

УДК 681.142.6:539.216.2

МАГНИТНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Г.А.Михайлов

Состояние разработок по магнитным пленочным элементам в настоящее время таково, что результаты этих разработок вряд ли можно непосредственно использовать для построения вычислительных систем по принципу вычислительной среды. Дело в том, что они с самого начала были нацелены в основном на создание запоминающих устройств, где магнитные пленки используются как элементы памяти; попытки же сделать на магнитных пленках логические или переключающие элементы — основу вычислительной среды — были немногочисленны, несмотря на то, что магнитные пленки обладают многими необходимыми для этой цели свойствами: высокой скоростью переключения, широким и хорошо управляемым динамическим характеристиками, возможностью комбинировать в многослойных конструкциях пленки с различными характеристиками и т.д. Но пока эти свойства не реализованы в логических пленочных магнитных элементах, любые экстраполяции относительно применения магнитных пленок для создания вычислительных систем с большим числом элементов (до 10^{12}) целесообразнее строить на основе опыта, приобретенного при создании запоминающих устройств. К тому же пленочный элемент памяти — это простейший элемент, в котором можно реализовать предельные возможности магнитной пленки по скорости переключения, минимальным размерам, потребляемой мощности

Таблица I

Емкость Σ в блоке	Время		Мощность	Размеры запоминающего элемента	Матрица			Объем	Год окончания работ
	цикл	выборки			Кол-во элем.	Размер	Плотность		
чисел разрядов	мксек	мксек	вт	мм	мм	бит/см ²	дм ³		
128 x 32	0.7	0.3		0.9x1.7	628	50x50	25	1965	
1024 x 32	1.0	0.4	180	"	"	"	70	1967	
8192 x 13	0.75	0.3	90	0.9x1.4	"	50x60	21	1969	
256 x 32	0.6	0.3	4	0.45x0.9	2496	"	83	конструируется	
16384 x 26	0.7	0.3	90	"	628	"	40	макет	

ности и т.д., а поэтому на примере таких элементов лучше выявляются и предельные возможности системы.

Практический опыт Института кибернетики АН УССР в создании запоминающих устройств на магнитных пленках отражен в табл. 1. При разработке перечисленных в ней устройств подерживалась прежде всего тенденция увеличения емкости в одном блоке накопителя при минимальных аппаратурных затратах в системе управления накопителем, что, естественно, приветствовало получение рекордного быстродействия.

В настоящее время близки к промышленному освоению пленочные элементы с размером $0,2 \times 0,4 \text{ мк}^2$ и менее.

Если исходить из этого уровня технических характеристик пленочных элементов и технологии их производства, освоение которого в ближайшее время не вызывает сомнений, то для системы из 10^{12} элементов получаются ориентировочные оценки, которые хотя и не являются фантастическими, но все же еще остаются, по-видимому, неприменимыми. Например, суммарный физический объем накопителей, из которых можно было бы сконструировать память на 10^{12} бит, получается порядка 10 м^3 , а длительность вакуумно-технологического цикла по их изготовлению — порядка 10^7 часов работы вакуумной камеры высокой производительности.

Поэтому наряду с такими оценками интересны и те предельные оценки, которые определяются естественными ограничениями, присущими магнитным пленкам и пленочным запоминающим устройствам. При получении таких оценок методически правильнее будет ограничиться рамками собственно пленочного накопителя (куба памяти) и не рассматривать систему управления накопителем, так как характеристики этой системы определяются самостоятельно, в частности, характеристиками полупроводниковых приборов, и не зависят от свойств магнитных пленок.

