

**С.П. МАСЛОВ**

## **ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТРОИЧНО-КОДИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Использование разнообразных преимуществ трехзначной логики и троичного кода в цифровых устройствах [1] наталкивается на определенные трудности, связанные, в частности, с осуществлением функций хранения троично-кодированной информации.

В предлагаемой работе рассматриваются некоторые вопросы построения троичных запоминающих устройств и перевода троично-кодированной информации в двоично-кодированную, чтобы использовать двоичные ЗУ в составе троичной вычислительной машины.

В основу попыток реализации троичных запоминающих устройств можно положить следующие соображения:

**1.** Многие элементы, которые обычно применяются для реализации функций хранения двоично-кодированной информации, не являются по своей природе сугубо двоичными. Возможность получения третьего состояния обуславливается тем, что кроме обычных состояний, различающихся, вообще говоря, знаком той или иной физической величины (остаточной намагниченности, фазы колебания, полярности напряжения, направления тока и пр.), существует состояние, характеризующееся равенством нулю этой величины (размагниченность, отсутствие колебания, отсутствие тока, равенство нулю напряжения и пр.). В ряде случаев третье состояние удастся использовать [2, 3, 4].

**2.** Стремление повысить надежность и устойчивость работы двоичных ЗУ, снизить требования к однородности составляющих их компонент, уменьшить влияние окружающих условий (таких, например, как температура) обуславливает использование так называемых компенсационных элементов. В качестве компенсационных элементов обычно применяются элементы, аналогичные или тождественные рабочим. В результате имеет место возрастание количества оборудования, приходящегося на один двоичный разряд, приблизительно вдвое. Двоичные устройства, в которых содержатся компенсационные элементы, в некоторых случаях удастся модифицировать таким образом, что они становятся пригодными для хранения информации, представленной в троичном коде [5, 6, 7]. При этом компенсационный элемент выполняет функцию хранения  $-1$ , подобно тому как рабочий служит для хранения  $1$ . Троичный  $0$  представляется одинаковым состоянием обоих элементов. Эти состояния могут, вообще говоря, быть любыми: совпадающими с состоянием при хранении  $1$  и  $-1$ , противоположными ему и промежуточными.

**3.** Троичная модификация двоичного ЗУ с двумя элементами на разряд может осуществляться и другим способом. При представлении троичного разряда посредством двух двоичных (двузначных компонент) они могут быть выбраны таким образом, чтобы не принимать одновременно значение  $1$ . Это обстоятельство позволяет ограничиться одним компенсационным элементом на два рабочих. В результате происходит возрастание количества оборудования (на разряд) приблизительно в  $1,5$  раза.

4. Соображения, приведенные в п. 3, могут также быть распространены на запоминающие устройства, в которых рабочие функции осуществляются не отдельными деталями, а путем использования какой-либо непрерывной среды (например, магнитной поверхности). Тот факт, что элементы используемой среды, предназначенные для хранения двузначных компонент троичного разряда, имеют ограниченное число комбинаций состояний, позволяет не предъявлять к размещению этих элементов требований, которые оправданы в соответствующем двоичном устройстве.

Основываясь на изложенном, можно предложить следующую классификацию ЗУ, предназначенных для хранения троично-кодированной информации, по эффективности использования оборудования. Классификация включает в себя три категории запоминающих устройств.

К первой категории относятся ЗУ, принцип действия которых основан на использовании третьего состояния, присущего некоторым запоминающим элементам. Эффективность использования оборудования в устройствах этого типа определяется отношением количества разрядов, требуемых для представления чисел с одинаковой точностью в троичном и двоичном кодах, и на 59% выше, чем в двоичных ЗУ, выполненных на аналогичных элементах.

Вторую категорию составляют троичные запоминающие устройства на элементах, сложность которых в 1,5 раза превосходит сложность сопоставимых двоичных элементов. Показатель эффективности использования оборудования у этой категории устройств определяется экономичностью троичного кодирования и на 5% превышает значение, характеризующее сопоставимый двоичный вариант.

Запоминающие устройства, относящиеся к третьей категории, осуществляют хранение двоично-кодированной троичной информации. Эффективность использования оборудования в таких устройствах определяется применяемыми способами перекодирования.

Предлагаемая классификация основывается на оценках, относящихся к той части оборудования ЗУ, которая непосредственно осуществляет функции хранения, и не затрагивает целого ряда других важных частей устройства (схемы выборки, воспроизведения и т. д.). Поэтому действительные показатели эффективности использования оборудования в реальных запоминающих устройствах могут несколько отличаться от названных.

### **§ 1. Троичные запоминающие устройства на магнитных сердечниках**

Показательным примером того, как использование троичного кодирования приводит к значительному повышению эффективности использования оборудования, является возможность записи троичных цифр в постоянном ЗУ на магнитных сердечниках [8]. Как известно, в запоминающих устройствах такого типа запись информации осуществляется путем прошивки магнитных сердечников воспринимающими и опрашивающими проводами. Взаимная ориентация этих проводов может образовывать три различных сочетания. Два из них характеризуются тем, что через сердечник проходят как воспринимающий, так и опрашивающий провода. Различие состоит в нап-

равлении прошивки, которое таково, что при пропуске по опрашивающему проводу импульса тока на воспринимающем, проводе возникает сигнал положительной полярности для одного сочетания и отрицательной для другого. При третьем сочетании сердечник прошит только одним проводом. Таким образом, возбуждение опрашивающего провода не приводит к появлению сигнала на воспринимающем. Первые два сочетания можно интерпретировать как запись 1 и -1, третье – как запись 0.

Троичное оперативное запоминающее устройство на сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса может быть осуществлено на основе двоичного запоминающего устройства с непосредственной выборкой и двумя сердечниками на разряд [9]. Третье состояние при этом характеризуется совпадающим направлением намагниченности обоих сердечников пары. Работа запоминающего устройства, в котором формирование токов в цепи числа осуществляется при помощи матричного переключателя на сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса, иллюстрируется рис. 1, а и б. На рис. 1, а показан координатный трансформатор КТ, содержащий две полутоковые

