БЕСКОНТАКТНЫХ СХЕМ

Екатеринбург
2010

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ГОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра автоматизации производственных процессов

В.Я. Тойбич
А.И. Бабин

ЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ СОСТАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ И БЕСКОНТАКТНЫХ СХЕМ

Методические указания
к практическим занятиям
по курсу «Системы автоматизированного управления»
для студентов очной и заочной форм обучения,
направление 220300 «Автоматизированные технологии и производства»,
специальность 220301.65 «Автоматизация технологических процессов и производств (химико-лесной комплекс)»

Екатеринбург
2010

Печатается по рекомендации методической комиссии ЛИФ.
Протокол № 2 от 9 октября 2009 г.

Рецензент доцент кафедры АПП В.Е. Выборнов

Редактор О.В. Атрошенко
Компьютерная верстка Г.И. Романова

Подписано в печать 30.09.10		Поз. 110
Плоская печать	Формат 60х84 1/16	Тираж 50 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,39	Цена 7 руб. 36 коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

1. ВВЕДЕНИЕ

При исследовании схем приходится решать две основные задачи:

1) синтез схем – нахождение структуры схемы по заданным условиям работы схемы;

2) анализ схем – определение условий работы схемы или отдельных ее элементов по имеющейся структуре схемы.

Как при синтезе, так и при анализе необходимо преобразовывать схемы так, чтобы сохранялась их равносильность. После изменения структуры схема должна удовлетворять заданным условиям. При инженерном проектировании электрических схем средством их преобразования является аппарат алгебры логики (булева алгебра). Преобразования могут быть выполнены вручную или в различных программах, таких как Multisim, существенно облегчающих труд разработчика схем.

К основным функциям алгебры логики относятся:

1) логическое умножение – ***конъюнкция*** (функция И, AND);

2) логическое сложение – ***дизъюнкция*** (функция ИЛИ, OR);

3) логическое отрицание – ***инверсия*** (функция НЕ, NOT).

Сложные функции алгебры логики могут быть получены из простых путем объединения их между собой определенными логическими связями. Такими функциями являются ***штрих Шеффера*** (И-НЕ, NAND), ***стрелка Пирса*** (ИЛИ-НЕ, NOR), ***импликация***, ***альтернатива*** и др. Использование их для логических высказываний упрощает реализацию логических преобразований.

Схемы автоматического управления разрабатываются для того, чтобы получить определенную последовательность действий исполнительных органов в зависимости от входных команд, подаваемых извне.

В зависимости от задаваемых комбинаций входных команд и порядка их поступления должны включаться в строго заданной последовательности определенные исполнительные органы системы автоматического релейно-контактного управления. Эта строгая последовательность определяется логически обоснованной структурой схемы. Сама работа схем релейно-контактной автоматики основана на вполне определенных логических преобразованиях входных команд и перемещениях выходных исполнительных органов.

2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ПРАВИЛА АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ

Математический аппарат алгебры логики имеет дело с двумя состояниями переменных: истинным и ложным (1 или 0). Релейно-контактные схемы также характеризуются двумя состояниями электрических цепей: они могут быть только замкнутыми или только разомкнутыми. Это позволяет использовать законы алгебры логики при анализе и синтезе релейно-контактных схем.

Из вышеизложенного следует, что аналогом конъюнкции является последовательное соединение элементов, аналогом дизъюнкции – параллельное, а аналогом инверсии – нормально замкнутый контакт (рис. 1).

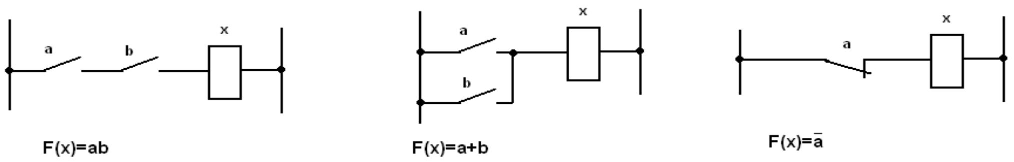
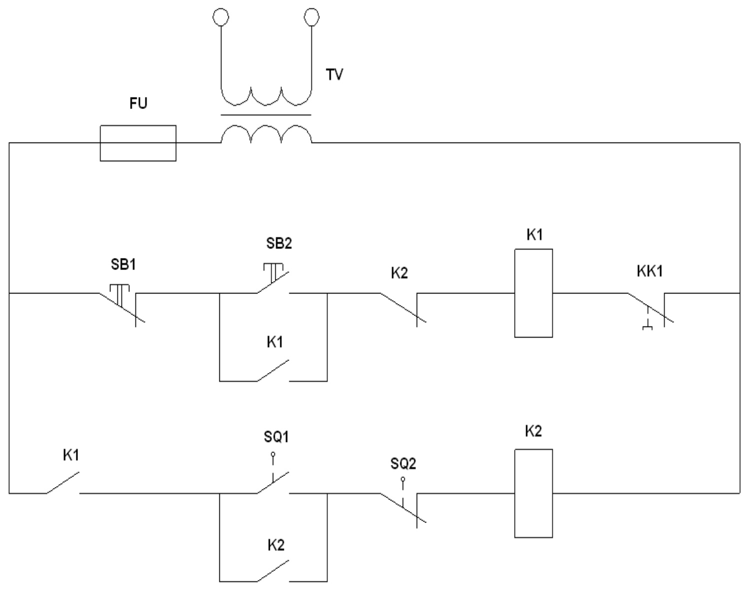


Рис. 1. Контактные аналоги логических функций

При анализе и синтезе релейно-контактных схем пользуются аналитической записью работы как всей схемы, так и ее отдельных элементов. При этом различные вспомогательные элементы схем (трансформаторы и выпрямители для питания цепей управления, защитные аппараты – плавкие предохранители, тепловые реле, клеммы, разъемы и т. д.), непосредственно не участвующие в создании логики схемы, в запись не вводятся. После получения структуры схемы такие элементы вводятся в нее, чтобы защитить отдельные цепи и механизмы и сделать обслуживание удобным и безопасным. Силовые цепи механизмов также не вводятся в аналитическую запись.

На рис. 2 приведена цепь управления некоторой электрической релейно-контактной схемы (*а*) и ее аналитическая запись (*б*). Поскольку цепи катушек $K1$ и $K2$ включены параллельно источнику питания, структурная формула всей схемы запишется следующим образом:

$$F = \overline{SB1}(SB2 + K1)\overline{K2}K1 + K1(SQ1 + K2)\overline{SQ2}K2 .$$



а

$$f(k1) = \overline{SB1}(SB2 + K1)\overline{K2}K1 ; \qquad f(k2) = K1(SQ1 + K2)\overline{SQ2}K2 .$$

б

Рис. 2. Релейно-контактная схема (*а*) и её аналитическая запись (*б*)

Основные формулы преобразования релейно-контактных схем

Алгебра логики и базирующаяся на ней алгебра релейных схем пользуются законами, во многом напоминающими законы обычной алгебры. Так, для алгебры релейных схем справедливы переместительный и сочетательный законы, а также распределительный закон умножения относительно сложения (рис. 3).