Основная стратегия в совершенствовании пленочных накопителей — это уменьшение размеров запоминающих элементов и повышение скорости их переключения. При уменьшении размеров элемента улучшаются характеристики системы переключения элементов и считываемых сигналов с них, так как уменьшаются задержки и затухание в линиях этой системы и уменьшается величина мощности, отнесенная к одному элементу. В результате появляется возможность либо повысить быстродействие накопителя при сохранении

его информационной емкости, либо увеличить эту емкость, не снижая быстродействия. Но ограничению размеров элемента есть предел: уменьшается считываемый сигнал и ухудшается отношение сигнала к помехе, причем изменение сигнала происходит быстрее, нежели изменение линейных размеров, так как при изменении ширины пленки нужно уменьшать ее толщину, чтобы не усугублять вредное влияние размагничивающих полей.

При повышении скорости переключения увеличивается и сигнал и помеха, но, как будет показано ниже, отношение сигнал — помеха улучшается. Однако эта скорость ограничивается возможностями полупроводниковых приборов системы управления накопителем и, как только что отмечалось, емкостью накопителя. Таким образом, параметры накопителя тесно связаны между собой.

Ниже приводится количественная оценка физических параметров магнитных пленок и пленочного накопителя и объясняется взаимосвязь между быстродействием, емкостью и надежностью.

Энергия переключения и потребляемая мощность

При квазистатистическом перемагничивании тонкой пленки основная доля энергии расходуется на насыщение ее в направлении трудного намагничивания. Для этого к единице объема магнитного материала нужно подвести энергию $\frac{1}{2} H_K \cdot B$, где H_K — поле аннизотропии (порядка 3 эрстед для пленок $80\% \text{ Ni} - 20\% \text{ Fe}$), а $B = 4\pi J_s$ — индукция насыщения ($J_s = 800 \text{ гс}$ для тех же пленок). Удельная объемная энергия, которая нужна для перемагничивания пленки из трудного направления в легкое и расходуемая в связи с наличием неоднородности магнитных свойств пленки, почти на порядок меньше этой основной компоненты.

В табл. 2 даны оценки удельной энергии перемагничивания, объема магнитного материала и энергии квазистатистического переключения пленочных и ферритовых элементов памяти в двух вариантах — широко используемых и совмещаемых. Из нее видно, что вследствие разницы в объеме порядка 10^8 раз энергия переключения пленочного элемента в 200 — 350 раз меньше, чем ферритового сердечника. Однако из этого вывод не следует, что во столь-

Таблица 2

Размеры элемента	Объем		Уд. энерг.		Энерг. пере- ключения элемента	$V_{\phi} : V_n$	$E_{\phi} : E_n$
	V_{ϕ}	V_n	e_{ϕ}	e_n			
	D	α	h	δ	эрг/см ³	эрг	$E_{\phi} : E_n$
Феррит 2ВТ	1.0	0.7	0.35		$3.6 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	180:1
Пленка	1.7	0.9	$1.2 \cdot 10^{-4}$		$1.5 \cdot 10^4$	$1.85 \cdot 10^{-7}$	760:1
Феррит	0.32	0.18	0.13		0.025	$7.1 \cdot 10^{-6}$	1480:1
Пленка	0.4	0.2	$0.4 \cdot 10^{-4}$		$7.2 \cdot 10^{-5}$	$4.8 \cdot 10^{-9}$	350:1

ко же раз меньше и мощность, подводимая к накопителю, к его числовым (адресным) и разрядным линиям. Например, для управления числовой линейкой в накопителе, имеющей 100 разрядов и 8 тыс. чисел, расходуется при каждом переключении энергия:

$$U_{\alpha} \cdot I_{\alpha} \cdot \tau_{\alpha} = 2\text{в} \cdot 1\text{а} \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \text{сек} = 2 \cdot 10^{-7} \text{дж} = 2 \text{ эрг.}$$

Кроме того, к 100-разрядным линиям подается энергия:

$$U_p \cdot I_p \cdot \tau_p \cdot M = 2\text{в} \cdot 0,1\text{а} \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \text{мксек} \cdot 100 = 20 \cdot 10^{-7} \text{дж} = 2 \text{ эрг.}$$

Из табл.2 (вторая строка) видно, что энергия квазистатистического переключения 100 таких элементов—порядка 0,3 эрг., то есть в несколько десятков раз меньше. Из этого вытекают два следствия.

