

Ц, 841a

2/10-66

H-626

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2800



Н.М. Никитюк

К ВОПРОСУ О СИНТЕЗЕ СХЕМ
НА ФЕРРИТОВЫХ КОЛЬЦАХ
СО СЧИТЫВАНИЕМ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1966

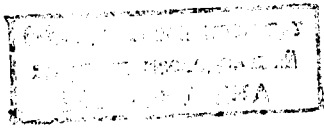
2800

Н.М. Никитюк

К ВОПРОСУ О СИНТЕЗЕ СХЕМ
НА ФЕРРИТОВЫХ КОЛЬЦАХ
СО СЧИТЫВАНИЕМ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

4106/1 49.

Направлено в журнал "Автоматика и телемеханика"



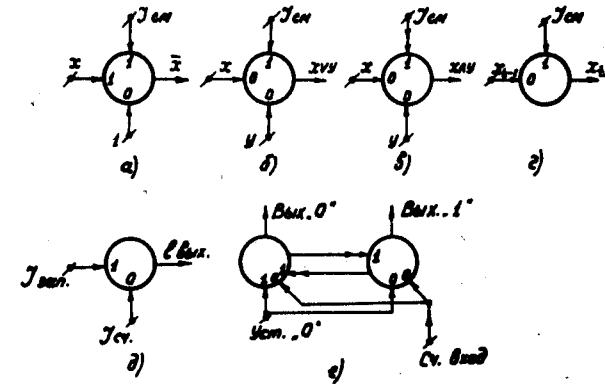
Схемы с применением ферритовых колец с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ) нашли широкое применение в различных устройствах автоматики и вычислительной техники. Однако быстродействие таких схем определяется в основном не временем перемагничивания ферритовых колец (это время может составлять теоретически десятки наносекунд при больших переключающих полях порядка 1000 э), а допустимой мощностью рассеяния и быстродействием применяемых в схемах транзисторов, а также типом четырехполюсников связи между элементами. Кроме того, наибольшее распространение в логических схемах получили элементы на ферритовых кольцах, в которых для получения результатов даже простейших операций ("и", "или" и др.) необходимо предусматривать дополнительный такт считывания^{/1/}. Имеются также одноктактные элементы и схемы, в которых в качестве элементов задержки применяются, например, цепочки из емкостей и индуктивностей^{/4,5,7/}. Однако все эти факторы в значительной степени снижают быстродействие схем, содержащих ферритовые кольца. Большой практический интерес представляет разработка ферротранзисторных схем, работающих с тактовой частотой свыше 1 МГц и со временем переключения менее 0,5 мксек. Очевидно, что быстродействие ферротранзисторных схем может быть увеличено следующими методами: а) применением высокочастотных импульсных транзисторов; б) применением малогабаритных ферритовых колец, изготовленных специально для переключающих схем; в) рациональным выбором функционально полной системы элементов.

В связи с изложенным значительный интерес представляют ферротранзисторные схемы со считыванием постоянным током. Схемы и элементы на ферритовых кольцах со считыванием постоянным током нашли применение в матричных устройствах дешифраторов, а также в некоторых управляющих схемах^{/3,8,9,11/}. Цель данной работы состоит в том, чтобы составить один из вариантов функционально полной системы элементов на ферритовых кольцах со считыванием постоянным током и на его основе провести синтез некоторых схем дискретной техники. В дальнейшем мы будем называть эти элементы одноктактными ферритовыми элементами (ОФЭ). При помощи ОФЭ можно образовать функционально полную систему быстродействующих элементов, отличающуюся простотой, причем синтез схем на таких элементах совпадает с синтезом схем на электронных лампах и полупроводниковых приборах. Известно^{/1/}, что для синтеза схем цифровых вычислительных машин (ЦВМ) на электронных лампах и полупроводниковых приборах наиболее рациональна функционально полная система переключаемых функций, которая включает:

- инверсию переменной,
- дизъюнкцию,
- конъюнкцию,
- константу нуля,
- константу единицы,
- переменную x .