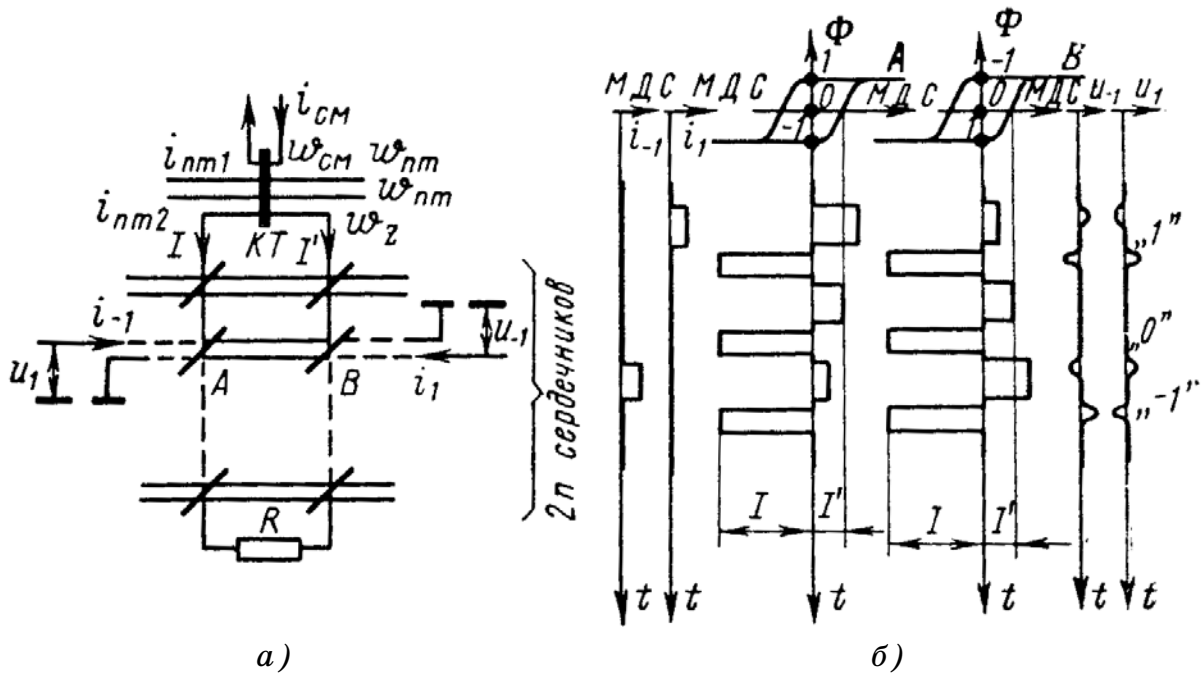


Рис. 1

обмотки  $\omega_{nt}$ , обмотку смещения  $\omega_{cm}$  и выходную обмотку  $\omega_z$ . С выходной обмоткой связана цепь числа, включающая в себя  $n$  пар числовых сердечников. Состояния намагниченности сердечников  $A$  и  $B$ , составляющих пару, и эпюры токов и считываемых сигналов при хранении 1, 0 и -1 представлены на рис. 1, б. Состояния, соответствующие 1 и -1, характеризуются намагниченностью сердечников до насыщения в противоположных (относительно тока в цепи числа) направлениях. При хранении нуля направления намагниченности обоих сердечников совпадают, а ее значение в каждом из них приблизительно одинаково, так что при считывании разностная э. д. с. на разрядном проводе близка к нулю. Запись 0 осуществляется током  $I'$ , направление которого противоположно направлению считывающего тока  $I$ .

При этом токи в разрядных проводах отсутствуют. Амплитуда и длительность тока  $I'$  выбирается с таким расчетом, чтобы обеспечить желаемую намагниченность сердечников  $A$  и  $B$ , соответствующую хранению 0. При одновременном воздействии токов  $I'$  и  $i_1$  (либо  $i_{-1}$ ) в одном из сердечников пары ампервитки, соответствующие  $I'$  и  $i_1$ , складываются, а в другом вычитаются. В первом случае должно происходить полное перемагничивание, во втором состояние сердечника не должно изменяться. Таким образом осуществляется запись 1 и  $-1$ . При считывании 1 и  $-1$  на концах разрядных проводов, соединенных с входами усилителей считывания, появляются сигналы  $v_1$  и  $v_{-1}$  соответствующих полярностей. Значение намагниченности сердечников при записи 0, вообще говоря, произвольно. Практически возможны два случая [10]. Первый соответствует намагниченности, при которой изменение потока в каждом сердечнике составляет половину от изменения потока при перемагничивании по полному циклу. Во втором случае оба сердечника намагничены до насыщения, причем направление намагниченности таково, что воздействие тока  $I$  не вызывает их перемагничивания.

Недостатком троичного запоминающего устройства с двумя сердечниками на разряд является зависимость нагрузки, создаваемой цепью числа для выходной обмотки  $\omega_2$  координатного трансформатора, от считываемого (или записываемого) кода. Рациональный выбор значения намагниченности сердечников при хранении 0 позволяет в значительной мере уменьшить эту зависимость. Это, однако, связано с повышением требований, предъявляемых к параметрам и однородности числовых сердечников, стабильности токов считывания и записи и т. д., удовлетворить которые не всегда представляется возможным. Запоминающее устройство с тремя сердечниками на разряд, схема которого приведена на рис. 2, а, обладает всеми достоинствами, присущими двоичному запоминающему устройству с непосредственной выборкой и двумя сердечниками на разряд. Работа схемы иллюстрируется рис. 2, б, на котором приведены эпюры токов в цепи числа и в разрядных проводах, а также эпюры считанных сигналов  $v_1$  и  $v_{-1}$ . При обращении к запоминающему устройству Б в каждом разряде перемагничивается только один сердечник:  $A$ ,  $B$  или  $C$  соответственно в случаях, когда происходит запись (или считывание) 1, 0 или  $-1$ . МДС тока  $I'$  не может изменить состояние сердечника; по этой причине не происходит перемагничивания сердечника  $C$  при записи 1. Сердечник  $B$  в этом случае находится под действием МДС, определяемой разностью токов  $I'$  и  $i_1$ . Запись 0 осуществляется при подаче импульсов тока, амплитуда которых составляет половину амплитуды токов  $i_1$  и  $i_{-1}$  одновременно по обоим разрядным проводам. Таким образом обеспечивается перемагничивание сердечника  $B$ . Считыванию 1 соответствует появление сигнала положительной полярности на одном из разрядных проводов. При считывании  $-1$  положительный сигнал возникает на другом проводе. Если происходит считывание 0, отрицательные сигналы появляются на обоих проводах. Запись 0 можно также реализовать, подавая импульс тока соответствующей полярности с амплитудой, равной амплитуде тока  $i_1$  и  $i_{-1}$  по одному из разрядных проводов. В ЗУ рассмотренного типа, помимо некоторой экономии числа сердечников по сравнению с аналогичным двоичным устройством, в 1,59 раза снижается нагрузочная способность формирователей схемы выборки.