Во-первых, в пленочном накопителе в отличие от ферритового мощность, рассеиваемая магнитным носителем, составляет ничтожную долю мощности, подводимой к накопителю в целом. Поэтому ограничения, накладываемые на конструкцию накопителя в части мощности, рассеиваемой в единице объема, для пленочных накопителей отстоит гораздо дальше, чем для ферритовых. Это тем более справедливо, что форма пленочного элемента обеспечивает ему идеальные условия для отвода тепла: отношение поверхности $S_{\text{п}}$ к объему $V_{\text{п}}$ для пленки составляет:

$$S_{\text{п}} : V_{\text{п}} = \frac{2}{\delta} \approx (2 \div 5) \cdot 10^4 \text{ мм}^{-1},$$

где δ — толщина пленки, тогда как для ферритового сердечника

$$S_{\phi} : V_{\phi} = \frac{1}{2h} + \frac{4}{D \cdot \alpha} = (15 \div 40) \cdot \text{мм}^{-1},$$

где D и α — внешний и внутренний диаметры, h — высота.

Во-вторых, в пленочном накопителе в отличие от ферритового число элементов в адресной линии можно брать соизмеримым с числом элементов в разрядной линии, так как нагрузка на адресный формирователь слабо зависит от числа самих элементов и от вариаций записываемого в них кода. Это тем более допустимо, что область работоспособности магнитных пленок весьма не критична к изменениям адресного тока вследствие, например, затухания, если этот ток не меньше некоторой пороговой величины.

Чтобы оценить величину энергии, которая потребляется вычислительной системой или накопителем из очень большого числа

элементов, нужно иметь конкретную информацию относительно числа одновременно переключаемых элементов. В накопителе оно равно числу параллельных разрядов, в вычислительной среде - какой-то доле от общего числа элементов. Если компоновать накопитель на 10^{12} бит из блоков по 2^{13} чисел, 100 разрядов, умноженных выше в качестве примера, то для работы его на частоте 2 мГц нужно подводить к нему мощность 145 тыс.квт.

Рабочая частота. Размеры накопительной матрицы

В ферритовых запоминающих устройствах для уменьшения времени переключения ферритового сердечника нужно уменьшать его диаметр, и поэтому имеется предел повышения быстродействия, определяемый технологическими трудностями - сложностью изготовления, отбраковки и припайки сердечников малых размеров.

Магнитные пленки не имеют такого ограничения: скорость их перемагничивания путем однородного вращения намагниченности не зависит от размеров образца. Но быстродействие накопителя в целом зависит от его линейных размеров, и проблема повышения быстродействия превращается в конечном счете в проблему уменьшения размеров накопителя: либо за счет уменьшения его емкости, либо (при неизменной емкости) за счет повышения плотности размещения элементов, то есть за счет уменьшения размеров элемента памяти.

Чтобы установить связь между быстродействием накопителя и его линейными размерами, рассмотрим накопитель емкостью C из N чисел по M разрядов: $C = M \cdot N$ (рис. 1).

Размер накопителя в направлении адресных линий ограничен допустимой величиной затухания адресного тока и величиной завызывания. Выше отмечалось, что магнитные пленки не критичны к изменению адресного тока. Что же касается величин задержки распределения импульса тока в линии, то эта величина равна

$$\Delta t_a = M \cdot b \cdot D_a,$$

где b - расстояние (шаг) между разрядными линиями, D_a - задержка распространения сигнала на единицу длины адресной линии.