Рассмотрим реализацию первых 3-х переключательных функций на одноконтурных ферритовых элементах. Условимся считать, что наличие сигнала соответствует коду "1", а отсутствие сигнала - коду "0". Операция инверсии переменной в таком случае выполняется чрезвычайно просто (рис. 1а). Инвертор имеет четыре обмотки: входную, выходную, обмотку смещения и четвертую обмотку для подачи сигнала константы единицы (тактовый импульс). Заметим, что обмотки смещения и тактовых импульсов включены таким образом, что если сигнал на входе отсутствует (т.е. $x = 0$), то на выходе появится инвертированный сигнал $\bar{x} = 1$. Если же входной сигнал $x = 1$, то он компенсирует действие тактового импульса и на выходе сигнал будет отсутствовать. Предполагается, что сигнал переменной x и тактовый сигнал совпадают во времени. Цифры "0" или "1" около стрелок означают, что соответствующий сигнал намагничивает кольцо в состояние "0" или "1". Элементы, выполняющие функции дизъюнкции и конъюнкции двух переменных, имеют одинаковую структуру; отличие состоит лишь в величине намагничивающей силы (н.с.) смещения (на рисунке этот факт отмечен двойными стрелками). Если величина н.с. смещения такова, что сигнал на выходе появится при подаче сигнала хотя бы на один из входов, то элемент будет выполнять дизъюнкцию (рис. 1б), если же величину н.с. задать такой, что сигнал на выходе появится в случае совпадения во времени и по направлению двух сигналов на входе, то данный элемент будет выполнять конъюнкцию двух переменных. Выполнение операции дизъюнкции на ферритовом кольце со считыванием постоянным током, как известно, имеет тот недостаток, что длительность выходного сигнала меняется в зависимости от того, поступили ли сигналы на входы одновременно или нет.

Однако в большинстве практических случаев после сборки, как правило, ставят усилители. Если на входе такого усилителя поместить формирующую цепочку на туннельном диоде (как показано на рис. 3), то в этом случае длительность сигнала на выходе усилителя не будет зависеть от количества одновременно совпадающих сигналов на входе сборки, а будет определяться в основном величиной индуктивности L . Известно, что набор элементов "и", "или", "не", включающий в себя триггер со счетным входом или элемент задержки, позволяет строить любые схемы преобразования информации ЦВМ (в том числе и схемы, способные запоминать информацию). Однако для получения более гибкой системы элементов включим в эту систему элемент задержки, триггер со счетным входом и запоминающий элемент. Задержка на величину тактового импульса получается довольно просто на основе генератора единиц^{1/1}. Величину смеще-



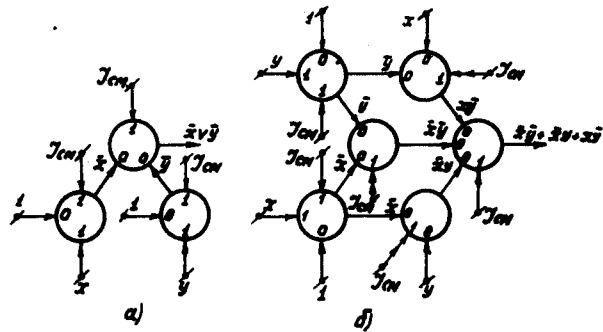
Р и с. 1.

Обозначение ОФЭ на функциональных схемах: а) инвертор; б) схема "или"; в) схема "и"; г) элемент задержки; д) запоминающий элемент; е) триггер со счетным входом.

ния можно задать такой, чтобы после прихода на вход импульса на выходе получался двуполярный импульс, вторая половина которого будет сдвинута на величину входного импульса. Элемент задержки реализует функцию $x_{t-1} = x_t$, т.е. выходной сигнал в некоторый момент времени t равен входному сигналу, поступившему на эту схему в момент времени $t-1$. В качестве триггера со счетным входом выбрана схема с преобладанием, состоящая из двух ферротранзисторных ячеек^{15/}, не требующая тактовых импульсов (рис. 1е). Двойные стрелки означают преобладание выходного сигнала над сигналом считывания, поступившим на счетный вход, чем обеспечивается надежный перевод триггера из одного состояния в другое. Что касается запоминающего элемента, то последним служит само ферритовое кольцо, имеющее обмотки записи, считывания и выходную обмотку. С точки зрения функции логики запоминающий элемент выполняет роль долговременной задержки. Таким образом, имеется функционально полный набор элементов на ферритах со считыванием постоянным током, который позволяет реализовать любые схемы преобразования информации. Рассмотрим несколько примеров.

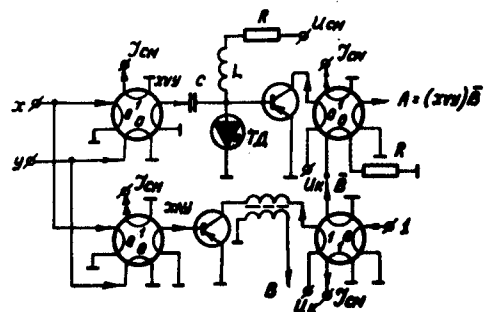
1. Реализация функции Шеффера. Эта переключательная функция обладает свойством функциональной полноты и, следовательно, любая сложная схема (исключая схемы для преобразования информации) может быть построена из однотипных элементов, реализующих эту функцию). На рис. 2 показана схема, выполняющая штрих Шеффера, представленный в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы и совершенной конъюнктивной нормальной формы. Очевидно, что результат операции получается без дополнительного такта считывания.