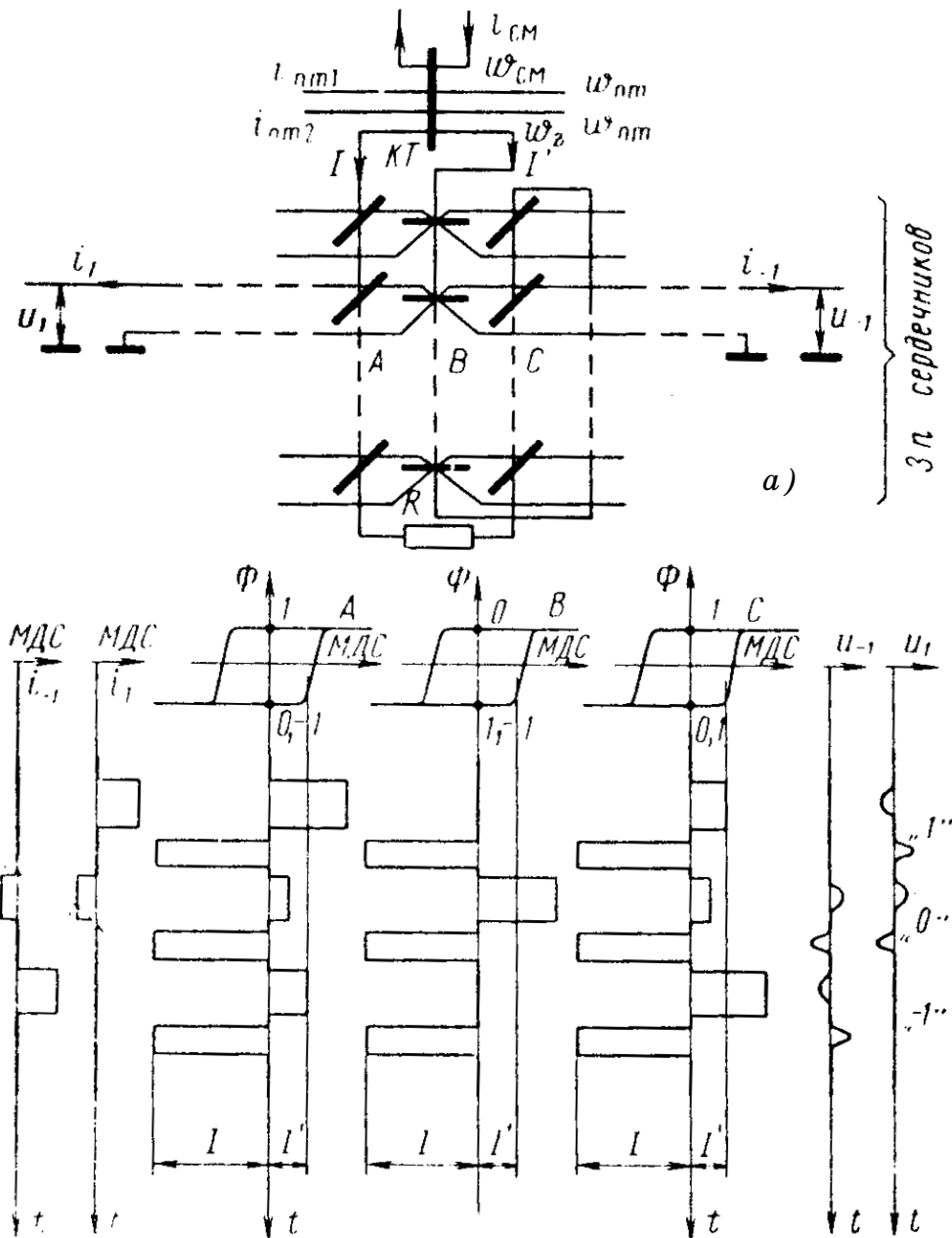


Рис. 2 б)

Заметим, что рассмотренные здесь варианты троичной модификации двоичных ЗУ хорошо реализуются в запоминающих устройствах на слоистых ферритовых пластинах [11].

## § 2. Запоминание троично-кодированной информации на магнитной поверхности

Реализация троичного ЗУ на магнитной поверхности привлекательна потому, что этот вид запоминающей среды по своей природе позволяет непосредственно осуществлять хранение троичных цифр. Действительно, каждый элемент магнитной поверхности может находиться в одном из трех различных состояний, два из которых соответствуют намагниченности до насыщения, а третье является размагниченным состоянием.

Вместе с тем необходимо сразу же упомянуть о трудностях, которые возникают при необходимости изменить состояние намагниченности отдельного элемента поверхности, не затрагивая соседних элементов. Возможен случай, когда соответствующий элементу участок поверхности, намагниченный до насыщения в одном из направлений, должен быть размагничен, т. е. подвергнут воздействию переменного магнитного поля, плавно убывающего до нуля. Попытка создать такое магнитное поле, локализованное в границах элемента поверхности, не предъявляя к конструкции и характеристикам используемых магнитных головок и к формировавателям токов записи трудно выполнимых требований, вряд ли окажется успешной.

Таким образом, реализация троичных ЗУ на магнитной поверхности с использованием трех состояний намагниченности целесообразна в тех случаях, когда при обращении происходит передача крупных массивов информации, занимающих достаточно протяженные участки поверхности. Тогда в случае записи весь участок поверхности предварительно размагничивается, а содержимое массива заменяется новым.

В троичном запоминающем устройстве с записью по системе с возвращением к нулю производят запись  $1$  и  $-1$  на предварительно размагниченной поверхности, подавая в магнитную головку импульсы тока различной полярности. При записи  $0$  ток в головку не подается. Получившаяся в результате структура поверхности будет состоять из участков, намагниченных в противоположных направлениях, и участков, сохранивших размагниченное состояние. При считывании на обмотках магнитных головок возникают сигналы, фаза которых определяется направлением намагниченности поверхности, если считываются  $1$  и  $-1$ , и не возникает сигнала, если считывается  $0$ .

Сказанное иллюстрируется рис. 3, *a*, *b* и *в*, на котором изображены эпюры импульсов тока  $I$  в обмотке магнитной головки, соответствующих записи некоторой последовательности троичных цифр, потока  $\Phi$  в сердечнике головки при считывании и напряжения  $u$  на обмотках головки в зависимости от расстояния вдоль направления движения поверхности (или от времени, если считать, что поверхность движется равномерно). Вследствие того, что каждый элемент магнитной поверхности в троичном запоминающем устройстве несет больше информации, чем в случае хранения двоичных цифр, эффективность использования поверхности возрастет в  $1,59$  раза.