Очевидно, задержка не может быть больше длительности цикла, иначе возникает большое неудобство в работе системы в свя-

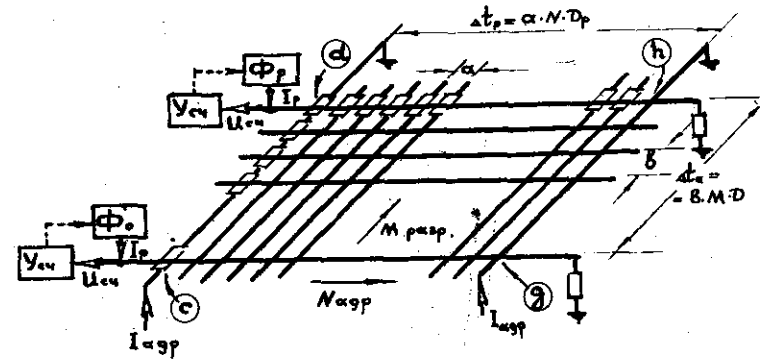


Рис. 1

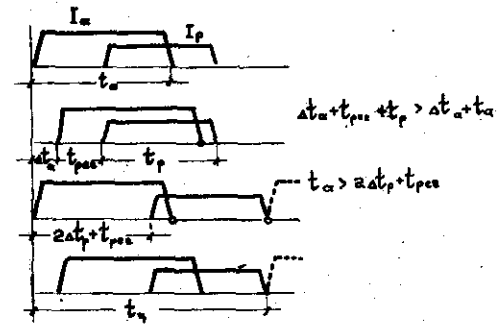


Рис. 2

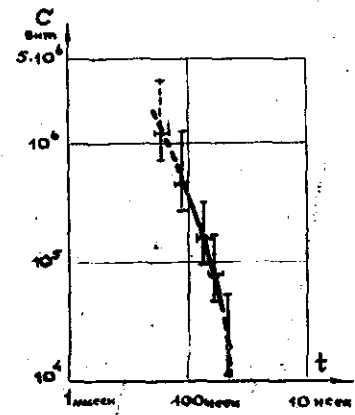


Рис. 3

зи с появлением временных пересечений - совпадения во времени компонентов разных циклов. Более того, учитывая, что адресная линия короткозамкнута и что в ней от короткозамкнутого конца отражается волна тока, нужно учитывать удвоенную задержку:

$$t_4 \geq 2 \Delta t_a.$$

Размер накопителя в направлении разрядных линий ограничен допустимой величиной затухания разрядного тока, считываемого сигнала и величиной их запаздывания. Диапазон изменения разрядного тока записи фактически определяет ширину области работоспособности магнитной пленки, и хотя она у пленок шире, чем у ферритов, нетрудно получить отношение между максимальными и минимальными граничными токами области порядка 3 : 1. тем не менее нецелесообразно допускать затухание разрядного тока больше, чем на 10 - 20%.

Задержка распространения сигнала в разрядной линии

$$\Delta t_p = N \cdot a \cdot D_p, \quad (2)$$

где a - расстояние (шаг) между линиями, D_p - задержка на единицу длины линии, в конечном счете определяет длительность цикла. Рассматривая эпилы токов по углам накопителя (точки c, d, g, h на рис.1), можно получить следующие соотношения:

из условия обязательного перекрытия задним фронтом адресного тока переднего фронта разрядного тока при записи (точка g - на рис.1, абсцисса t_p на рис.2):

$$t_a \geq 2 \Delta t_p + t_{pez}, \quad (3)$$

где t_{pez} - время регенерации, прохождения сигнала от края cd накопителя через усилители считывания и формирователи разрядного тока записи;

из условия обязательного перекрытия задним фронтом разрядного тока заднего фронта адресного тока при записи (точка c - на рис.1 и абсцисса t_B - на рис.2):

$$t_p + t_{pez} \geq t_a; \quad (4)$$

из условия недопустимости перекрытия заднего фронта разрядного тока передним фронтом адресного тока (точка g - рис.1, абсцисса t_a - на рис.2):

$$t_4 \geq t_a + t_p. \quad (5)$$

В (3) учтено то обстоятельство, что считываемый сигнал из точки g матрицы проходит через всю разрядную линию, порождает разрядный ток записи, который возвращается к точке g опять через всю линию, и до этого момента должен сохраняться и адресный ток. Для большей точности в (3) следовало бы учесть длительность фронтов импульсов. Условия (4) и (5) более очевидны.