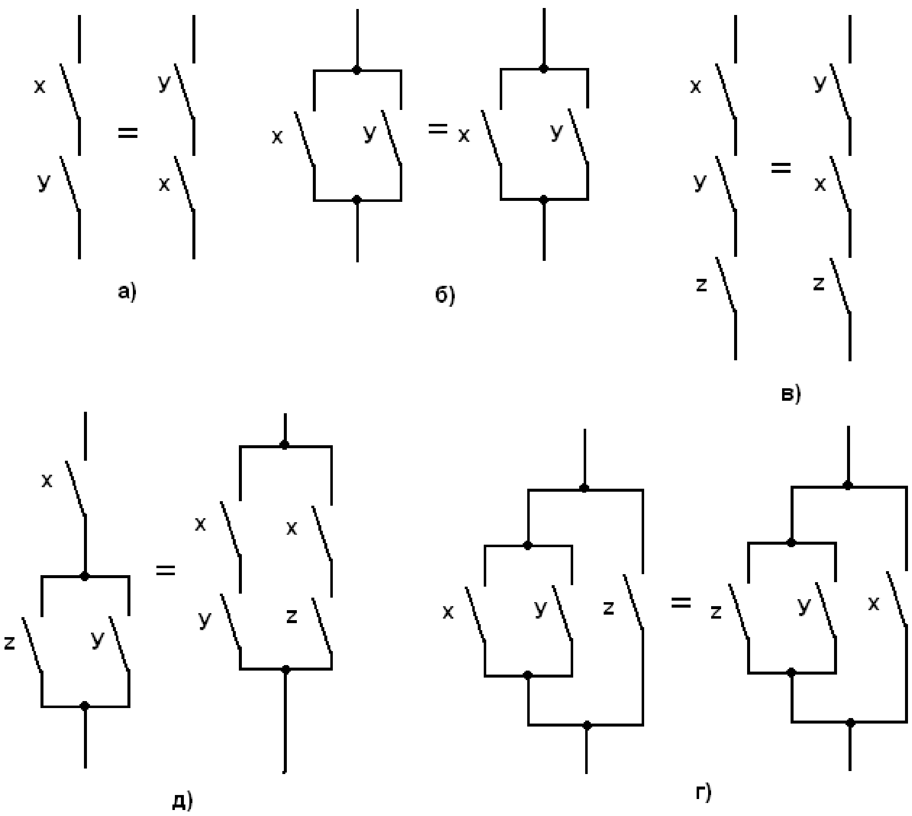


Рис. 3. Графическая интерпретация основных законов алгебры логики

1. Переместительный закон:

$xy = yx$ – для логического умножения (рис. 3, *а*);

$x + y = y + x$ – для логического сложения (рис. 3, *б*).

2. Сочетательный закон:

$(x\,y)z = x(yz)$ – для логического умножения (рис. 3, *в*);

$(x + y) + z = x + (y + z)$ – для логического сложения (рис. 3, *г*).

3. Распределительный закон умножения относительно сложения:

$x(y + z) = xy + xz$ (рис. 3, *д*).

Кроме законов, совпадающих с законами обычной алгебры, алгебра релейных схем имеет собственные законы (рис. 4).

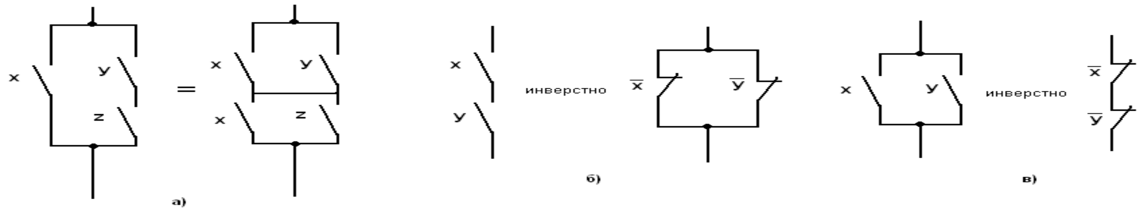


Рис. 4. Графическая интерпретация законов алгебры логики, не имеющих аналогов в «обычной» алгебре

1. Распределительный закон сложения относительно умножения:

$$x + yz = (x + y)(x + z) \text{ (рис. 4, } a\text{)}.$$

Он является обратным для распределительного закона умножения относительно сложения и получается из последнего путем замены всех знаков на противоположные. Действительно, перемножив почленно скобки в правой части, получим:

$$(x + y)(x + z) = xx + xy + xz + yz = x + xy + xz + yz =$$
$$= x(1 + y + z) + yz = x + yz.$$

2. Закон повторения:

$$xx\cdot\ldots = x; \quad x + x + \ldots = x.$$

В этом случае цепь, состоящая из последовательного и параллельного соединения одинаковых контактов одного и того же релейного элемента, равносильна по своему действию одному контакту этого элемента.

3. Закон инверсии:

$\overline{xy} = \bar{x} + \bar{y}$ – для логического умножения (рис. 4, *б*);

$\overline{x + y} = \bar{x}\bar{y}$ – для логического сложения (рис. 4, *в*).

В соответствии с этим законом исходная и инверсная схемы связаны между собой так, что, когда исходная схема представляет собой замкнутую цепь, инверсная схема разомкнута, и наоборот. Следовательно, если исходная схема является постоянно замкнутой (равной единице) цепью, то инверсная ей схема – постоянно разомкнутой (равной нолю). При инвертировании меняются на противоположные не только контакты, но и знаки логических действий. Так, логическое умножение меняется на логическое сложение, а логическое сложение – на логическое умножение.

Инверсией единицы является ноль, а инверсией ноля – единица: $\bar{1} = 0$; $\bar{0} = 1$.

Используя различные сочетания контактов с единицей и нолем, можно получить следующие соотношения:

$$x \cdot 1 = x;\ x + 0 = x;\ x + 1 = 1;\ x \cdot 0 = 0;\ x\bar{x} = 0;\ x + \bar{x} = 1.$$

Формулы $x\bar{x} = 0$ и $x + \bar{x} = 1$ справедливы только для статических режимов работы, то есть когда процесс переключения уже закончился.

В момент переключения формулы могут оказаться неверными. Например, при включении электромагнитных реле, обычно применяемых в промышленности, сначала размыкаются размыкающие их контакты, а уже потом замыкаются замыкающие. Поэтому цепь $x+\bar{x}$ кратковременно (до 1 мс) оказывается равной нолю. Если это может влиять на дальнейшую работу схемы, то цепь $x+\bar{x}$ нельзя считать тождественно равной единице.

Кроме реле, рассмотренных выше, существуют реле с переключающими контактами, у которых при включении сначала замыкаются замыкающие контакты, а затем размыкаются размыкающие. При отключении таких реле сначала замыкаются размыкающие контакты, а потом размыкаются замыкающие. Для этих реле цепь $x\bar{x}$ не будет тождественно равной нолю, так как в момент переключения она превращается на короткое время (до 1 мс) в единицу.

4. Закон поглощения для сложения и умножения:

$$x + xy = x; \;\; x(x + y) = x.$$

5. Закон склеивания для сложения и умножения:

$x+\bar{x}y=x+y$, так как $x+\bar{x}y=(x+\bar{x})(x+y)=1(x+y)=x+y$; $x(\bar{x}+y)=xy$.

3. ЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ СОСТАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ И БЕСКОНТАКТНЫХ СХЕМ

3.1. *Синтез систем автоматического управления на контактных и бесконтактных элементах*

Синтез систем автоматического управления на контактных и бесконтактных элементах состоит в построении на основе принятой элементной базы структурной схемы, реализующей заданный алгоритм функционирования.

Порядок синтеза следующий:

1) кодирование входных и выходных сигналов;

2) переход от словесного задания алгоритма функционирования к формальному в виде системы булевых функций;

3) минимизация полученных функций;

4) преобразование полученных минимальных выражений в базис, определяемый принятой элементной базой;

5) составление структурной схемы.

В дальнейшем синтезируемую систему автоматического управления будем называть ***логическим устройством***.

В общем случае логическое устройство имеет n входов и m выходов. Входные сигналы обозначим $x_1, x_2, ..., x_n$, а выходные – $y_1, y_2, ..., y_n$.

Рассмотрим ***синтез системы на контактных элементах***.

ПРИМЕР 1. Составить схему включения двух сигнальных лампочек с помощью трех ключей. Чтобы включить лампочку *HL*1, необходимо одновременно замкнуть ключи *SA*1 и *SA*2 и разомкнуть ключ *SA*3. Для включения лампочки *HL*2 необходимо или замкнуть ключи *SA*1 и *SA*3, или разомкнуть ключ *SA*2 и одновременно замкнуть ключ *SA*1. Для управления сигнальными лампочками следует использовать электромагнитные реле, управляемые ключами.