Использование в троичном запоминающем устройстве метода записи по системе без возвращения к нулю предусматривает, как и в двоичном варианте, изменение состояния намагниченности поверхности лишь при изменении значения записываемой информации по сравнению с предшествующим значением. При этом, если текущее значение  $0$ , а предшествующее  $1$  или  $-1$ , ток в обмотке головки записи прекращается и создаваемое ею магнитное поле становится равным нулю. При переходе от  $1$  к  $-1$  (или наоборот) изменяется полярность тока записи и соответственно знак поля. В результате магнитная поверхность остается в размагниченном состоянии, если записывается непрерывная последовательность нулей, и оказывается в одном из двух состояний остаточной намагниченности при записи единиц. Эпюры тока  $I(t)$  в обмотке головки, потока  $\Phi(t)$  и считанного сигнала  $v(t)$  соответствующие хранению некоторой последовательности троичных цифр, приведены на рис. 3, *г*, *д*, и *е*. Как видно из рис. 3, *е*, считанный сигнал отличен от нуля как при

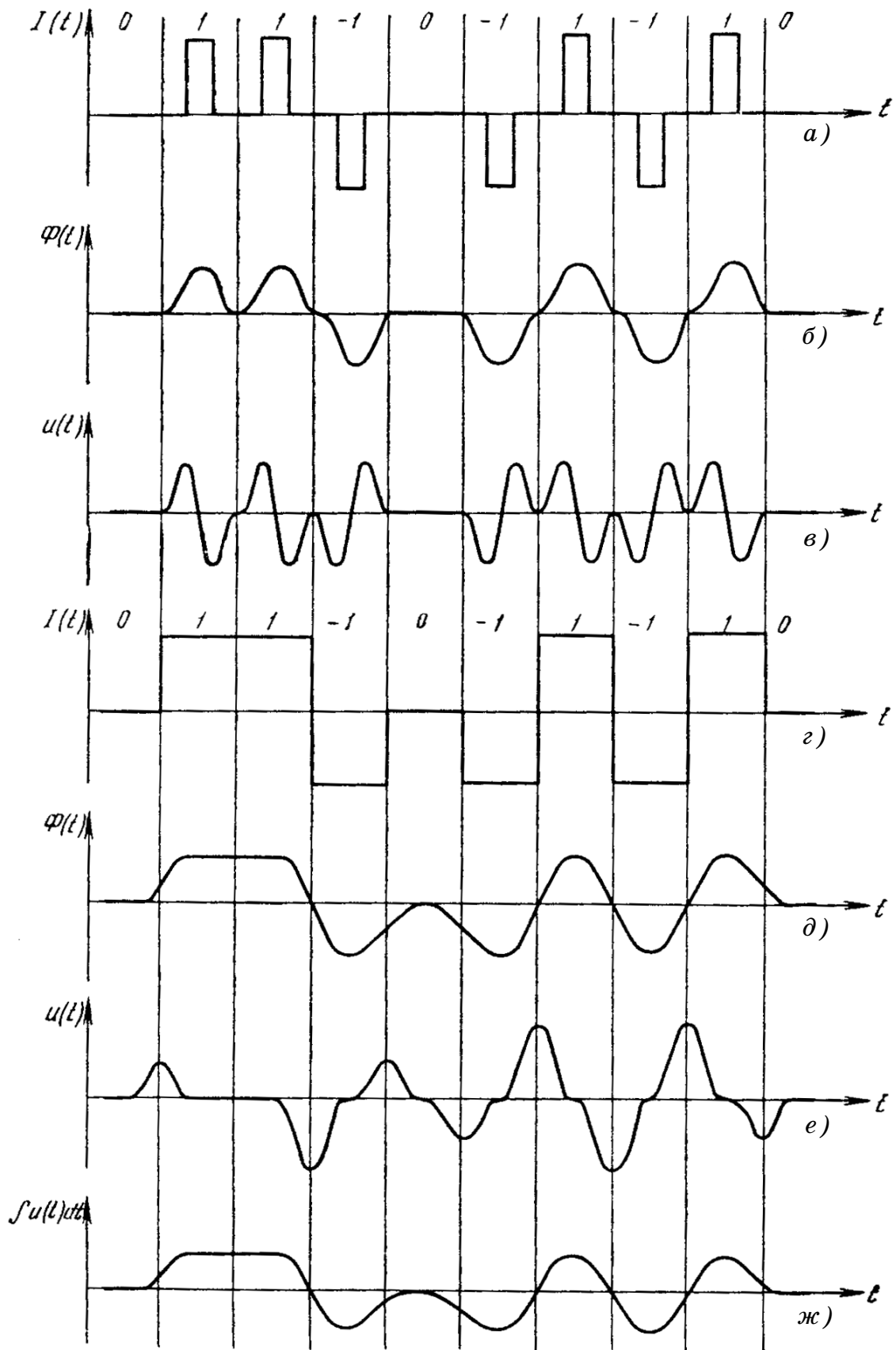


Рис. 3

переходе от 1 (или  $-1$ ) к 0, так и при переходе, например, от 1 к  $-1$ . Таким образом, распознавание хранимой информации непосредственно по значению  $v(t)$  при записи по системе без возвращения к нулю затруднительно. Заметим, что при любой последовательности хранимых троичных цифр изменение потока  $\Phi(t)$  вдоль поверхности в направлении движения может принимать лишь два дискретных значения  $\Delta\Phi_{10}$  и  $\Delta\Phi_{11}$ , отличающихся друг от друга в два раза. Первое из указанных значений ( $\Delta\Phi_{10}$ ) соответствует изменению потока при переходе от насыщения к размагниченному состоянию носителя и наблюдается при переходе от 1 (или  $-1$ ) к 0 и обратно. Значение  $\Delta\Phi_{11}$  имеет место при изменении направления намагниченности на противоположное, когда происходит переход от 1 к  $-1$  и от  $-1$  к 1. Поскольку петля гистерезиса материала поверхности симметрична относительно начала координат, справедливо соотношение:

$$\Delta\Phi_{11} = 2\Delta\Phi_{10}$$

(сказанное действительно при условии постоянства толщины магнитной поверхности и ее однородности).

Следует заметить, что не весь магнитный поток, проходящий в поверхности, замыкается через магнитопровод головки считывания. Поэтому функция  $v(t)$ , вообще говоря, не отражает характера зависимости  $\Phi(t)$ . Если предположить, что поток в магнитопроводе считывающей головки всегда составляет некоторую неизменную часть потока поверхности, то  $v(t)$  будет, очевидно, характеризовать  $\Phi(t)$  с точностью до некоторого постоянного коэффициента.

Можно считать, что высказанное условие справедливо для случая контактной записи или бесконтактной записи с постоянным зазором. При соблюдении упомянутых условий зовут для распознавания хранимой информации, будет интегрирование считанного сигнала. Кривая  $\int v(t) dt$  (рис. 3, ж) при сделанных допущениях совпадает, с точностью до постоянного коэффициента, с кривой  $\Phi(t)$ .

Таким образом, проинтегрированный считанный сигнал будет иметь положительное значение для 1, отрицательное для  $-1$  и равняться нулю при считывании 0. Использование такого способа распознавания хранимой информации связано с некоторыми трудностями, возникающими при проектировании интегрирующего усилителя считывания. Это обусловлено тем, что постоянная времени реальных интеграторов имеет конечное значение. Таким образом, если интервал времени между двумя сигналами, последовательно поступающими на вход усилителя, имеет величину, соизмеримую с постоянной времени интегратора, значение сигнала на выходе последнего в конце этого интервала может существенно отличаться от начального.