Из (3), (4) и (5) получается:

$$t_4 \geq 4 \Delta t_p + t_{pez} \quad (6)$$

В более общем виде следовало бы записать

$$t_4 = m \cdot \Delta t_a + n \cdot \Delta t_p + t_{pez}. \quad (7)$$

В этом случае можно было бы учесть времена затухания, пропорциональные величинам Δt_a и Δt_p , переходных процессов в линиях, возникающих из-за неполного их согласования с нагрузкой, а также учесть возможные модификации режимов работы накопителя, не ограничиваясь одним, который был рассмотрен выше. Например, если вместо одновременной подачи адресных токов к краям cd матрицы ввести распределение их по времени на отрезке Δt_p , то можно сократить длительность адресного импульса на Δt_p (изменяется условие (3)) и соответственно уменьшить t_4 . Аналогично можно ввести распределенную подачу разрядных токов на отрезке Δt_a и уменьшить длительность импульса разрядного тока. Ориентировочно можно вначале принять $m = 1, n = 4$.

Подставляя (1) и (2) в (7), можно найти, что минимальная длительность цикла при выполнении условий

$$M = \sqrt{C \frac{n a D_p}{m b D_a}}, \quad N = \sqrt{C \frac{m b D_a}{n a D_p}} \quad (8)$$

будет равна:

$$t_4 = \sqrt{2} \sqrt{C \cdot a b} \cdot \sqrt{m n D_a D_p} + t_{pez}, \quad (9)$$

или

$$t_4 = \text{const} \cdot \sqrt{S} + t_{pez}, \quad (10)$$

где $S = C \cdot a b$ - суммарная площадь накопителя. Если ввести понятие плотности размещения элементов - числа их на единицу площади $F = (a b)^{-1}$, то можно представить (9) в виде:

$$t_4 = \text{const} \cdot \sqrt{C} \cdot \frac{1}{\sqrt{F}} + t_{pez}. \quad (II)$$

Выводы (IО) и (II) в значительной мере очевидны: быстродействие накопителя находится в обратной зависимости по отношению к корню квадратному из его суммарной площади, то есть зависит от емкости C , а не от размеров элемента непосредственно. Если же емкость C задана, то быстродействие прямо пропорционально (с точностью до роли слагаемого t_{pec}) плотности размещения элементов памяти на поверхность матрицы. Таким образом, за счет уменьшения размеров элемента памяти можно увеличить емкость накопителя, не снижая его быстродействия, или же повысить быстродействие, не уменьшая емкости. Если же эти размеры фиксированы, то единственный путь повышения быстродействия накопителя — это уменьшение емкости блока памяти.

В связи с этим возникает вопрос о том, до какого предела можно уменьшать размеры элемента и каковы предельные абсолютные размеры накопителя в одном блоке памяти. Если не ставить целью получение максимального быстродействия, а стремиться к получению максимальной емкости блока, то размер накопителя в направлении разрядной линии будет определяться величиной затухания разрядного тока. Из опытных данных, полученных в процессе создания накопителей (табл. I), известно, что 10-процентное затухание разрядного тока происходит в линии, имеющей длину около 8 м; задержка распределения сигнала в такой линии составляет $D_p = 7$ нсек/м и суммарная задержка $\Delta t_p = 56$ нсек. Вдоль такой линии размещается $N = 8192$ элементов размером $0,8 \times 1,4$ мм². По-видимому, вполне реально увеличение этого числа в 3 — 4 раза, то есть увеличение до $(2,5 - 3) \times 10^4$ элементов. Из (8) видно, что для получения максимального в этих условиях быстродействия нужно выдержать соотношение $M:N \approx 2 D_p : D_a$. Типичное соотношение $D_a \approx (2 \div 3) D_p$, поэтому $N \approx 2M$. Следовательно, максимальный объем пленочного накопителя в одном блоке порядка 10^8 бит. Но быстродействие при этом не выше 2 — 3 мГц. Однако возможен и другой выбор соотношения между M и N : по условию минимальных аппаратных затрат [I]. Заметим, что увеличение числа N при постоянном M означает уменьшение доли одновременно работающих элементов в системе. В вычислительных системах с большим числом элементов, по-видимому, не всегда целесообразно стремиться к большим величинам N ; вместе с тем вполне вероятно, что будет использована возможность увеличения

M , представляемая свойствами пленочных магнитных элементов.