Первый этап. Все действующие в схеме сигналы подразделяются на входные и выходные. Входными являются сигналы от кнопок управления, ключей, конечных выключателей, датчиков, контролирующих процесс, и т. п. Выходные сигналы управляют исполнительными элементами (реле, контакторы, электромагниты и т. д.). Каждому сигналу присваивается буквенное обозначение.

Катушки реле, включаемые ключами, обозначим прописными буквами латинского алфавита X_1, X_2, X_3; замыкающие и размыкающие контакты реле – соответствующими строчными буквами: x_1, x_2, x_3 и $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, $\bar{x}_3$. Выходной сигнал схемы, обеспечивающий включение лампочки *HL*1, обозначим y_1, лампочки *HL*2 – y_2.

Второй этап. Согласно словесной формулировке запишем условия включения сигнальных лампочек в совершенной дизъюнктивной нормальной форме:

$$y_1 = x_1 x_2 \bar{x}_3;$$

$$y_2 = x_1 x_3 + x_1 \bar{x}_2.$$

Третий этап. Минимизируем последнее выражение, преобразовав его в скобочную форму:

$$y_2 = x_1(x_3 + \bar{x}_2).$$

Так, для реализации первоначального выражения необходимо четыре контакта, а после его преобразования – три.

Релейно-контактная схема представлена на рис. 5, где последовательная цепочка контактов реле реализует конъюнкцию, а параллельная – дизъюнкцию.

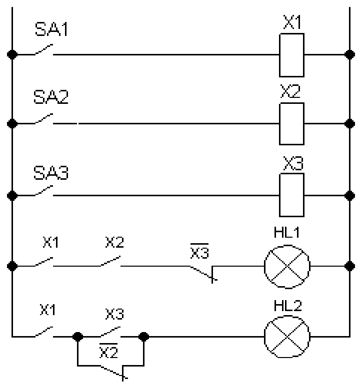
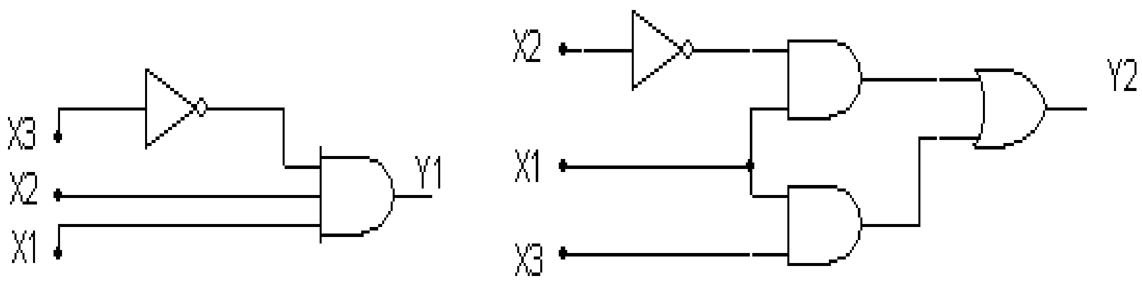


Рис. 5. Релейно-контактная схема включения сигнальных лампочек

Четвертый этап. Выполним реализацию бесконтактных вариантов в различных базисах.

• Базис И, ИЛИ, НЕ. Функция $y_1 = x_1\, x_2\, \bar{x}_3$ может быть выполнена на двух логических элементах – одном инверторе и одном трехвходовом элементе И, а функция $y_2 = x_1x_3 + x_1\bar{x}_2$ – на одном инверторе, двух двухвходовых элементах И и одном двухвходовом элементе ИЛИ (рис. 6).



а *б*

Рис. 6. Схемы реализации логических функций y_1 (*а*) и y_2 (*б*)
в базисе И, ИЛИ, НЕ

• Базис И-НЕ. Подготовим логические выражения функций y_1 и y_2 при помощи двойной инверсии. Полученные выражения будут представлять инверсии конъюнкций тех же аргументов:

$$y_1 = x_1x_2\bar{x}_3 = \overline{\overline{x_1x_2\bar{x}_3}}\,; \qquad y_2 = \overline{\overline{x_1x_3 + x_1\bar{x}_2}} = \overline{\overline{x_1x_3}\cdot\overline{x_1\bar{x}_2}}\,.$$

На рис. 7 представлена схемная реализация этих формул, содержащая только элементы И-НЕ.

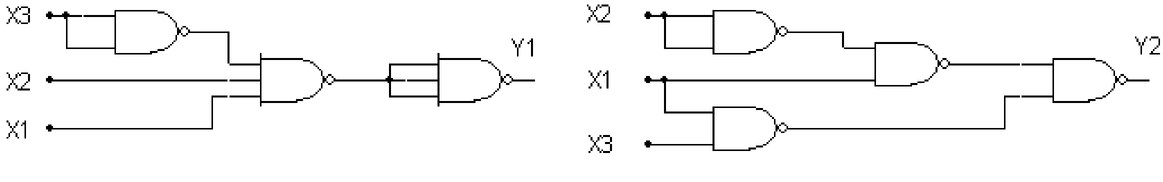


Рис. 7. Схемы реализации функций y_1 и y_2 в базисе И-НЕ

Существенно упрощает структуры постоянного тока применение вентилей (диодов) для исключения ложных цепей. Для примера рассмотрим два реагирующих органа – катушки реле X_1 и X_2 со следующими структурными формулами:

$$f(X_1) = b_1 + x_1; \qquad f(X_2) = b_1 + b_2.$$

Схема, соответствующая этим формулам, изображена на рис. 8.

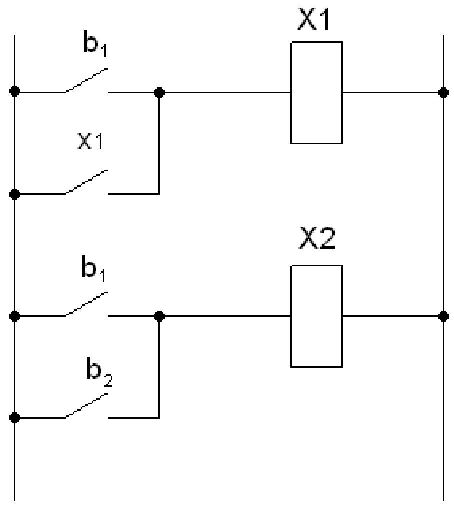


Рис. 8. Схема включения реле X_1 и X_2 до преобразования

Объединение контактов b_1 невозможно, поскольку от контакта b_2 дополнительно срабатывает элемент X_1, от контакта X_1 – элемент X_2. Если элемент b_1 является конечным выключателем (микропереключателем), то для размножения его контактов необходимо ввести в схему дополнительное промежуточное реле. Другой способ – перевести схему на питание постоянным током и ввести в нее элементы с односторонней проводимостью (вентили). Этот прием позволит избежать необходимости применения промежуточного реле. Другими словами, простое объединение контактов b_1 и b_2 (оно называется «монтажное ИЛИ») невозможно, а логическое соединение ИЛИ этих же контактов при помощи полупроводниковых диодов вполне осуществимо. Схема с вентилями показана на рис. 9.

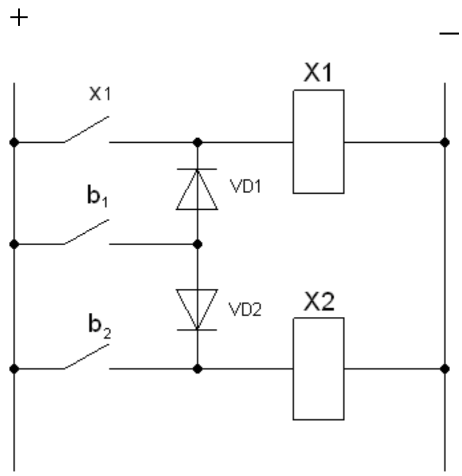


Рис. 9. Схема включения вентилей

ПРИМЕР 2. Требуется построить на контактных элементах схему, реализующую функцию

$$y = x_1 x_2 x_4 + x_1 x_3 \bar{x}_4 + \bar{x}_1 \bar{x}_4 x_5 + \bar{x}_1 x_4 x_6 . \qquad (1.1)$$

Преобразуем данную функцию в скобочную форму. Возможны два варианта:

$$y = x_1(x_2x_4 + x_3\bar{x}_4) + \bar{x}_1(\bar{x}_4x_5 + x_4x_6)\,; \qquad (1.2)$$

$$y = x_4(x_1x_2 + \bar{x}_1x_6) + \bar{x}_4(x_1x_3 + \bar{x}_1x_5)\,. \qquad (1.3)$$

Схемы, соответствующие выражениям (1.1–1.3), представлены на рис. 10, *а*, *б* и *в*.

