ДЕШИФРАТОРЫ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ НА МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЕЙ ГИСТЕРЕЗИСА

В. А. ЖОЖИКАШВИЛИ

(Москва)

Исследуются различные методы построения бесконтактных магнитных дешифраторов и выявляются их недостатки.

Предлагается методика построения бесконтактных дешифраторов на магнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса.

Применяется символическая запись цепей дешифратора, подобная записи первичных цепей релейно-контактных дешифраторов. Исследуются защитные свойства разработанных дешифраторов.

Дешифраторы применяются в целом ряде автоматических устройств для расшифровки кодов. В телеуправлении до последнего времени практическое применение находят в основном релейно-контактные дешифраторы.

Построение дешифраторов на бесконтактной аппаратуре устраняет недостаточно надежный элемент, каким является контакт, и распространяет область их применения на устройства большого быстродействия.

С точки зрения требований надежности и долговечности особый интерес представляют магнитные бесконтактные дешифраторы.

Такие дешифраторы могут быть выполнены по типу «пирамиды» элементов и по типу перекрестных схем.

Пирамида элементов для случая двух избирающих признаков схематически изображена на рис. 1.

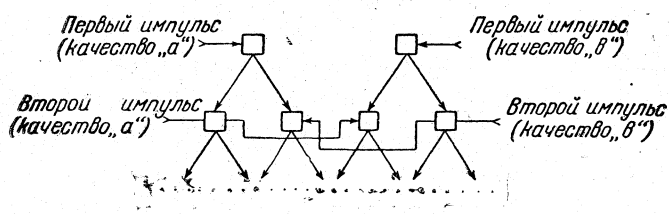

Рис. 1

К приему каждого импульса, включая первый, должны быть подготовлены два элемента соответствующей ступени пирамиды. Один из них, в зависимости от качества очередного импульса, срабатывает и подготавливает два следующих элемента. На последнем импульсе сработает элемент, соответствующий данной команде. Независимо от того, из каких магнитных элементов составлена пирамида, количество этих элемен-

тов x связано с количеством импульсов в коде n следующим соотношением:

$$x = 2(2^n - 1).$$

Недостатком пирамиды является ее громоздкость. Так пирамида на 16 исполнительных цепей ($n = 4$) содержит 30 элементов (количество элементов примерно в два раза больше числа выходных цепей).

На рис. 2 изображен перекрестный дешифратор для случая выбора из n по 2 (такую схему иногда называют двухмерной). Здесь $n = x + y$ — количество элементов в коде, x и y — соответственно количество горизонтальных и вертикальных входов. Существенный недостаток таких схем, когда они применяются в качестве дешифраторов, заключается в нерациональном использовании комбинационных возможностей кода. В каждой используемой комбинации должны содержаться только импульсы, принадлежащие к разным группам входов. При этом не используются все возможные комбинации внутри x горизонталей и внутри y вертикалей *.

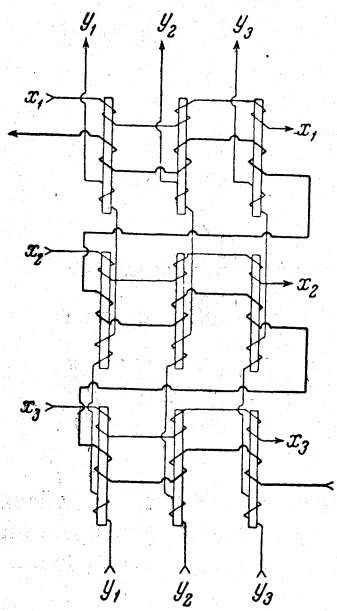

Рис. 2

Другой недостаток бесконтактных перекрестных дешифраторов заключается в необходимости использования сложных параметрических зависимостей. Действительно, в двухмерном дешифраторе элемент x_{ij}, расположенный на пересечении i-й горизонтали с j-й вертикалью, должен сработать при одновременной посылке импульсов в i-ю горизонталь и в j-ю вертикаль, но не должен срабатывать при воздействии на него только одного из этих импульсов.