Отношение сигнал/помеха. Минимальные размеры элемента памяти

Из-за уменьшения сигнала при уменьшении размеров элемента памяти ухудшаются отношение сигнал-помеха и надежность накопителя. Поэтому минимальные размеры элемента устанавливаются из условия обеспечения заданной надежности. Эта задача была решена в работах [I] и [2]. Ниже следует изложение основных положений этих работ.

Защищенность системы по отношению к случайным внешним помехам задается так называемым средним временем между сбоями или средним временем наработки на отказ — $t_{н.о.}$. Схема, состоящая из M одинаковых устройств (применительно к памяти — это M параллельных разрядов) и работающая с частотой f , за это время сделает $f \cdot t_{н.о.} \cdot M$ элементарных операций. Согласно определению, только одна из них может быть ошибочной, следовательно, вероятность сбоя, оговариваемая параметром $t_{н.о.}$, будет:

$$P = \frac{1}{f \cdot t_{н.о.} \cdot M} \quad (12)$$

Например, при $f = 10$ МГц, $t_{н.о.} = 100$ лет получается

$$P = \frac{1}{10^{-7} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 3 \cdot 10^{-19}$$

Действие шумов условно отождествляется с действием случайных импульсов напряжения, амплитуда которых подчиняется нормальному закону распределения

$$P(V) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{V^2}{2\sigma_n^2}}, \quad (13)$$

где σ_n — среднее квадратическое напряжение шумов. В этом случае вероятность того, что напряжение шумов не превысит некоторый пороговый уровень V_0 , определяется как

$$P(V_0) = \int_{V_0}^{\infty} \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{V^2}{2\sigma_n^2}} dV \quad (14)$$

или

$$P(S_0) = \frac{1}{2} - \Phi(S_0), \quad (15)$$

где

$$\Phi(S_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{S_0} e^{-\frac{s^2}{2}} ds$$

- интеграл вероятностей и

$$s = \frac{V}{\sigma_n}, \quad s_0 = \frac{V_0}{\sigma_n}$$

Пользуясь таблицами интеграла вероятностей, можно построить зависимость $P(S_0)$ или же обратную ей $S_0(P)$. Подставляя в нее P из (12), можно перейти к зависимости S_0 от $t_{н.о.}$ при фиксированных f и M и определить таким образом величину порогового напряжения V_0 в единицах среднеквадратичного напряжения шумов σ_n . Например, для $P = 3 \cdot 10^{-19}$ получается $S_0 = 9,2$, то есть $V_0 = 9,2 \sigma_n$.

Известно, что для тепловых шумов в сопротивлениях, тепловых контактах и т.п. эквивалентное среднеквадратичное напряжение определяется как

$$\sigma_n^2 = 4kT \cdot R \cdot B$$

где k - постоянная Больцмана, T - температура в $^{\circ}K$, R - эквивалентное шумовое сопротивление входного контура, B - ширина полосы частот усилителя. В первом приближении можно ограничиться лишь шумами этой природы, идеализировав усилитель, полагая, что он не вносит добавочных шумов.

В [1] в качестве примера приведено, что при $R = 50$ ом и $B = 4f_c = 4,65$ Мгц, получающаяся при времени переключения пленки за $\tau = 10$ нсек, среднеквадратичная амплитуда шумов составляет $V_0 = 14 \cdot 10^{-6}$ в, а для обеспечения $P = 3 \cdot 10^{-19}$ нужно установить порог на уровне $V_0 = 9,2 \cdot 14 \cdot 10^{-6} = 140 \cdot 10^{-6}$ в. Эта величина V_0 и должна служить ориентиром при выборе размеров элемента памяти.