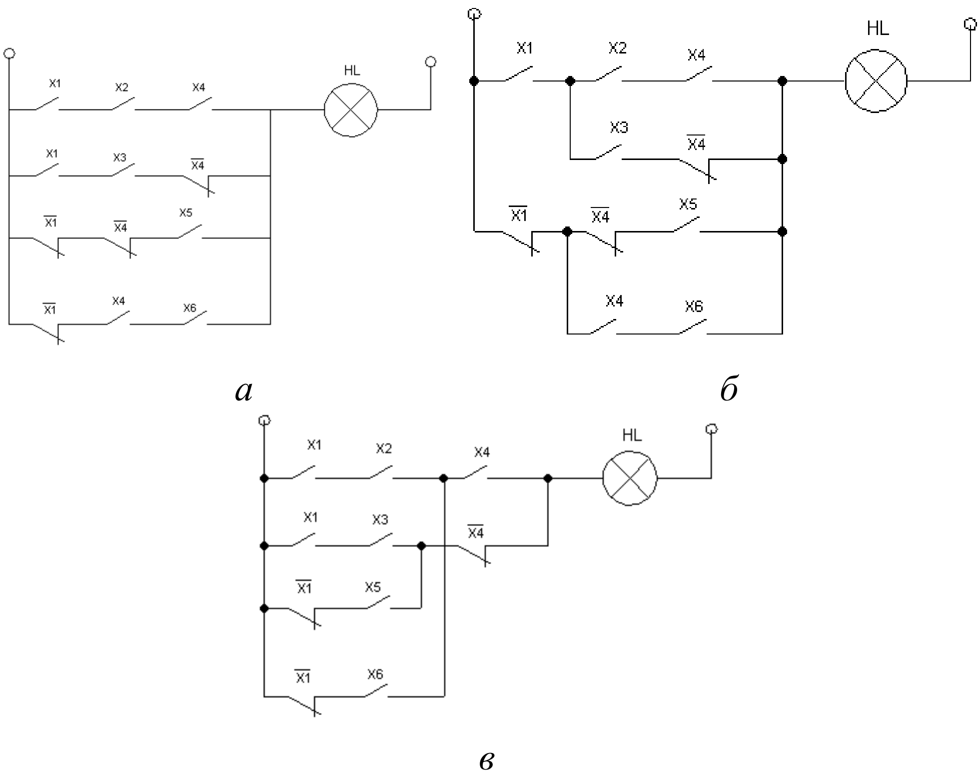


Рис. 10. Варианты представления исходной логической функции y

Анализ схем, представленных на рис. 10, *б* и *в*, показывает, что контакты x_1 и $\bar{x}_1$, x_4 и $\bar{x}_4$ могут быть общими для двух разных цепей, поэтому схема может содержать меньшее число контактов (рис. 11).

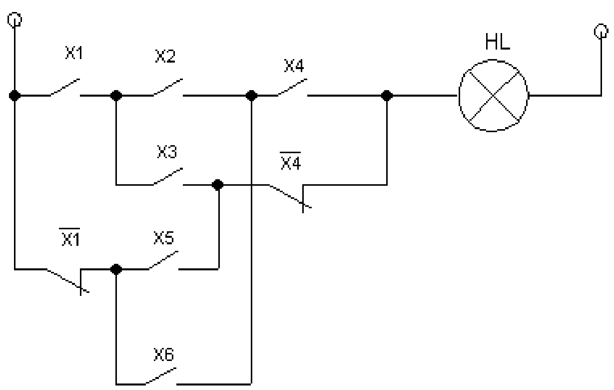


Рис. 11. Схема с объединением контактов

Составим логическое выражение, соответствующее данной схеме:

$$y' = x_1x_2x_4 + x_1x_3\bar{x}_4 + \bar{x}_1\bar{x}_4x_5 + \bar{x}_1x_4x_6 + x_1x_2\bar{x}_4x_5x_6 + \\ + \bar{x}_1x_2x_3x_4x_5 + x_1x_3x_4x_5x_6 + \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4x_6. \quad (1.4)$$

Выражение (1.4) отличается от исходного (1.1) четырьмя последними конъюнкциями, соответствующими так называемым ***ложным цепям***. В ложных цепях ток через контакты x_2, x_3, x_5, x_6 идет навстречу току в этих же контактах при правильной работе цепей. Если бы эти контакты обладали односторонней проводимостью, то ложные цепи прервались бы. Чтобы придать этим контактам одностороннюю проводимость, в цепях постоянного тока применяют вентили $VD1 \dots VD4$ (рис. 12).

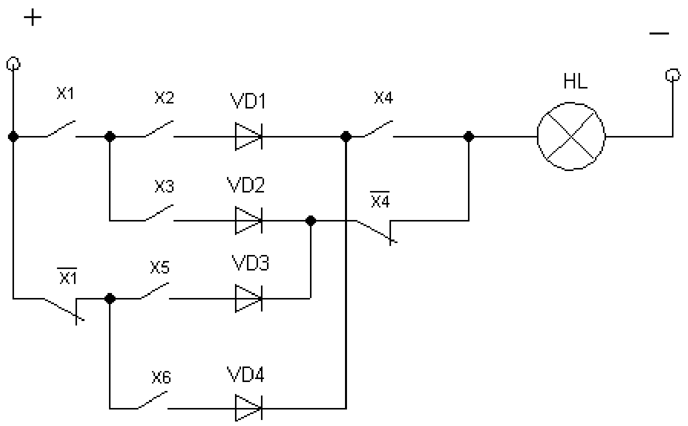


Рис. 12. Параллельно-последовательная схема с вентилями

Рассмотренные схемы называются ***параллельно- последовательными***, или ***схемами класса П***. Они содержат параллельные (соответствующие дизъюнкциям) и последовательные (соответствующие конъюнкциям) цепи.

Для существенного сокращения числа используемых контактов в ряде случаев применяют ***мостиковые схемы***, или ***схемы класса Н***.

Пример мостиковой схемы представлен на рис. 13. В ней параллельные цепи соединяются между собой контактными цепями (см. рис. 13, контакт x_4), через которые ток может проходить в обоих направлениях.

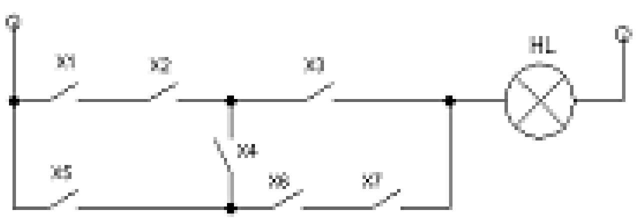


Рис. 13. Мостиковая контактная схема

Логическое выражение для рассматриваемой схемы имеет вид:

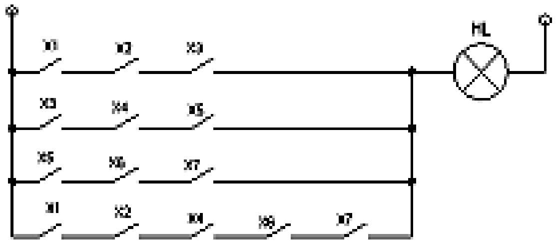
$$y = x_1x_2x_3 + x_3x_4x_5 + x_5x_6x_7 + x_1x_2x_4x_6x_7. \quad (1.5)$$

Это выражение можно представить следующими скобочными формами:

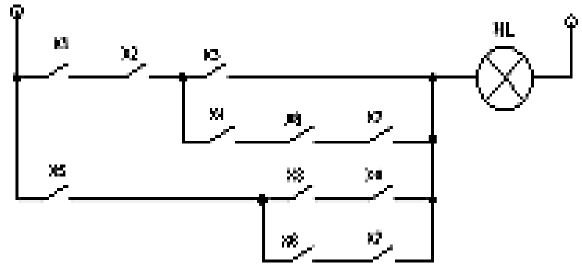
$$y = x_1 x_2 (x_3 + x_4 x_6 x_7) + x_5 (x_3 x_4 + x_6 x_7); \quad (1.6)$$

$$y = x_3 (x_1 x_2 + x_4 x_5) + x_6 x_7 (x_5 + x_1 x_2 x_4). \quad (1.7)$$

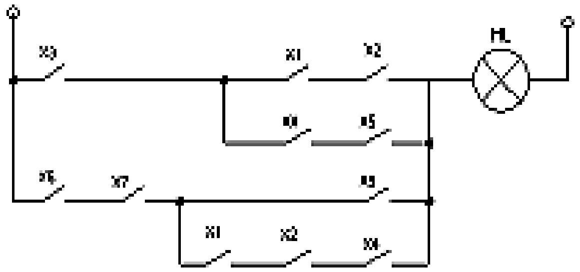
Выражениям (1.5–1.7) соответствуют схемы (рис. 14, *а, б, в*), равносильные схеме на рис. 13, но имеющие большее число контактов.



а



б



в

Рис. 14. Схемы, равносильные исходной

Рассмотрим один из методов построения схем класса Н по логическому выражению.

В схемах можно выделить ***начальные*** и ***конечные цепи***. Так, в схеме на рис. 13 цепи x_1, x_2 и x_5 являются начальными, а x_3 и x_6, x_7 – конечными. Каждая начальная цепь последовательно соединена с каждой из конечных. В то же время начальные цепи не могут быть соединены друг с другом последовательно. Аналогично не соединяются последовательно друг с другом конечные цепи. Следовательно, в каждую конъюнкцию логического выражения, описывающего работу схемы, обязательно входят переменные, соответствующие контактам одной из начальных и одной из конечных цепей. При этом в одну из конъюнкций не могут входить одновременно переменные, соответствующие контактам нескольких начальных или конечных цепей. Так, на основании анализа выражения, записанного в дизъюнктивной нормальной форме, можно выделить начальные и конечные цепи.

Вынесем за скобки все конъюнкции, соответствующие начальным цепям. В скобках при каждой из таких конъюнкций должны содержаться одни и те же буквы. По выражениям в скобках вычерчивается параллельно-последовательная схема и записываются логические выражения, соответствующие условиям замыкания цепей между всеми узлами схемы и ее конечной точкой. При оставшихся начальных цепях находятся узлы, к которым должны быть подключены начальные цепи.

ПРИМЕР 3. Построить схему класса Н, работа которой описывается выражением

$$y = x_1\,\bar{x}_2\,x_3\,\bar{x}_4 + x_3\,\bar{x}_4\,x_5\,x_6 + x_6\,\bar{x}_7\,x_8 + x_1\,\bar{x}_2\,x_5\,\bar{x}_7\,x_8 .$$

Для нахождения начальных и конечных цепей выпишем все входящие в выражение переменные так, чтобы нижерасположенная строка начиналась со следующей по порядку буквы:

$$x_1, \bar{x}_2, x_3, \bar{x}_4, x_5, x_6, \bar{x}_7, x_8;\ \bar{x}_2, x_3, \bar{x}_4, x_5, x_6, \bar{x}_7, x_8;\ x_3, \bar{x}_4, x_5, x_6, \bar{x}_7, x_8;$$

$$\bar{x}_4, x_5, x_6, \bar{x}_7, x_8;\ x_5, x_6, \bar{x}_7, x_8;\ x_6, \bar{x}_7, x_8;\ \bar{x}_7, x_8 .$$

Вычеркнем в каждой строке те буквы, которые входят хотя бы в одну конъюнкцию с буквой первой строки. Тогда в первой строке останутся x_1 и x_6, во второй – $\bar{x}_2$ и x_6, в третьей – x_3, $\bar{x}_7$ и x_8, в четвертой – $\bar{x}_4$, $\bar{x}_7$ и x_8, в пятой – x_5, в шестой – x_6, в седьмой – $\bar{x}_7$. Можно выделить две группы переменных, не входящих в общие конъюнкции. Первую группу составят $x_1, \bar{x}_2$ и x_6, вторую – $x_3, \overline{x_4}, \bar{x}_7$ и x_8. Пусть первая группа переменных составляет начальные цепи, а вторая – конечные. Поскольку переменные x_1 и $\bar{x}_2$ входят в конъюнкции исходного выражения, считаем, что соответствующие им контакты образуют одну начальную цепь, а контакт, обозначенный x_6, – другую. Перепишем исходное выражение, вынося за скобки начальные цепи:

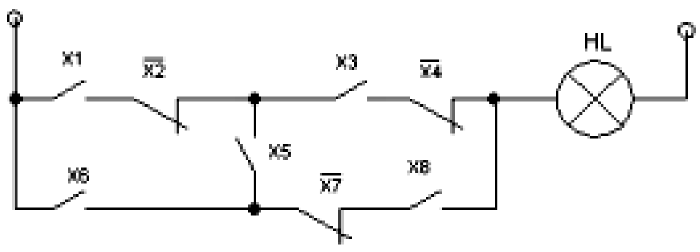
$$y = x_1\bar{x}_2(x_3\overline{x_4} + x_5\bar{x}_7x_8) + x_6(x_3\bar{x}_4x_5 + \bar{x}_7x_8) . \qquad (1.8)$$

В обеих скобках содержатся одни и те же переменные.

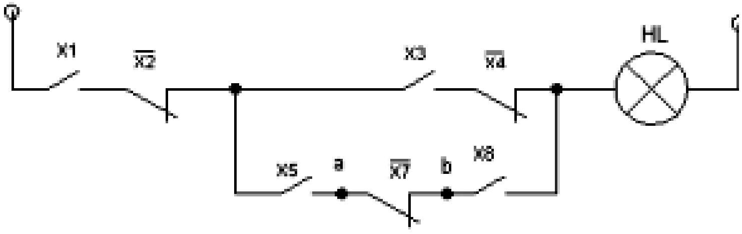
Примем за исходную схему цепи, проходящие через начальную цепь $y = x_1\,\bar{x}_2$:

$$y' = x_1\bar{x}_2(x_3\bar{x}_4 + x_5\bar{x}_7x_8) .$$

Схема, соответствующая этому выражению, представлена на рис. 15, *а*.



а



б

Рис. 15. Построение мостиковой схемы

В ней имеются два внутренних узла (a и b). Составим условия замыкания цепи между этими узлами и конечной точкой c: для узла a – $\bar{x}_4 x_3 x_5 + \bar{x}_7 x_8$, для узла b – $\bar{x}_4 x_3 x_5 \bar{x}_7 + x_8$. Первое из них совпадает с выражением в скобках при начальной цепи x_6 в выражении (1.8). Следовательно, начальная цепь должна быть подключена к узлу a. Вся схема представлена на рис. 15, *б*.

Синтез схем на бесконтактных элементах имеет следующие особенности:

- на бесконтактных элементах могут быть построены только параллельно-последовательные схемы, так как они являются однонаправленными;
- выбранные бесконтактные элементы, как правило, реализуют определенные логические функции, поэтому логические выражения необходимо преобразовать с учетом принятой элементной базы. Преобразование логических выражений с учетом особенностей бесконтактных элементов осуществляется за счет исключения тех логических операций, которые не реализуются выбранными элементами. Для этого используются основные законы и равносильности алгебры логики.

ПРИМЕР 4. По минимизированному логическому выражению $y = (a + \bar{b})(c + d) + \bar{a}b\bar{c}$ составить схему, используя элементы, реализующие функцию И-НЕ.