Ценность перекрестных дешифраторов сильно снижается тем обстоятельством, что они практически могут быть выполнены только для случая двух или трех избирающих импульсов в коде, т. е. при выборе из n по 2 или по 3 (двух- и трехмерные схемы).

В связи с вышесказанным представляет интерес разработка дешифраторов, свободных от перечисленных недостатков. Такие дешифраторы должны обладать следующими свойствами:

1) Содержать возможно меньшее количество элементов.

2) Использовать полностью комбинационные возможности кода, т. е. в случае кода на одно сочетание обеспечивать образование $\binom{n}{m}$ исполнительных цепей, а в случае кода на все сочетания — z^n исполнительных цепей, где z — количество избирающих признаков, n — количество импульсов в коде, m — число выбирающих импульсов, $\binom{n}{m}$ — число сочетаний из n по m.

3) Быть свободными от сложных параметрических зависимостей.

4) Обеспечить возможность получения достаточно большого количества выходных цепей.

---

* Например, если $x = 7$, $y = 4$, перекрестный дешифратор позволяет выбрать $xy = 28$ исполнительных цепей. Между тем, известно, что из 11 импульсов $(x+y)$ по 2 можно составить 55 сочетаний. Таким образом, в данном примере пропадает 27 сочетаний. Это — 21 сочетание внутри горизонталей и 6 сочетаний внутри вертикалей. С другой стороны, те же 28 сочетаний можно получить не из 11 импульсов, а из 8, если использовать сочетания из 8 по 2.

В последние годы освоено производство магнитных материалов с весьма прямоугольной петлей гистерезиса. Элементы, выполненные из таких материалов, нашли широкое применение в счетно-решающих устройствах и в ряде других устройств автоматики. Эти элементы представляют собой тороиды, выполненные из магнитомягкого материала с весьма прямоугольной петлей гистерезиса. Идеализированная петля гистерезиса такого элемента изображена на рис. 3. Здесь H_c — коэрцитивная сила, а точки *1* и *2* соответствуют отрицательной и положительной остаточной индукции. Если на тороид нанести две электрические обмотки и одну из них подключить к источнику импульсов, то может иметь место один из следующих двух видов переходного процесса.

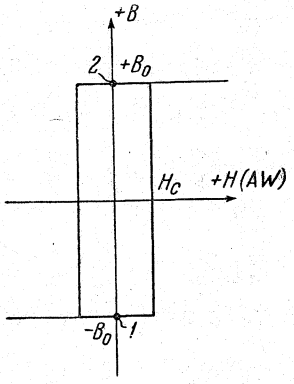

Рис. 3

1. Если знак ампервитков, создаваемых входным импульсом, совпадает со знаком остаточного магнетизма, то знак остаточного магнетизма в результате переходного процесса не изменяется. В этом случае имеет место весьма малое по величине изменение потока $\Delta\Phi = \Phi_{макс} - \Phi_0$. Индуктивное сопротивление элемента незначительно.

2. Если знак ампервитков входного импульса противоположен знаку остаточной индукции, то происходит резкое изменение магнитного потока $\Delta\Phi = \Phi_{макс} + \Phi_0$, в результате которого знак остаточного магнетизма изменяется на обратный. Индуктивное сопротивление элемента в этом случае во много раз больше, чем в предыдущем. Переходный процесс сопровождается наведением электродвижущей силы во второй обмотке.

С физической точки зрения элементы с прямоугольной петлей гистерезиса являются трансформаторами импульсов, в которых энергия входного импульса не трансформируется или трансформируется во вторичную цепь в зависимости от того, насыщен или ненасыщен сердечник. Из такой трактовки следует, что в зависимости от размеров сердечников мощность и длительность выходных импульсов может изменяться в весьма широких пределах. Подробное освещение процессов, а также вопрос о мощности и длительности выходных импульсов не составляют предмета настоящей работы.

Элементы с прямоугольной петлей гистерезиса отличаются простотой и надежностью конструкции и в случае необходимости обеспечивают весьма большое быстродействие.