Смещение нулевого уровня проинтегрированного сигнала может привести к возникновению ошибок. Заметим, что поскольку при записи троичных кодов по системе без возвращения к нулю величина изменения потока при изменении записанной троичной цифры может иметь только два дискретных значения, то для того, чтобы сделать заключение о хранимой информации, необходимо знать величину и знак потока, соответствующего ее предшествующему значению, а также величину и знак наблюдаемого потока (или  $\int u(t) dt$ ). Алгебраическая сумма двух указанных величин будет равна новому значению потока и, таким образом, позволит сделать вывод о записанной цифре.



Необходимые преобразования при считывании могут быть выполнены с использованием пороговых элементов. Возможная реализация такого устройства иллюстрируется блок-схемой, представленной на рис. 4. Схема содержит интегрирующий усилитель 2, связанный с головкой 1. Усилитель 2 устроен таким образом, что выдает сигнал, амплитуда которого пропорциональна изменению потока в магнитопроводе головки, всякий раз, когда считанный сигнал становится равным нулю. Эпюры считанного сигнала и сигнала на выходе интегрирующего усилителя приведены соответственно на рис. 4, а и б. Сигнал подается на вход фазоинвертора 3, выходы которого через вентили 4 и 5 связаны с входами пороговых элементов 6 и 7. Сигналы с выходов последних запускают триггеры 8 и 9, состояния которых соответствуют двузначным компонентам считываемых троичных цифр (рис. 4, в и г). Выходы триггеров соединены с отрицательными входами пороговых элементов 6 и 7. (Отрицательные входы обозначены диагональной чертой.) Вес отрицательного входа порогового элемента совпадает с весом положительного входа если сигнал с фазоинвертора соответствует изменению потока  $\Delta\Phi_{10}$ . Таким образом, установка триггера в состояние 1 произойдет только в тех случаях, когда оба триггера 8 и 9 сброшены или когда на положительный вход порогового элемента поступает сигнал, обусловленный изменением потока  $\Delta\Phi_{11}$ . Первый случай соответствует считыванию 1 (или  $-1$ ) после 0, второй – 1 после  $-1$  и наоборот. Сброс триггеров 8 и 9 в состояние 0 происходит каждый раз, когда на соответствующем выходе фазоинвертора 3 появляется сигнал. Элементы задержки 10 и 11 предотвращают исчезновение сигнала на отрицательных входах пороговых элементов при сбросе триггеров, пока существуют сигналы на положительных входах.

Проведенное рассмотрение указывает на то, что эффективная реализация троичных запоминающих устройств на магнитной поверхности является вполне возможной. Вместе с тем она связана с определенными ограничениями, в особенности заметными в тех случаях, когда существует необходимость изменять содержание отдельной «троичной» позиции на поверхности, не затрагивая соседних позиций. В данном разделе будет рассмотрен способ увеличения эффективности использования магнитной поверхности за счет повышения плотности, с которой размещаются двузначные компоненты троичных цифр. Повышение плотности размещения оказывается возможным благодаря тому, что из четырех сочетаний, которые могут образовывать два двоичных разряда, применяются только три.

Рассмотрим возможный вариант использования указанного свойства при записи по системе с возвращением к нулю на намагниченной до насыщения поверхности. В графике, представленном на рис. 5, по оси абсцисс отложено расстояние, а по оси ординат э.д.с., возникающая на обмотке головки считывания. Предполагается, что обе полуволны считанного сигнала имеют одинаковые длительности. Обозначим через  $L$  протяженность участка дорожки, предназначенного для хранения одного троичного разряда. Будем считать, что для уверенного распознавания значение считанного сигнала, соответствующее 1, 0 и  $-1$ , должно различаться по крайней мере на протяжении полуволны.