Преобразуем исходное выражение:

$$y = (a + \bar{b})(c + d) + \bar{a}b\bar{c} = ac + \bar{b}c + ad + \bar{b}d + \bar{a}b\bar{c}.$$

Применим закон двойной инверсии и правило де Моргана:

$$y = \overline{\overline{ac + \bar{b}c + ad + \bar{b}d + \bar{a}b\bar{c}}} = \overline{\overline{ac}\,\overline{\bar{b}c}\,\overline{ad}\,\overline{\bar{b}d}\,\overline{\bar{a}b\bar{c}}}. \quad (1.9)$$

Для получения инверсии переменной воспользуемся соотношением $\bar{a} = \bar{a} + \bar{a} = \overline{aa}$.

На рис. 16 представлена структурная схема, соответствующая выражению (1.9). На основании этого выражения составляется принципиальная схема, в которой учитываются особенности выбранной элементной базы.

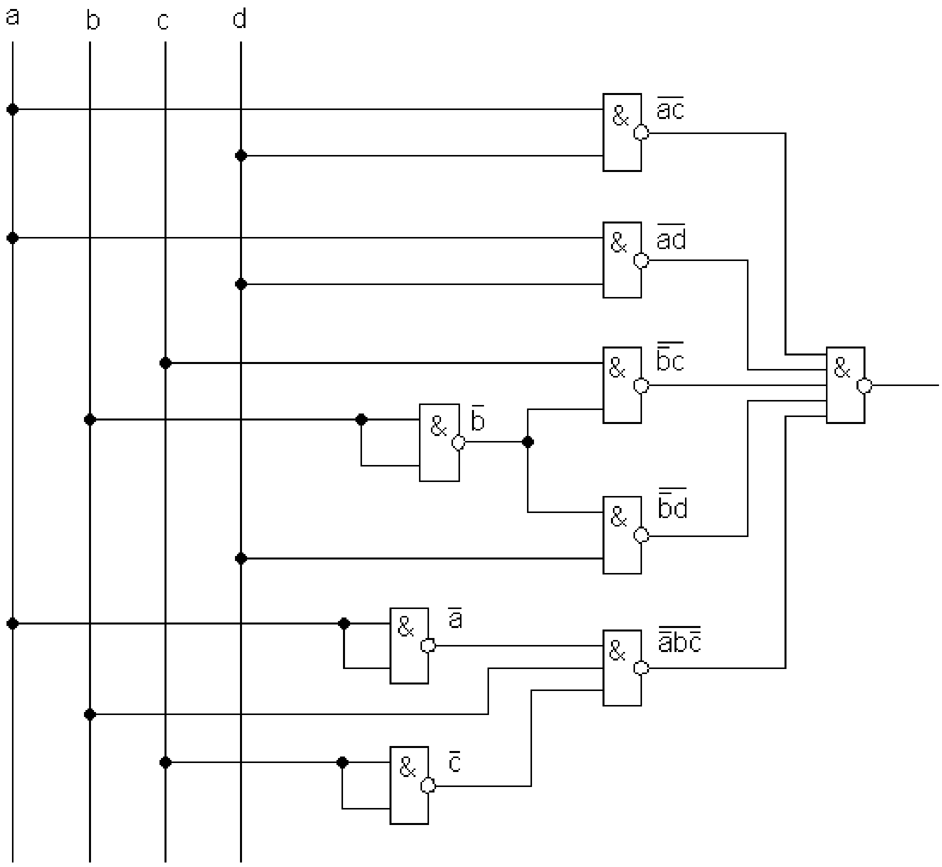


Рис. 16. Структурная схема бесконтактной реализации в базисе И-НЕ

3.2. *Проектирование бесконтактных схем управления на основе релейно-контактных схем*

Замена релейно-контактных схем на бесконтактные позволяет использовать достоинства бесконтактных элементов в сравнении с релейно-контактными: быстродействие и надежность, большой срок службы, небольшие массогабаритные показатели и меньшее потребление электроэнергии.

Недостатком бесконтактных элементов является невозможность обеспечить полную гальваническую развязку коммутируемых цепей в отключенном состоянии. Это связано с тем, что сопротивление полностью выключенного полупроводникового прибора имеет конечное значение. В то же время механические контакты обеспечивают полный разрыв цепи.

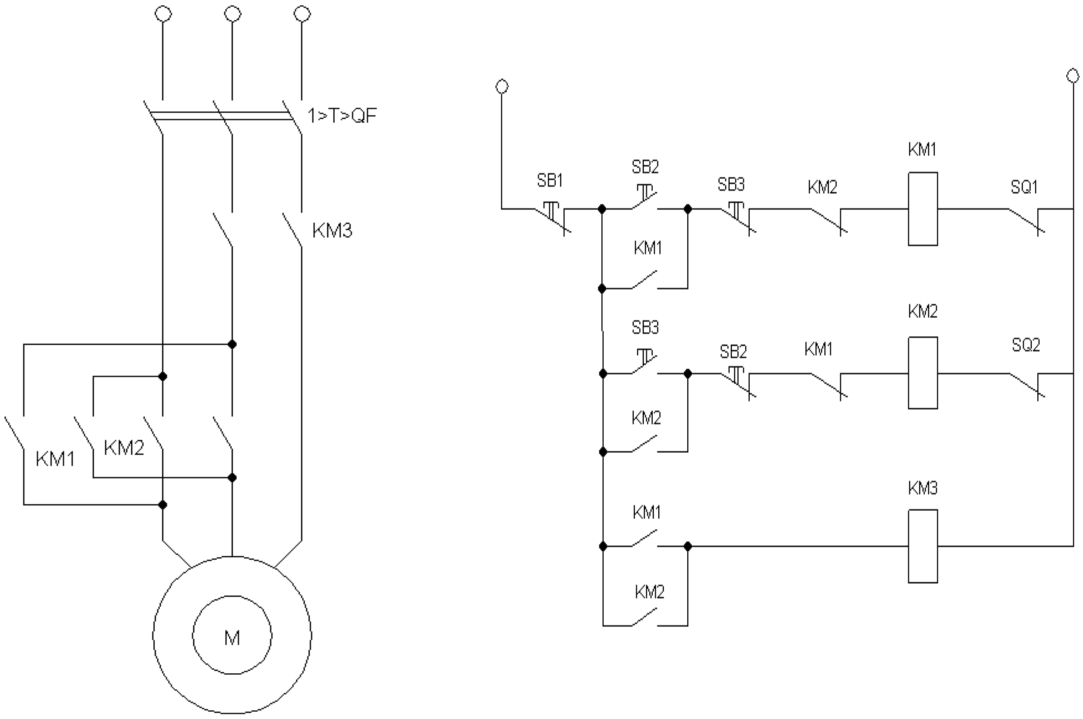
Порядок проектирования бесконтактной схемы на основе релейно-контактной следующий:

1) выявляют и обозначают все входные сигналы (от кнопок управления, конечных выключателей, датчиков, контролирующих процесс, и т. п.) и все выходные сигналы, управляющие исполнительными элементами (контакторами, электромагнитами);

2) составляют алгебраические выражения, соответствующие цепям выходных переменных релейно-контактной схемы.

Алгебраические выражения для схем класса П записываются в нормальной дизъюнктивной или в нормальной конъюнктивной форме либо в скобочной. В схемах класса Н для получения алгебраического выражения сигнала, идущего к определенному элементу, записываются формулы для всех возможных цепей включения этого элемента.

ПРИМЕР 5. Составить структурную схему на бесконтактных логических элементах И-НЕ, соответствующую релейно-контактной схеме, представленной на рис. 17, *а*, *б*.



а *б*

Рис. 17. Исходная релейно-контактная схема:
а – силовая, *б* – управления

Разделим элементы исходной схемы и соответствующие им сигналы на входные и выходные и обозначим их.

Входные сигналы

a – кнопка «Стоп» – *SB*1;
b – кнопка «Вперед» – *SB*2;
c – кнопка «Назад» – *SB*3;
d – конечный выключатель, ограничивающий движение «Вперед», – *SQ*1;
e – конечный выключатель, ограничивающий движение «Назад», – *SQ*2.