2. Одноразрядный сумматор комбинационного типа (рис. 3). Эта схема реализует совокупность функций $A = (xy)\bar{B}$ и $B = xy$. Результат операции получается лишь с задержкой, определяемой самой схемой.



Р и с. 2

Реализация функции Шеффера, представленной а) в виде совершенной конъюнктивной нормальной формы; б) в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы.



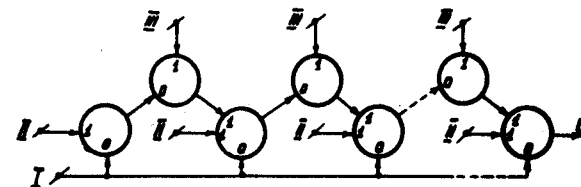
Р и с. 3

Одноразрядный сумматор комбинационного типа.

3. Однотактный регистр сдвига (вправо). Пусть x_{on} означает содержимое n -го разряда регистра при параллельной записи в него чисел x , а $y_{1(t+1)}^n$ означает содержимое этого разряда. Импульсы сдвига x_n поступают одновременно на все разряды регистра. Тогда содержимое n -го разряда регистра сдвига можно определить из формулы:

$$y_{1(t+1)}^n = x_{on} \vee x_n \cdot y_{1t}^{n+1}$$

Эту переключательную функцию можно реализовать функциональной схемой, содержащей запоминающие элементы и элементы задержки. На рис. 4 показана функциональная схема однотактного регистра сдвига, где на вход I поступают импульсы сдвига, на входы II — параллельная запись кода числа, а на входы III — ток смещения. Нижний ряд колец служит в качестве запоминающих элементов, а верхний ряд выполняет роль задержек межразрядных импульсов переноса. С выхода IV снимается результат сдвига.



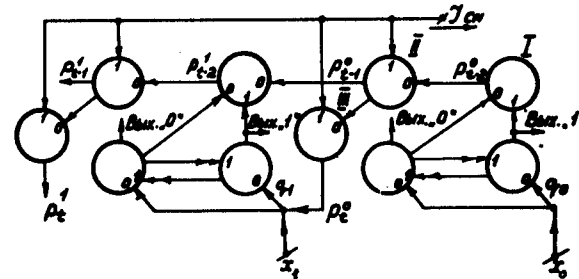
Р и с. 4

Однотактный регистр сдвига.

4. Наконец, проведен синтез двухразрядного сумматора параллельного действия, на вход которого одновременно поступают два разряда x_0 и x_1 двоичного числа (рис. 5). Этот код числа суммируется с двоичным числом $y_0 \cdot y_1$, которое хранится в сумматоре. Если обозначить через q_0 и q_1 счетные входы триггеров сумматора, а через p — перенос, то функции возбуждения триггеров двухразрядного сумматора параллельного действия со сквозным переносом можно записать в виде:

$$q_0 = x_0; \quad q_1 = x_1 \vee p_1^0; \quad p_{t-2}^0 = x_0 y_0; \quad p_{t-1}^0 = p_{t-2}^0;$$

$$p_{t-2}^1 = x_1 y_1 p_{t-1}^0 \vee x_1 \bar{y}_1 p_{t-1}^0 \vee \bar{x}_1 y_1 p_{t-1}^0 \vee x_1 y_1 \bar{p}_{t-1}^0;$$



Р и с. 5

Двухразрядный параллельный сумматор с автоматическим переносом.

Сигнал переноса возникает в том случае, когда происходит переброс триггера из состояния "1" в состояние "0". Этот сигнал снимается с выхода запоминающего элемента I и после элемента задержки II с одной стороны по цепи сквозного переноса поступает в цепь следующего разряда, а с другой - через дополнительную задержку III по цепи поразрядного переноса также поступает на счетный вход этого разряда и т.д. Нетрудно заметить, что операция сложения выполняется автоматически после поступления кода второго слагаемого. Как видно из рисунка, функциональная схема сумматора имеет простую структуру: всего 5 ферритовых колец на один разряд, а для реализации принципиальной схемы необходимо еще максимум четыре транзистора на разряд. Применение задержки на ферритовом кольце с подмагничиванием в схеме сумматора имеет несомненное преимущество по сравнению с описанной в [4] схемой сумматора на ферритах, в которой для получения задержки на величину импульса используется дифференцирующая цепочка типа RC на входе триггера. Для оценки быстродействия схем из ОФЭ рассмотрим принципиальную схему одного разряда одноканального регистра сдвига (рис. 6). Импульс переноса, возникающий в предыдущем разряде после усиления, подается на вход элемента задержки, на выходе которого при этом появляется двупольный импульс, первая половина которого, как видно из рисунка, совпадает по направлению и практически во времени с тактовым импульсом, а вторая - производит запись единицы в следующий разряд. Воспользуемся соотношением [11]:

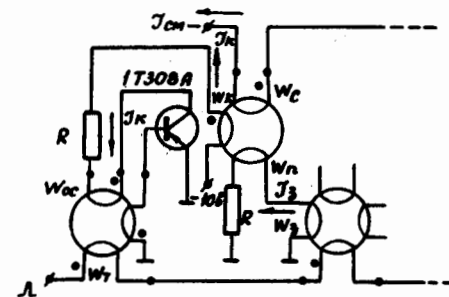
$$I_w = \frac{S_w \cdot 2\pi I_0}{r} \quad (1),$$

которое справедливо при перемангничивающих полях $H \gg H_0$, где H_0 - коэрцитивная сила. Здесь приняты обозначения: r_0 - средний радиус ферритового кольца, r - время перемангничивания, S_w - коэффициент переключения, I - ток в намагничивающей обмотке, w - количество витков.

Для определенности выберем высокочастотный импульсный транзистор 1Т308А и ферритовое кольцо марки 0,16 ВТ с размерами $2 \times 1,4 \times 1$ мм, у которого $S_w = 0,35$ мкк/см. Допустим, что мы хотим получить время перемангничивания ферритового кольца $r = 0,3$ мксек, тогда из соотношения (1) можно определить необходимую для этого величину ампервитков:

$$I_w = \frac{0,35 \cdot 0,53}{0,3} = 0,64 \text{ ав.}$$

Для экономичной работы схемы величину тока смещения следует задать такой величины, чтобы ферритовое кольцо элемента задержки перемангничивалось не полностью и в то же время вторая половина импульса переноса должна быть достаточной величины для записи единицы. Если допустить, что вся н.с. коллекторной цепи транзистора затрачивается на преодоление н.с. цепи смещения, то тогда



Р и с. 6

Принципиальная схема одного разряда одноканального регистра сдвига.

$$I_k w_k = I_0 w_0 \quad (2)$$

И, наконец, запишем еще одно очевидное соотношение:

$$I_0 w_0 = I_3 w_3 + \frac{(S_w + H_0 \cdot r) \ell}{r} \quad (3)$$

где $H_0 = 0,6 \frac{a}{\text{см}}$ - пороговая напряженность поля, определяемая из характеристики $\frac{1}{r} = f(H)$, ℓ - средняя длина ферритового кольца. Из равенств (2) и (3) имеем

$$I_k w_k = I_3 w_3 + \frac{(S_w + H_0 \cdot r) \ell}{r} \quad (4)$$

Положим $I_w = 0,64$ а, тогда из равенства (4) можно определить величину ампервитков $I_k w_k$, которую необходимо создать для надежной записи единицы переноса:

$$I_k w_k = 0,64 + \frac{(0,35 + 0,6 \cdot 0,3) \cdot 0,53}{0,3} = 1,55 \text{ ав.}$$

При длительности импульса 0,3 мксек и частоте 500 кгц величина тока в импульсе I_k у транзистора 1Т308А может составлять 0,25 а (напряжение питания $E_k = 10$ в), отсюда, $w_k = 6$ витков, а величина тока смещения при $w_0 = 10$ вит-

кам составляет 150 мА. Необходимо отметить, что при оценке быстродействия схем на ферротранзисторных элементах необходимо учитывать режим работы схемы. Например, в устройствах ЦВМ схемы работают непрерывно во время работы машины. В других устройствах, например, в приборах ядерной электроники и др., средняя частота обращения может быть сравнительно низкой из-за наличия "темного" периода, а основным параметром является скорость записи однократных процессов, разделенных сравнительно большим промежутком времени. Подсчитаем мощность, которая рассеивается на коллекторе транзистора 1Т308А в регистре сдвига при частоте $f = 500$ кГц, длительности импульса коллекторного тока $t_k = 0,4$ мксек и длительности переднего и заднего фронтов $t_n = t_z = 0,1$ мксек. Воспользуемся соотношением из работы [10], предполагая, что напряжение коллектор-эмиттер в открытом состоянии равно нулю, тогда

$$P_k = f \cdot r_k \cdot I_k \frac{E_k (r_n + r_e)}{6r_k} = 500 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \frac{10 \cdot 0,2}{6 \cdot 0,3} = 60 \text{ мВт.}$$