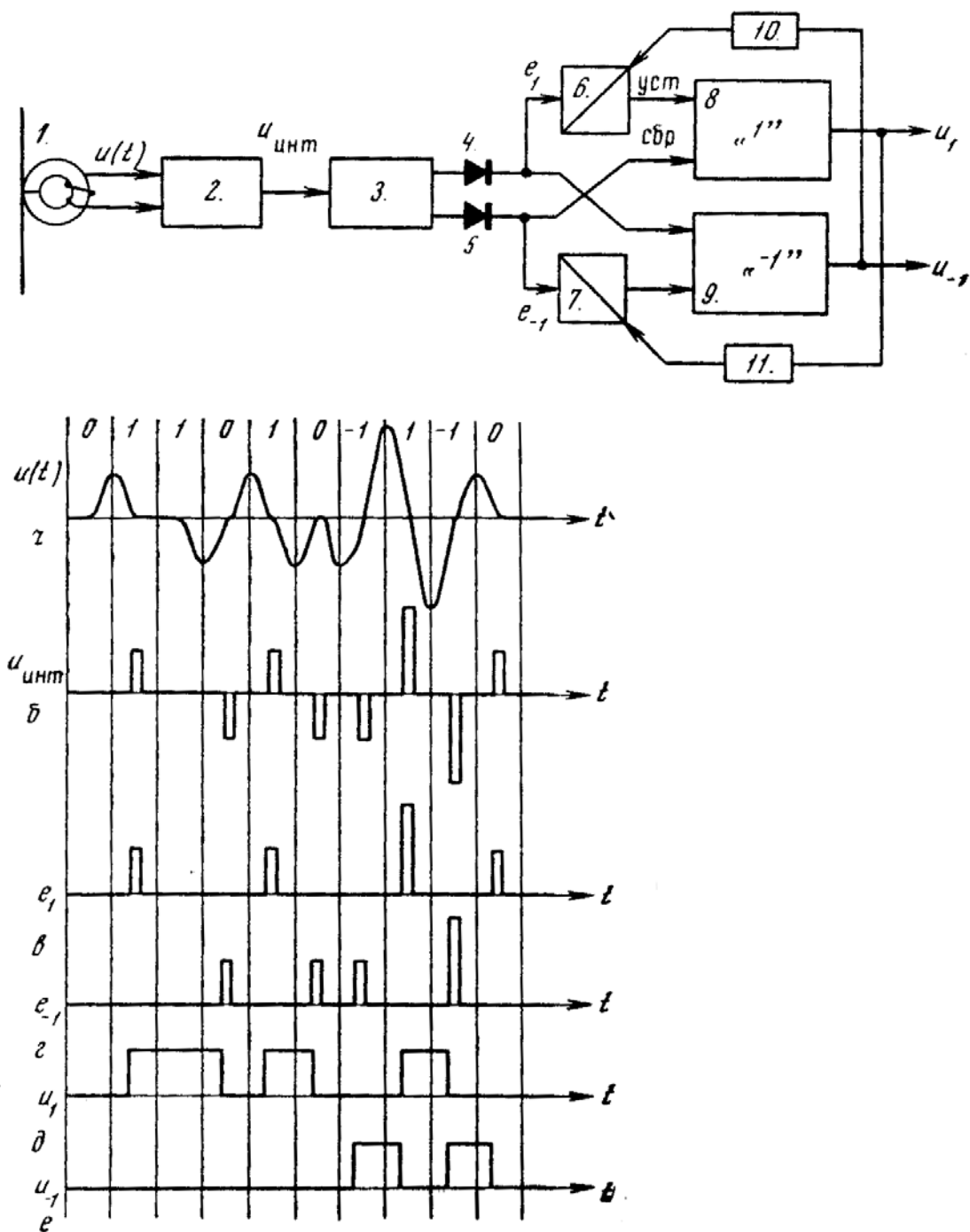


Рис. 4

Разделим  $L$  на три равные части протяженностью  $\frac{1}{3}L$  и условимся, что, например, 1 соответствует отличный от нуля считанный сигнал на 1-м и 2-м участках длины  $\frac{1}{3}L$ , а -1 на 2-м и 3-м. Таким образом, 1 и -1 будут представляться соответственно положительным и отрицательным значением э.д.с. на

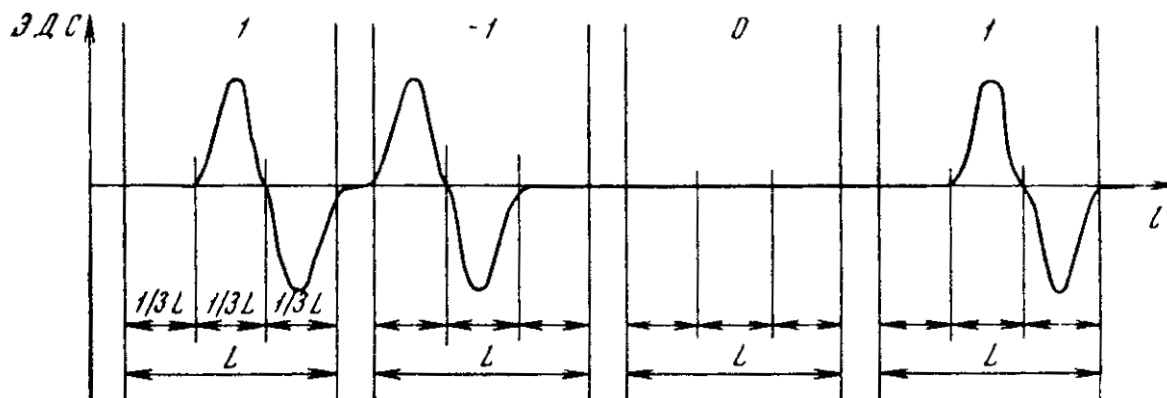


Рис. 5

середине интервала  $L$ . При записи 0 состояние намагниченности участка не претерпевает изменений и считанный сигнал равняется нулю.

При считывании, кроме стробирования сигнала в момент времени, соответствующий середине интервала  $L$ , можно, например, определять значения э.д.с. на обмотке считывающей головки дважды: в моменты времени, соответствующие

$\frac{1}{6}L$  и  $\frac{1}{2}L$ . Отрицательный сигнал в первый из указанных

моментов соответствует 1, во второй  $-1$ , отсутствие сигналов в оба момента  $-0$ . Для более надежного распознавания можно определять значения считанной э.д.с. трижды на протяжении интервала  $L$ : в моменты, соответствующие

$\frac{1}{6}L$ ,  $\frac{1}{2}L$  и  $\frac{5}{6}L$  и заключать о значении хранимого троичного разряда по

наличию и полярности считанных сигналов в указанные моменты времени. На рис. 6 показан вид считанных сигналов при записи по размагниченной поверхности с уменьшенным расстоянием между участками, на которых размещены двузначные компоненты троичного разряда. Обозначения, используемые на рис. 6, аналогичны примененным на рис. 5. Считывание, как и в пре-

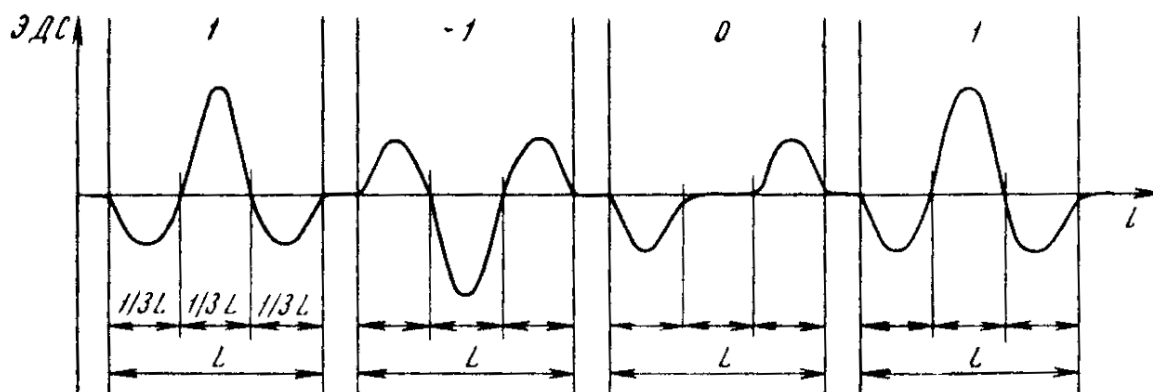


Рис. 6

дыдущем случае, может производиться путем определения значения э.д.с. на обмотке головки в середине интервала  $L$ .

Отметим, что при реализации рассмотренного способа записи двузначных компонент троичных цифр с повышенной плотностью сохраняется возможность изменять содержание отдельной «троичной» позиции, не затрагивая соседних. Кроме того, заключение о значении хранимого разряда удается получить непосредственно по структуре отпечатка (и соответственно по конфигурации считанного сигнала), получающегося в результате записи двух двузначных компонент.

Таким образом, на этапе считывания можно сразу определять значение троичного разряда, минуя стадию получения двузначных компонент и последующее шифрование. Помимо упрощения обслуживающих схем за счет аннулирования шифрирующего узла, при этом происходит также повышение быстродействия устройства, как за счет более компактного размещения информации, так и благодаря ликвидации потерь времени при получении троичного разряда по его двузначным компонентам.