Выходные сигналы

X – контактор «Вперед» – $KM1$;
Y – контактор «Назад» – $KM2$;
Z – линейный контактор – $KM3$.

На рис. 18 представлена релейно-контактная схема с учетом принятых обозначений элементов.

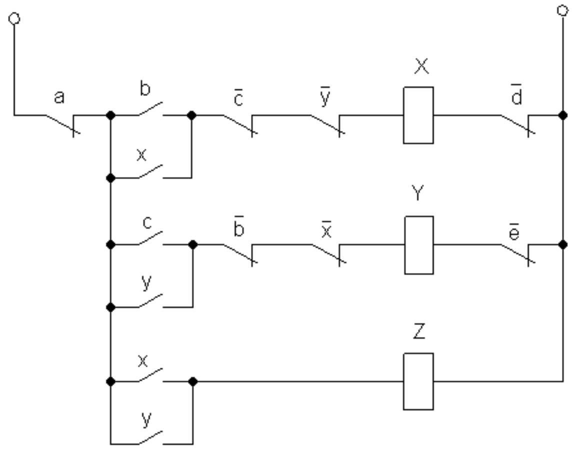


Рис. 18. Релейно-контактная схема с учетом принятых условных обозначений элементов

Составим по данной схеме алгебраические выражения, соответствующие цепям выходных переменных:

$$X = \overline{a}(b + x)\overline{c}\overline{y}\overline{d}\ ;\ Y = \overline{a}(c + y)\overline{b}\overline{x}\overline{e}\ ;\ Z = \overline{a}(x + y). \qquad (1.10)$$

Поскольку эти выражения включают в себя инверсии отдельных переменных и не содержат инверсий конъюнкций или дизъюнкций, они могут быть реализованы в базисе И, ИЛИ, НЕ без каких-либо дополнительных преобразований. Соответствующая структурная схема приведена на рис. 19.

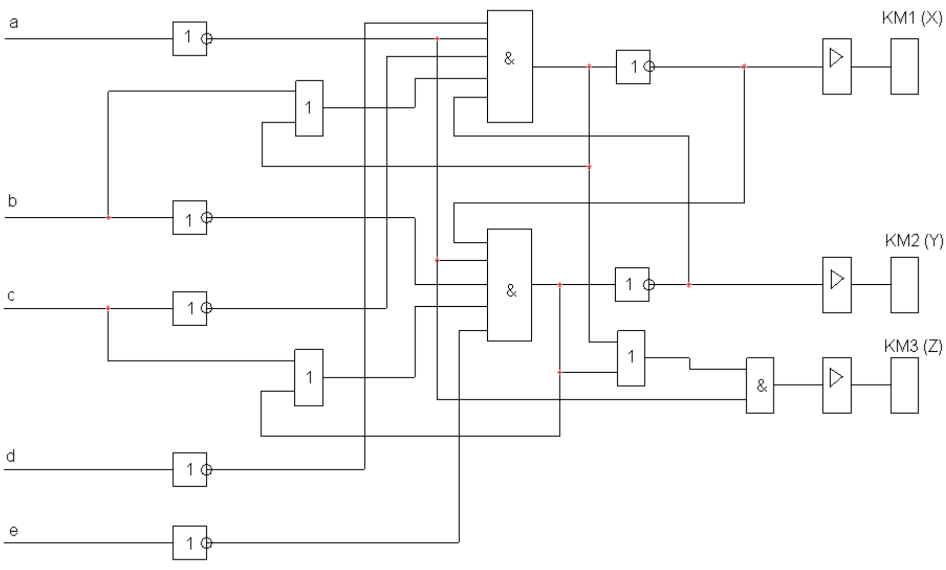


Рис. 19. Структурная схема реализации в базисе И, ИЛИ, НЕ

Проведем преобразование выражения (1.10) в форму, пригодную для реализации в базисе И-НЕ:

$$X = \bar{a}(b+x)\bar{c}\bar{y}\bar{d} = \bar{a}b\bar{c}\bar{y}\bar{d} + \bar{a}x\bar{c}\bar{y}\bar{d} = \overline{\overline{\bar{a}b\bar{c}\bar{y}\bar{d} + \bar{a}x\bar{c}\bar{y}\bar{d}}} = \overline{\overline{\bar{a}b\bar{c}\bar{y}\bar{\bar{d}}} \cdot \overline{\bar{a}x\bar{c}\bar{y}\bar{\bar{d}}}}\,; \quad (1.11)$$

$$Y = \bar{a}(c+y)\bar{b}\bar{x}\bar{e} = \bar{a}c\bar{b}\bar{x}\bar{e} + \bar{a}y\bar{b}\bar{x}\bar{e} = \overline{\overline{\bar{a}c\bar{b}\bar{x}\bar{e} + \bar{a}y\bar{b}\bar{x}\bar{e}}} = \overline{\overline{\bar{a}c\bar{b}\bar{x}\bar{e}} \cdot \overline{\bar{a}y\bar{b}\bar{x}\bar{e}}}\,; \quad (1.12)$$

$$Z = \bar{a}(x+y) = \bar{a}x + \bar{a}y = \overline{\overline{\bar{a}x + \bar{a}y}} = \overline{\overline{\bar{a}x} \cdot \overline{\bar{a}y}}\,. \quad (1.13)$$

Структурная схема, соответствующая выражениям (1.11–1.13), представлена на рис. 20.

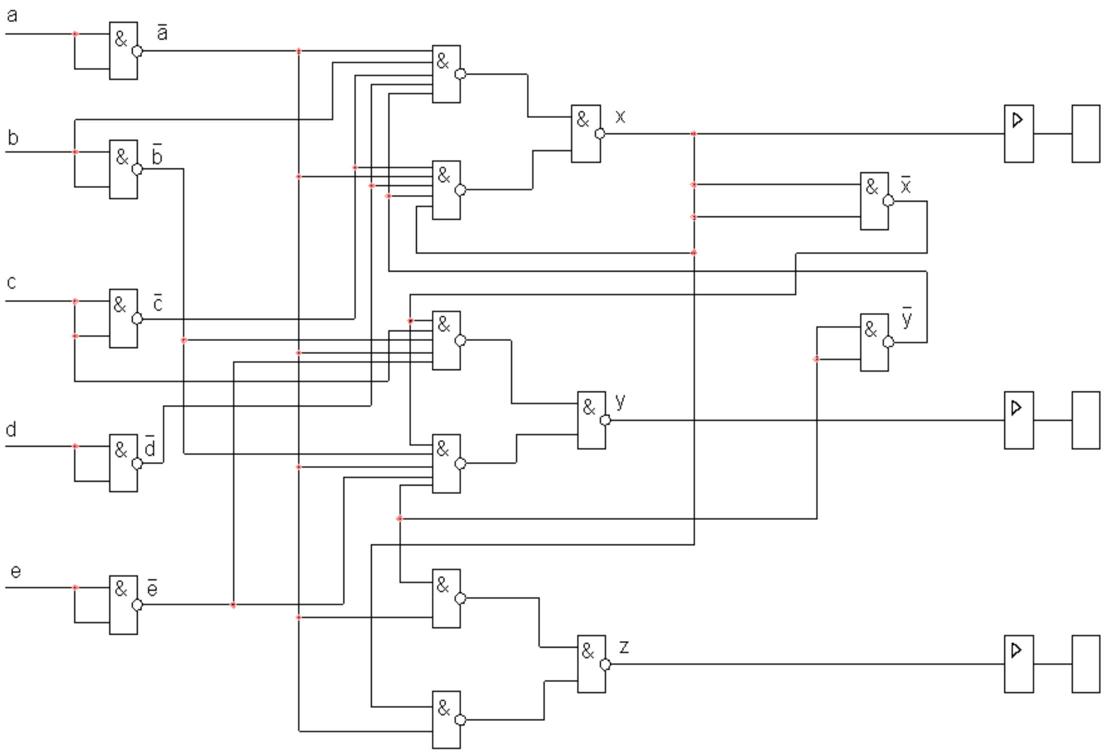


Рис. 20. Структурная схема реализации в базисе И-НЕ

Другой универсальной логической функцией является стрелка Пирса, составляющая собственный базис:

$$y = \overline{a+b}\,.$$

Преобразуем логические выражения для реализации в этом базисе:

$$X = \overline{\overline{\bar{a}b\bar{c}\bar{y}\bar{\bar{d}}} \cdot \overline{\bar{a}x\bar{c}\bar{y}\bar{\bar{d}}}} = \overline{\bar{\bar{a}} + \bar{b} + \bar{\bar{c}} + \bar{\bar{y}} + \bar{\bar{\bar{d}}}} + \overline{\bar{\bar{a}} + \bar{x} + \bar{\bar{c}} + \bar{\bar{y}} + \bar{\bar{\bar{d}}}}\,.$$