По справочным данным, максимально допустимая мощность рассеяния на коллекторе транзистора 1Т308 составляет 150 мВт. Таким образом, применяя высокочастотные импульсные транзисторы в ферритовых схемах, можно получать импульсы с крутыми фронтами и тем самым значительно сократить мощность рассеяния на коллекторах транзисторов. Если схему регистра использовать в качестве кольцевого делителя частоты, то очевидно, что частота переключения транзисторов в схеме будет составлять $\frac{f}{n}$, где n — коэффициент деления, и поэтому тактовая частота может быть увеличена до 1 МГц и более. В этом случае тактовые импульсы можно формировать на транзисторах П605-П608. Необходимо подчеркнуть, что в данной работе приведены лишь предварительные данные о быстродействии ферротранзисторных схем. Для более детального изучения частотных возможностей ферротранзисторных схем необходимо учитывать не только перегрев транзисторов, но также и перегрев ферритовых колец и конкретные условия, в которых работает схема. Экспериментальный образец 10-разрядного одноктактного регистра сдвига, собранный автором, показал высокую надежность в работе при частоте 500 кГц в непрерывном режиме сдвига кода числа, содержащего все единицы, с длительностью импульсов сдвига 300 нсек. Схема работает устойчиво при изменении питающих напряжений до $\pm 20\%$.

З а к л ю ч е н и е

1. Из элементов на ферритовых кольцах со считыванием постоянным током можно составить функционально полную систему элементов, которая позволяет производить синтез простых, быстродействующих и надежных схем и узлов ЦВМ, причем синтез схем из ОФЭ совпадает с синтезом схем на лампах и полупроводниковых приборах.

2. Быстродействие схем из ОФЭ зависит от применяемых типов ферритовых колец, размеров, а также от быстродействия транзисторов в схеме. Тактовая частота может достигать 1 МГц и выше при длительности тактовых импульсов порядка 200-300 нсек.

3. Данные эксперимента подтверждают высокое быстродействие и надежность устройств, построенных на основе ОФЭ. Есть основания считать, что дальнейшее развитие полупроводниковой техники и технологии изготовления миниатюрных ферритовых колец (диаметром до 1 мм) для переключательных схем позволит в ближайшее время создавать схемы и узлы дискретной техники со временем переключения до 100 нсек и меньше. Таким образом, несмотря на успешное развитие техники тонких магнитных пленок, ферритовые кольца, благодаря их низкой стоимости и технологичности, будут и в дальнейшем находить широкое применение в быстродействующих устройствах дискретной техники.

Л и т е р а т у р а

1. Е.Н. Вавилов, Г.П. Портной. Синтез схем электронных цифровых машин. Изд. "Советское радио", Москва, 1963.
2. Д.А. Поспелов. Логические методы анализа и синтеза схем. Изд. "Энергия", 1964.
3. Ю.М. Шамаев. Магнитные накопительные и логические элементы цифровых устройств. Сборник "Магнитные цифровые элементы". Изд. "Наука", Москва, 1965.
4. М.И. Петрухин. Элементы и блоки одноктактного арифметического устройства цифровой вычислительной машины на феррит-транзисторных ячейках. Журнал "Автоматика и телемеханика", том XXII, № 2, 1961.
5. Е.И. Гурвич и Л.Б. Шукин. Ферротранзисторные элементы и их применение в цифровых автоматических устройствах. Госэнергоиздат, 1963.
6. Л.П. Афиногенов. О реализации логических функций ферритовыми схемами. Научно-технический информационный бюллетень № 8, "Электротехника", Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, Ленинград, 1960.
7. Я.Г. Кобленц. Построение и анализ одноктактных магнитных логических и триггерных коммутационных схем. "Электросвязь", 1959, т. III, № 3.
8. В.А. Леоконе. Одноктактная схема управления на магнитных сердечниках без емкостей в цепи связи между ячейками. Бюллетень изобретений, № 20, 1959, класс 42м, 14, № 123349.
9. Н.М. Никитюк. Быстродействующие одноктактные ферротранзисторные регистры. Препринт ОИЯИ, 2501, Дубна, 1966.
10. И.П. Ионов. Основы расчета и проектирования магнито-полупроводниковых элементов. Изд-во МЭИ, Москва, 1965.
11. А.П. Шорыгин. Магнитные элементы цифровых вычислительных машин. Изд. "Высшая школа", Москва, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 марта 1966 г.