Для определения режимов записи и оценки эффективности использования магнитной поверхности при записи с повышенной плотностью было проведено экспериментальное исследование. При этом, чтобы обоснованно сравнивать эффективность использования поверхности при различных способах кодирования информации, дополнительно измерялось предельное значение плотности, достигаемой в двоичном ЗУ при сходных требованиях к нагрузочной способности формирателей импульсов записи. Предельное значение плотности и соответствующий ему режим «двоичной» записи определялись по двум характеристикам:

$$\begin{aligned} \max v_{\text{сч}}(t) &= f_1(\tau_{\text{зн}}), \\ \max \int_0^{\tau_0} v_{\text{сч}}(t) dt &= f_2(\tau_{\text{зн}}), \quad v_{\text{зн}} = \text{const}, \end{aligned}$$

где  $v_{\text{сч}}(t)$  – временная зависимость считанного сигнала,  $[0, \tau_0]$  – интервал, в котором  $v_{\text{сч}}(t)$  отлично от нуля,  $v_{\text{зн}}$  и  $\tau_{\text{зн}}$  – соответственно амплитуда и длительность импульса напряжения записи на этапах нарастания и спада тока (импульс тока записи имеет форму равнобедренного треугольника). Первая из приведенных характеристик позволяет определить параметры считанных сигналов и их стабильность при вариациях режима записи, вторая используется для оценки минимальных ампервитков записи, которым соответствует перемагничивание элемента поверхности по предельной петле гистерезиса.

Содержание характеристик, позволяющих оценить возможность сближенного размещения двузначных компонент троичных цифр, определяется принятыми способами записи и считывания. В любом случае, однако, при записи 1 и  $-1$  обмотка магнитной головки возбуждается последовательностью, состоящей из двух разнополярных импульсов тока (рис. 7, а). При этом промежуток времени  $\tau_{\text{сдв}}$ , разделяющий указанные импульсы, не может быть сделан меньше значения их длительности  $\tau_{\text{зн}}$ :

$$\tau_{\text{сдв}} \geq \tau_{\text{зн}}$$

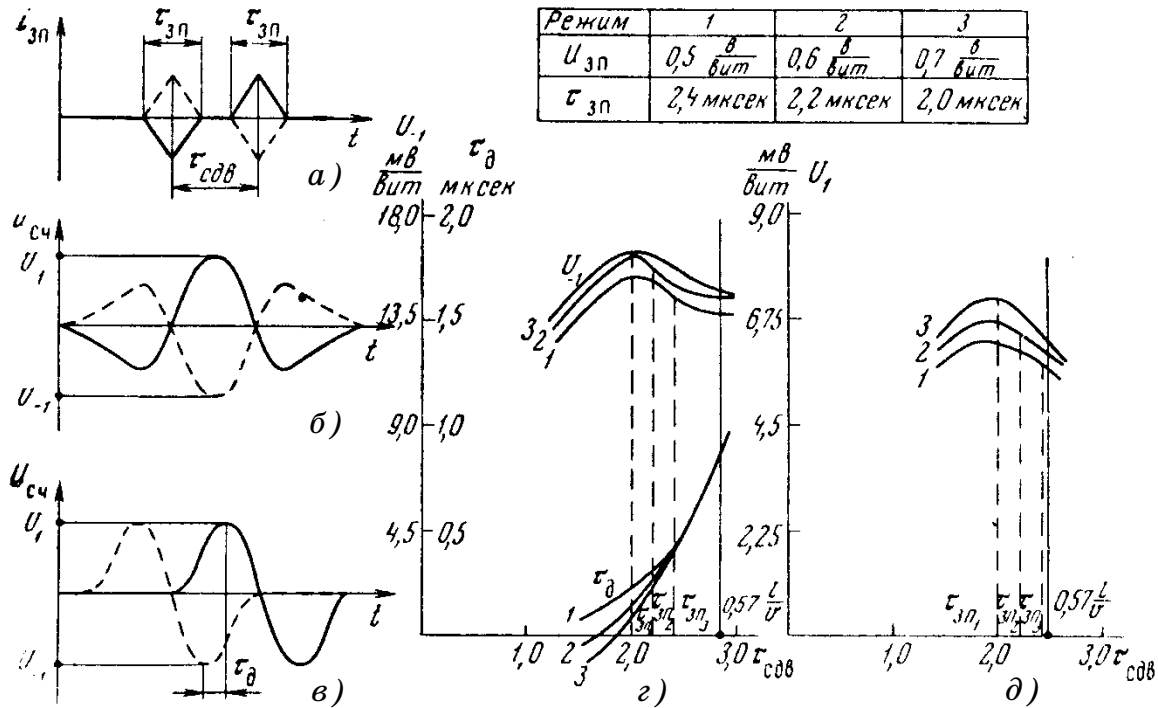


Рис. 7

Протяженность  $L$  «троичного» отпечатка, получающегося в результате такого воздействия, составляет:

$$L = l + v\tau_{\text{сдв}},$$

где  $l$  – протяженность «двоичного» отпечатка,  $v$  – линейная скорость поверхности. Эффективность использования поверхности будет зависеть от соотношения величин  $L$  и  $l$ ; при этом если

$$\frac{L}{l} \leq \log_2 3 = 1,59,$$

то на одном и том же участке магнитной поверхности при использовании троичного кодирования удастся разместить не меньше информации, чем в двоичном случае.

Исследовались свойства сближенного размещения двузначных компонент при записи по поверхности, намагниченной до насыщения, и по размагниченной поверхности. В первом случае снималась зависимость амплитудного значения второй полуволны считанного сигнала ( $U_{-1}$  на рис. 7, в), получающегося в том случае, когда первый из двух последовательных импульсов записи изменяет магнитное состояние поверхности, от величины  $\tau_{\text{сдв}}$ . Кроме того, была получена характеристика, связывающая изменение промежутка времени  $\tau_d$ , разделяющего максимум второй полуволны упомянутого сигнала и максимум первой полуволны считанного сигнала при обратном порядке следования импульсов записи, с изменением  $\tau_{\text{сдв}}$ . Перечисленные характеристики приведены на рис. 7, г. Во втором случае (размагниченная поверхность) структура отпечатков и вид считанных сигналов 1 и -1 одинаковы и различаются только знаком (рис. 7, б). Поэтому в снятии временных характеристик

необходимости не возникает. Для этого варианта была получена характеристика, связывающая максимальное значение амплитуды «троичного» сигнала  $U_1$  с величиной  $\tau_{сдв}$ , которая приведена на рис. 7,  $\delta$ .

Представленные характеристики снимались в различных режимах записи, определенных из условия получения максимальной «двоичной» плотности. Вертикальные пунктирные линии на графиках проведены через точки, абсциссы которых равны значениям длительностей токов записи в различных режимах и соответствуют, таким образом, минимально-допустимым значениям  $\tau_{сдв}$ . Максимальное значение  $\tau_{сдв}$  ограничено точкой с абсциссой  $0,59 \frac{l}{v}$ .

Приведенные характеристики свидетельствуют о возможности выбора режима записи так, чтобы конфигурация, считанного сигнала позволяла заключать о значении хранимой троичной цифры без отдельного определения двузначных компонент и шифрирования; при этом эффективность использования магнитной поверхности по крайней мере не уступает значению эффективности, достигаемой в двоичном ЗУ.