Возможность размещения на элементах с прямоугольной петлей достаточно большого количества обмоток позволяет использовать для построения дешифратора принцип комбинирования на обмотках. Воспользуемся для этого методикой записи первоначальных цепей, оказавшейся весьма плодотворной при построении релейно-контактных дешифраторов.

Проведем рассуждения применительно к конкретному случаю построения дешифратора на одно сочетание при $n = 5$, $m = 2$. Выпишем первичные цепи дешифратора (см. табл. 1).

Будем рассматривать каждую цифру, как символическую запись соответствующей обмотки. Пусть при этом цифра с черточкой обозначает обмотку, в которой знак импульса ампервитков должен совпадать со знаком остаточного магнетизма. Назовем такую обмотку запирающей. Цифра без черточки обозначает обмотку, в которой знак ампервитков противоположен знаку остаточной индукции. Такую обмотку назовем перемагничивающей.

Тогда каждая строка полностью описывает соответствующий по номе-

ру элемент дешифратора. Действительно, из рассмотрения, например, третьей строки следует, что третий элемент дешифратора несет на себе три запирающих (1, 2 и 5) и две перемагничивающих (3 и 4) обмотки.

Таблица 1

№ элементов	№ обмотки	№ элементов	№ обмотки
1	$\overline{1}\ \overline{2}\ \overline{3}\ 4\ 5$	6	$\overline{1}\ 2\ 3\ \overline{4}\ \overline{5}$
2	$\overline{1}\ \overline{2}\ 3\ \overline{4}\ 5$	7	$1\ \overline{2}\ \overline{3}\ \overline{4}\ 5$
3	$\overline{1}\ \overline{2}\ 3\ 4\ \overline{5}$	8	$1\ \overline{2}\ \overline{3}\ 4\ \overline{5}$
4	$\overline{1}\ 2\ \overline{3}\ \overline{4}\ 5$	9	$1\ \overline{2}\ 3\ \overline{4}\ \overline{5}$
5	$\overline{1}\ 2\ \overline{3}\ 4\ \overline{5}$	10	$1\ 2\ \overline{3}\ \overline{4}\ \overline{5}$

Пусть количества витков в запирающих и перемагничивающих обмотках таковы, что выполняется следующее неравенство:

$$AW_з \geqslant m(AW_п), \tag{1}$$

где $AW_з$ и $AW_п$, соответственно, ампервитки запирающей и перемагничивающей обмоток. При этом одна запирающая обмотка компенсирует одновременное действие m перемагничивающих обмоток.

Схема дешифратора с выбором из 5 по 2, построенного в соответствии с табл. 1, изображена на рис. 4.

Два элемента переключателя — фиксатора или какого-либо наборного устройства фиксируют наличие в коде двух выбирающих импульсов. После прохождения всей команды с указанных элементов снимаются два импульса, которые посылаются одновременно в два соответствующих по номеру входа дешифратора. При этом изменяет свое положение (опрокидывается) только один из элементов дешифратора. Пусть, например, избирающий признак был зафиксирован вторым и третьим элементами фиксатора. Тогда импульсы посылаются в ряд обмоток, обозначенных цифрой 2 и 3. При этом перебросится шестой элемент дешифратора, в котором обе обмотки являются перемагничивающими, и пошлет импульс на срабатывание шестого исполнительного элемента.

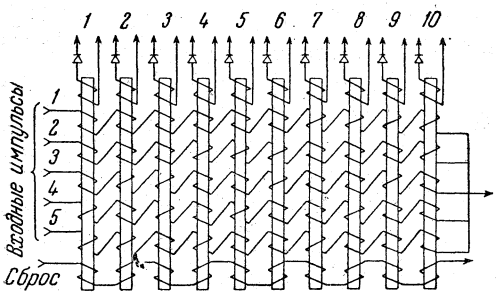

Рис. 4

Все остальные элементы остаются в исходном состоянии, так как на каждом из них имеется по крайней мере одна запирающая обмотка, которая при данной команде обтекается током, что согласно неравенству (1) делает перемагничивание невозможным.