По закону двойной инверсии можно записать так:

$$X = \overline{\overline{\overline{a + \bar{b} + c + y + d} + \overline{a + \bar{x} + +c + y + d}}}\,;$$

$$Y = \overline{\overline{\bar{a}c\bar{b}\bar{x}\bar{e}} \cdot \overline{\bar{a}y\bar{b}\bar{x}\bar{e}}} = \overline{\bar{\bar{a}} + \bar{c} + \bar{\bar{b}} + \bar{\bar{x}} + \bar{\bar{e}}} + \overline{\bar{\bar{a}} + \bar{y} + \bar{\bar{b}} + \bar{\bar{x}} + \bar{\bar{e}}} = \overline{\overline{\overline{a + \bar{c} + b + x + e} + \overline{a + \bar{y} + b + x + e}}};$$

$$Z = \overline{\overline{\bar{a}x} \cdot \overline{\bar{a}y}} = \overline{\bar{\bar{a}} + \bar{x}} + \overline{\bar{\bar{a}} + \bar{y}} = \overline{\overline{\overline{a + \bar{x}} + \overline{a + \bar{y}}}}\,.$$

Реализация этих выражений приведена на рис. 21.

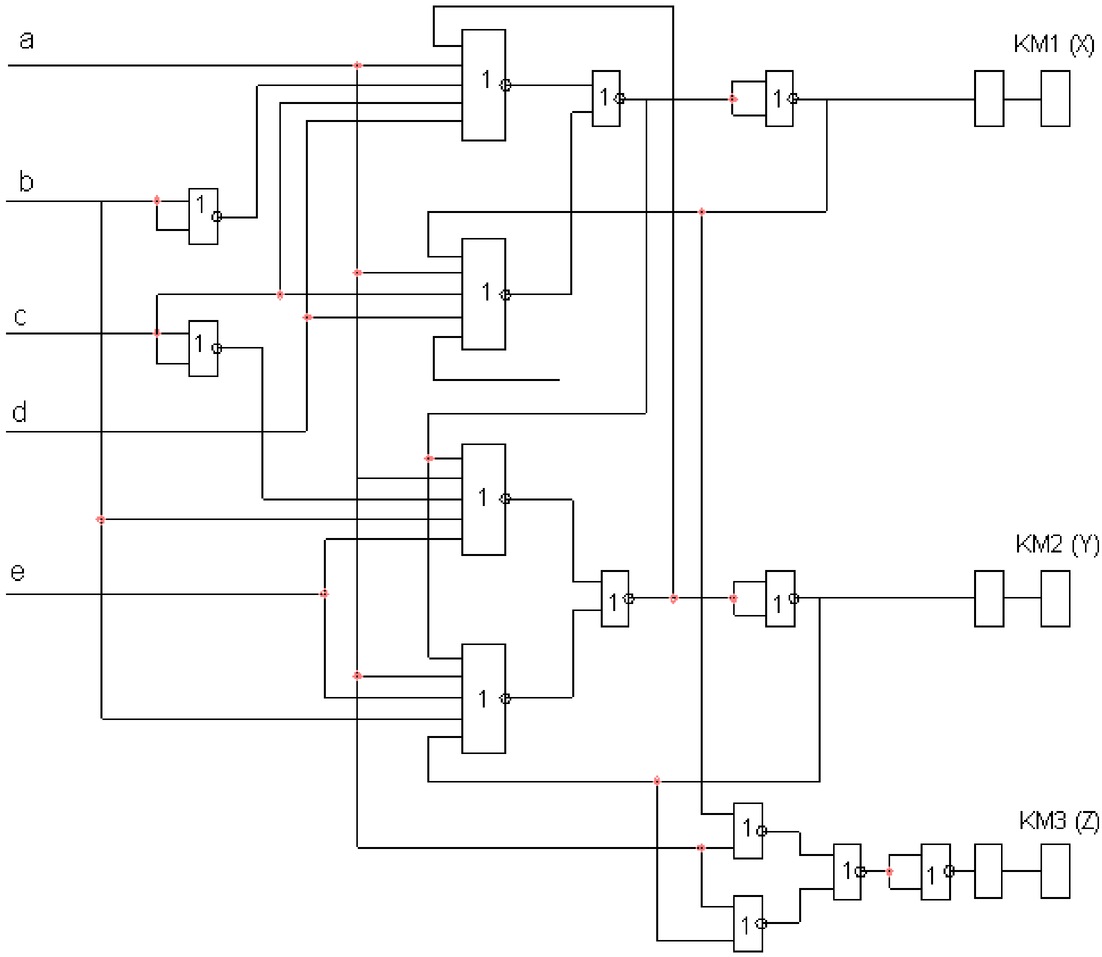


Рис. 21. Структурная схема реализации в базисе ИЛИ-НЕ

Принципиальная схема составляется на основании этой схемы с учетом условий включения бесконтактных элементов.

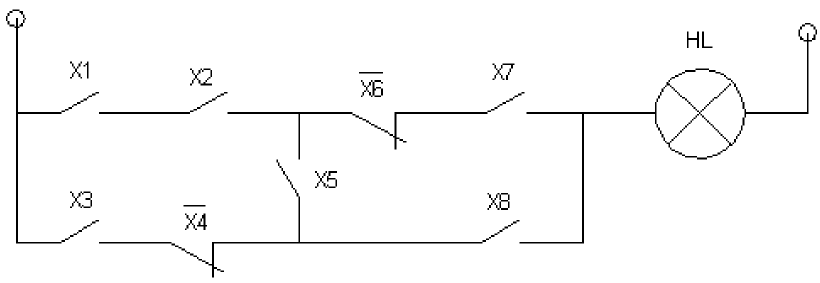
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как осуществляется синтез систем автоматического управления на контактных и бесконтактных элементах?

2. Преобразуйте функцию в скобочную форму:

$$y = x_1\bar{x}_2x_4 + x_4\bar{x}_5x_6 + x_1x_3\bar{x}_5 + \bar{x}_2x_5x_6 .$$

3. Составьте алгебраическое выражение для мостиковой схемы, приведенной ниже.



4. Преобразуйте логическое выражение $y = (a\bar{b} + c)(d + \bar{a}e) + a\bar{b}d$ с учетом применения элементов, реализующих функцию И-НЕ.

5. Поясните принцип действия схемы, представленной на рис. 17.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галушкина Ю.И. Конспект лекций по дискретной математике [Текст]. М.: Айрис-Пресс, 2008.

2. Зельдин Е.А. Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной аппаратуре [Текст]. Л.: Энергоатомиздат, 1986.

3. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника [Текст]. М.: Гелиос АРВ, 2002.

4. Лобанов В.И. Азбука разработчика цифровых устройств [Текст]. М.: Горячая Линия-Телеком, 2001.

5. Потёмкин И.С. Функциональные узлы цифровой автоматики [Текст]. М.: Энергоатомиздат, 1988.

6. Предко М. Всё о цифровой электронике [Текст]. М.: НТ Пресс, 2007.

7. Пухальский Г.И., Новосельцева Т.Я. Цифровые устройства [Текст]. СПб.: Политехника, 1996.