Заслуживает внимания одно обстоятельство. Если исследовать сближенное размещение «троичных» отпечатков, полученных описанным путем, то можно заметить, что их взаимное влияние проявляется сначала в искажении первого и третьего пиков считанного сигнала. Изменение амплитуды второго, центрального максимума начнется при более высоком значении плотности. Таким образом, структура центральной части отпечатка оказывается, в определенном смысле, защищенной от искажающих влияний, обусловленных записью с высокой плотностью.

### § 3. Двоичное кодирование троично-кодированной информации

Требования, предъявляемые к процедуре перекодирования троично-кодированной информации, заключаются в следующем.

1. Процесс перекодирования должен осуществляться без заметных потерь времени, чтобы быстродействие машины не снижалось из-за наличия перекодирующих устройств.

2. Существование перекодирующих устройств не должно приводить к ощутимому возрастанию количества оборудования в ЗУ. Выполнение этого требования определяется простотой аппаратной реализации процесса перевода.

3. Перекодирование должно осуществляться таким образом, чтобы не приводить к существенному снижению эффективности использования оборудования двоичного ЗУ вследствие избыточности представления.

4. Между информацией на входе перекодирующего устройства и информацией на его выходе должно существовать, взаимно однозначное соответствие. Следует отметить, что если перекодирование информации осуществляется только для помещения ее в двоичное ЗУ (а именно этот случай является предметом данного рассмотрения), то других условий на соответствие не накладывается.

Для оценки эффективности использования двоичного ЗУ, осуществляющего хранение перекодированной информации, проведем следующие рассуждения. Пусть некоторому количеству разрядов  $p$  в системе счисления с ос-

Т а б л и ц а 1

$p$	$\psi(3, p)$	$q(3, p)$
1	1,262	2
2	1,262	4
3	1,051	5
4	1,104	7
5	1,009	8
6	1,051	10
7	1,081	12
8	1,025	13

нованием  $n$  ставятся в соответствие  $q$  разрядов в двоичной системе. При этом должно выполняться условие:

$$p \log_2 n \leq q(n, p) < p \log_2 n + 1,$$

смысл которого заключается в том, что максимальное значение  $q$ -разрядного двоичного числа должно быть не меньше максимального значения  $p$ -разрядного. Для оценки эффективности использования оборудования можно употребить, функцию:

$$\psi(n, p) = \frac{q(n, p)k(n, N)}{pk(2, N)} = \frac{q(n, p)}{p \log_2 n}$$

где  $k(n, N) \approx \log_n N$  – количество разрядов, требуемых для представления некоторого числа  $N$  в системе счисления с основанием  $n$ . Ряд значений  $\psi(n, p)$  и  $q(n, p)$  для  $n = 3$  приведен в таблице 1.

Случай  $p=1$  и  $q=2$  соответствует упоминавшемуся ранее представлению трехзначной переменной ее двузначными компонентами. Являясь поразрядной операцией для троично-кодированной информации, процедура разложения на двузначные компоненты (и обратная ей) может быть осуществлена достаточно простым путем. Это обстоятельство оправдывает использование такого способа перекодирования несмотря на заметное снижение эффективности.

Рассматривая значения  $\psi(3, p)$ , можно заметить, что уже при небольших значениях  $p$  и  $q$  эффективность использования оборудования получается достаточно высокой. Это обстоятельство является весьма ценным, так как позволяет рассчитывать на то, что аппаратная реализация необходимых преобразований не будет связана с затратой значительного количества оборудования или времени.

Наиболее непосредственный вариант аппаратной реализации процесса перекодирования основывается на использовании устройств содержащих шифраторы и дешифраторы. Троично-кодированная информация делится на группы по  $p$  разрядов в каждой и поступает на входы троичного дешифратора. Выходы дешифратора в количестве  $3^p$  связаны с входами двоичного шифратора, на выходах которого получают значения соответствующих двоичных разрядов. Обратное преобразование осуществляется аналогичным устройством, в составе которого имеются двоичный дешифратор и троичный шифратор.

Другой подход к осуществлению процесса перекодирования основывается на том, что единственным условием, накладываемым на соответствие

$p$ -разрядных троичных слов и  $q$ -разрядных двоичных, является условие его взаимной однозначности. Количество взаимно однозначных соответствий составляет  $3^p!$  и велико даже для небольших  $p$ . Среди этих соответствий имеются такие, алгоритм построения которых допускает аппаратную реализацию, более простую, чем рассмотренная выше. Для оценки простоты аппаратной реализации того или иного алгоритма можно сравнивать осуществляющую его логическую структуру со структурой, содержащей шифраторы и дешифраторы. Использование последней позволяет, при одинаковых затратах оборудования, реализовать любое из упомянутых соответствий, и в этом смысле она является наиболее универсальным и сложным примером преобразующего устройства.

Проведенное рассмотрение показывает, что существуют разнообразные возможности осуществления троичных запоминающих устройств различных типов на базе таких распространенных деталей, как ферритовые сердечники, и таких сред, как магнитная поверхность. При этом эффективность использования оборудования в таких устройствах не ниже, а в ряде случаев существенно выше, чем в сопоставимых двоичных ЗУ.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Брусенцов Н.П. Опыт разработки троичной вычислительной машины. «Вестн. Моск. ун-та», сер. матем., мех., 1965, № 2.
2. Бузунов Ю. А., Савицкий П. А. Применение асинхронных трехстабильных параметронов в вычислительной технике. В сб.: «Вопросы теории электронных цифровых вычислительных машин», вып. 8. Киев, 1965.
3. Брусенцов Н.П., Веригина В.В., Маслов С.П. Способ записи информации в постоянном запоминающем устройстве. Авт. свид. № 170745.
4. I. Santos, H. Arango, M. Paschal. A ternary storage element using a conventional ferrit core. IEEE Trans on Electronic Compute, 1965, v. EC-14, No. 2.
5. Самофалов К. Г. и др. Пьезокерамический элемент памяти с тремя устойчивыми состояниями. Научно-производственный сб. «Механизация и автоматизация управления», 1966, № 3 (27).
6. Ненгу L. G. Magnetic memory sistem for ternary information. Pat. USA No. 2998594.
7. Нисневич Д.Г. Троичная ячейка с неразрушающим считыванием. Авт. свид. № 173025.
8. Веригин В. В., Карцева Н. С., Маслов С. П. Способ записи кодов. Авт. свид. № 145391.
9. Брусенцов Н.П., Маслов С.П., Розин В.П., Тишулина А.М. Малая цифровая вычислительная машина «Сетунь». Изд-во МГУ, 1965.
10. Маслов С.П. Анализ работы троичного запоминающего устройства на ферритовых сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса. Сб. «Магнитные цифровые элементы». Изд-во МГУ, 1966, стр. 160–185.
11. Shahvender R. Laminated ferrite memories review and evaluation, RCA Rev. 1968, v. 29, No. 2, 180–198.