Исполнительный импульс может быть снят также при обратном перемагничивании выбранного элемента от общего сбрасывающего импульса, посылаемого в цепь сброса.

Рассмотрим вопросы защиты от исполнения искаженной команды. Будут иметься в виду искажения, связанные с изменением числа выбирающих импульсов.

Прежде всего ясно, что при поступлении хотя бы одного лишнего выбирающего импульса не может быть выбран ни один элемент дешиф-

ратора, так как на каждом элементе в работе будет участвовать по крайней мере одна запирающая обмотка.

Защита от исчезновения выбирающих импульсов основана на некоторых свойствах описываемого дешифратора. Рассмотрим эти свойства.

Скорость изменения магнитной индукции во времени существенным образом зависит от величины напряжения на зажимах входной обмотки элемента, возрастая с его увеличением. При малом омическом сопротивлении обмоток эта зависимость может быть принята линейной. Напряжение импульса, поступающего на вход дешифратора, распределяется между последовательно соединенными обмотками таким образом, что основная доля напряжения ложится на обмотку того элемента, в котором происходит перемагничивание с изменением знака остаточного магнетизма.

Следует иметь в виду, что это утверждение справедливо только в тех случаях, когда омическое сопротивление первичной цепи весьма мало *. Именно этот случай имеется в виду в дальнейшем. Кроме того, предполагается, что все элементы обладают одинаковыми характеристиками и параметрами.

Если почему-либо произойдет одновременно перемагничивание нескольких элементов, напряжение равномерно распределится между ними, скорость изменения индукции в каждом из них уменьшится и в таком же отношении уменьшится амплитуда напряжения, снимаемого с выходной обмотки.

Можно показать, что при исчезновении одного или нескольких выбирающих импульсов произойдет одновременное перемагничивание по крайней мере трех элементов.

Действительно, пусть в передаваемом коде в результате искажений осталось k выбирающих импульсов и, таким образом, фиксатор зафиксировал, а затем послал на дешифратор не m, а k импульсов в соответствующие по номеру обмотки.

Тогда перебросятся в новое положение те элементы дешифратора, на которых все эти обмотки являются перемагничивающими. Очевидно, что число таких элементов будет равно:

$$L = \binom{n-k}{n-m}.$$

Известно, что если $k_1 > k_2$, то

$$L_1 = \binom{n-k_1}{n-m} < L_2 = \binom{n-k_2}{n-m}.$$

Таким образом наименьшее число одновременно сработавших элементов имеет место в том случае, когда k равно наибольшему возможному целому числу $k < m$, т. е. $k = m - 1$, или когда пропал только один выбирающий импульс.

Тогда

$$L_{\text{мин}} = \binom{n-m+1}{n-m} = n - m + 1.$$

Практически $(n - m)$ всегда больше единицы, так как при $n - m = 1$ комбинационный выбор превращается в распределительный.

Таким образом наименьшее значение $n - m$ равно 2. Тогда получим

$$L_{\text{мин}} = n - m + 1 = 3.$$

---

* Выражение «весьма мало» следует понимать по отношению к сопротивлению элемента в процессе перемагничивания. Последнее представляет собой отношение электродвижущей силы в первичной обмотке элемента к полному току переходного режима, т. е. к сумме намагничивающей и приведенной к первичной цепи нагрузочной составляющих тока.

Таким образом доказано, что при исчезновении из команды любого числа выбирающих импульсов, одновременно изменяет свое положение не менее трех элементов дешифратора и, согласно сказанному выше, амплитуда импульса, снимаемого с каждого из них при сбросе, будет минимум в три раза меньше нормальной.

Таким образом, можно констатировать, что описанный дешифратор обладает защитными свойствами и позволяет обходиться без соответствующих защитных приспособлений.

Рассмотрим другой метод построения дешифратора.

Пусть имеется n импульсов, m из которых являются выбирающими. Таким образом имеем $N = \binom{n}{m}$ команд. Возьмем N элементов и разместим на каждом из них x обмоток. Разобьем все обмотки на n групп так, чтобы на каждый элемент приходилось лишь по одной обмотке любой группы. Тогда число сочетаний из n по x должно быть равно N, так как должны быть охвачены все элементы. Но если

$$\binom{n}{m} = \binom{n}{x} = N,$$

то

$$\binom{n-x}{m} = 1, \text{ т. е. } n - x = m$$

и

$$x = n - m.$$

Пусть, например, $n = 5$, $m = 3$. Тогда $N = 10$.

Таким образом, необходимо взять 10 элементов и разместить на каждом из них $x = n - m = 2$ обмотки.

Таблица 2 может быть получена из табл. 1 путем вычеркивания из нее всех цифр с черточками.

Таблица 2

№ элементов	№ обмотки					№ элементов	№ обмотки				
1	—	—	—	4	5	6	—	2	3	—	—
2	—	—	3	—	5	7	1	—	—	—	5
3	—	—	3	4	—	8	1	—	—	4	—
4	—	2	—	—	5	9	1	—	3	—	—
5	—	2	—	4	—	10	1	2	—	—	—

Схема дешифратора при последовательном соединении обмоток изображена на рис. 5.

Рассмотрим, например, работу дешифратора при выборе 5-го объекта. В коде, соответствующем пятому объекту, выбирающими являются первый, третий и пятый импульсы. При поступлении этих импульсов (безразлично, последовательно во времени или одновременно) в соответствующие по номерам входы дешифратора перемагничиваются все элементы дешифратора, кроме одного. Так, от первого импульса перемагнитятся элементы №№ 7, 8, 9, 10, от третьего — 2, 3 и 6 от пятого — 1 и 4.

Таким образом только пятый элемент не изменит своего положения и окажется подготовленным к исполнению команды. Общий исполнительный импульс посылается в последовательно соединенные обмотки $W_{исп}$. Элемент № 5 при этом срабатывает и посылает импульс соответствующему исполнительному органу.

Рассмотрим, как и в предыдущем случае, какое число элементов сработает одновременно при исчезновении любого числа выбирающих импульсов в команде.

При исчезновении k выбирающих импульсов на дешифратор будет послано $m-k$ импульсов в $m-k$ групп обмоток. В исходном положении останутся все те элементы, на которых нет ни одной обмотки из этих $m-k$ групп. Эти элементы и сработают одновременно при поступлении команды на исполнение. Очевидно, что таких элементов должно быть столько, сколько можно составить сочетаний из оставшихся $n-(m-k)$ групп по x. Таким образом, число одновременно сработавших элементов

$$L=\binom{n-m+k}{n-m}.$$

Наименьшее значение L получается в том случае, когда k будет равно 1.

Таким образом,

$$L_{\text{мин}}=\binom{n-m+1}{n-m}=n-m+1,$$

что совпадает с результатом, полученным в предыдущем случае.

Таким образом, при исчезновении произвольного числа выбирающих импульсов сработает одновременно не менее трех элементов дешифратора. Появление лишнего выбирающего импульса делает выбор какого-либо элемента дешифратора невозможным. Таким образом, как и в первом варианте, дешифратор защищен от исполнения ложной команды.

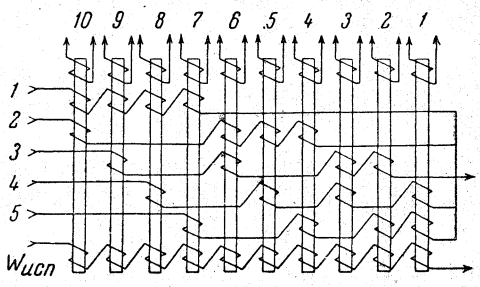

Рис. 5

Сравнивая между собой оба варианта дешифратора, необходимо отметить следующее.

В первом варианте выбор элемента, соответствующего данной команде, сводится к опрокидыванию этого элемента (и только его одного) в новое устойчивое состояние. Путем подачи общего для всех элементов дешифратора сбрасывающего импульса выбранный элемент перебрасывается обратно и схема приходит в исходное состояние. Знак импульса, снимаемого с выходной обмотки выбранного элемента, зависит от направления перемагничивания. Оказывается удобным, с точки зрения соединения с приемным устройством, запирать импульс при первом перемагничивании и использовать в качестве рабочего импульс, возникающий при возврате элемента в исходное состояние. Это может быть осуществлено включением вентильного элемента в исполнительную цепь.

Во втором варианте в процессе выбора изменяют свое состояние все элементы, кроме одного, который соответствует данной команде. После этого дается общий импульс и выбранный элемент перемагничивается в том же направлении, посылая при этом рабочий импульс в исполнительную цепь. Знак рабочего импульса совпадает со знаком импульсов остальных элементов. Для того чтобы выделить его, можно придать ему амплитудное качество. Другой метод может состоять в том, чтобы приемные цепи были подготовлены к приему команды только после окончания выбора во время общего исполнительного импульса. В целом, с точки зрения сочетания с приемно-исполнительным блоком, первый вариант является более удобным.

Соединение входа дешифратора с остальной частью устройства, легче осуществить, используя вторую схему дешифратора. Действительно, поскольку в этой схеме входные импульсы могут поступать последовательно во времени (а не одновременно, как в первой схеме), необходимость в специальном фиксирующем устройстве отпадает и выбор элементов дешифратора может осуществляться параллельно со счетом импульсов. Вторая схема весьма экономична с точки зрения количества обмоток, которое равно $n-m$ (имеются в виду обмотки, участвующие в комбинировании)*. Дешифратор, выполненный по второй схеме, обладает еще одним преимуществом.

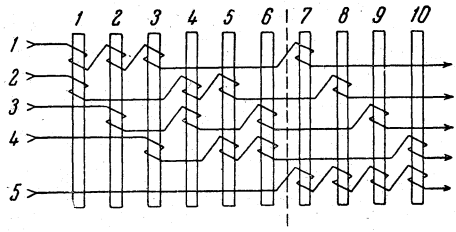

Рис. 6

Выше было показано, что число обмоток на каждом элементе такого дешифратора

$$x = n - m$$

и таким образом, если разность $n-m$ не меняется при изменении n и m, количество обмоток на каждом элементе остается неизменным.

Это позволяет увеличивать емкость дешифратора путем добавления к схеме готовых блоков без всяких коммутационных переделок. Таким образом может быть получено все множество схем, подчиняющихся уравнению

$$N = \binom{n+i}{m+i},$$

где n и m — заданные числа ($n > m$), а i может принимать различные целые значения. На рис. 6 показано, как путем добавления к дешифратору $\binom{4}{2}$ блока из четырех элементов может быть получен дешифратор $\binom{5}{3}$. Добавляя к последнему блок из пяти элементов, получим дешифратор $\binom{6}{4}$ и т. д.

Выбирая сердечники достаточно малых размеров и используя материалы высокого качества, можно выполнить дешифратор, работающий от весьма коротких импульсов, что позволит применить его в специальных быстродействующих устройствах.

Выводы

1. Построение бесконтактных магнитных дешифраторов методом комбинирования на обмотках позволяет создать экономичные по количеству элементов схемы.

2. Такие дешифраторы свободны от сложных параметрических зависимостей.

3. Сравнительно небольшое количество обмоток на каждом элементе позволяет выполнить дешифраторы на достаточно большие емкости.

4. Элементы с прямоугольной петлей гистерезиса могут работать от

* В первой схеме количество обмоток равно n. Учитывая, что m всегда больше единицы, получаем экономию минимум в две обмотки. Практически, обычно $n \approx 2m$ и выигрыш получается примерно в два раза, что при больших m весьма существенно. Например, дешифратор из 10 по 5 на 252 выходные цепи в первом варианте требует 10, а во втором только 5 обмоток на каждом элементе.

весьма кратковременных импульсов, что позволяет применять описываемые дешифраторы в устройствах большого быстродействия.

5. Ценным качеством дешифраторов с комбинированием на обмотках являются их защитные свойства и отсутствие обмоток возбуждения на переменном токе.

Поступила в редакцию
17 апреля 1954 г.