Но такую связь можно представить и как аналитическую. Счи-

тываемый сигнал в момент стробирования, как уже отмечалось, должен превосходить уровень помех:

$$V_{сч} \geq K_1 \cdot S_0 \sigma_n,$$

где коэффициент K_1 отражает ряд обстоятельств: стробирование происходит не обязательно в момент амплитудного значения сигнала; стробирующий импульс сам создает помеху, которую можно пересчитать ко входу; должен быть запас амплитуды сигнала для усиления и т.д.

С другой стороны,

$$V_{сч} = g \eta J_s \cdot k_2 a \cdot d \cdot \frac{1}{K_3 \tau_{ФН}},$$

где g - коэффициент формы импульса считанного напряжения, η - коэффициент потокоосцепления, $k_2 a$ - ширина пленки, J_s - индукция насыщения, $K_3 \tau_{ФН}$ - базисная ширина импульса считываемого напряжения, $\tau_{ФН}$ - длительность переднего фронта импульса перемагничивающего поля. Если принять $K_3 \tau_{ФН} = 2 \tau_{ФН}$ и использовать известное соотношение для полосы частот

$$B = \frac{0,35}{\tau_{ФН}},$$

то из (16), (17) и (18) получается:

$$\tau_{ФН} \leq \frac{(K_4 g \eta J_s \cdot a d)^2}{S_0^2 k T \cdot R}$$

Если затем учесть, что для короткозамкнутой на конце адресной линии

$$\tau_{ФН} = \tau_{Ф1} + 2 \Delta t_a,$$

где $\tau_{Ф1}$ - длительность переднего фронта импульса адресного тока, и, кроме того, принять $\Delta t_a = \Delta t_p$ и воспользоваться (8), то получается

$$N \leq \frac{1}{2 a D_p} \cdot \left[\frac{(K_4 g \eta J_s \cdot a d)^2}{S_0^2 \cdot k T \cdot R} - \tau_{Ф1} \right]$$

Таким образом, существует взаимосвязь между минимальными размерами пленочного элемента памяти и максимальной емкостью накопителя при заданных требованиях по надежности (параметр $s_0(t_{н.о.})$) и других фиксированных параметрах ячейки памяти накопителя и

системы управления.

Результаты расчетов по этой методике оформлены в [2] в виде графика, показывающего связь между емкостью накопителя и длительностью цикла (рис.3). Из него видно, что при небольшой емкости накопителя $\sim 4 \cdot 10^4$ бит—можно рассчитывать на уменьшение цикла до 50нсек, но при этом резко возрастает стоимость схем управления, если комплектовать большую систему из накопителей такой емкости.

Сравнения (16) и (18) показывает, что при уменьшении времени перемагничивания пленки — величины $\tau_{\text{ФН}}$ — отношение сигнал/помеха улучшается, как $(\tau_{\text{ФН}})^{1/2}$, поскольку сигнал изменяется, как $(\tau_{\text{ФН}})^{-1}$, а помеха — как $(\tau_{\text{ФН}})^{-1/2}$. Из (20) видно, что скорость переключения должна быть не ниже некоторого уровня, если нужно обеспечить заданное время наработки на отказ.

Область работоспособности

У ферритовых запоминающих элементов область работоспособности при повышении быстродействия сужается и, более того, время переключения можно уменьшить лишь до некоторого предела. Эти ограничения возникают из-за того, что перемагничивание сердечника как по предельному, так и по частному циклам подчинено закономерности

$$(H - H_0)\tau = S_w$$

(у частного цикла H_0 и S_w имеют значения, зависящие от степени переключения), а соотношение между величинами переключаемого поля H при полном и частном циклах нельзя выбрать произвольным — оно подчинено жестким требованиям режима записи.

Пленочные элементы памяти переключаются по крайней мере на порядок быстрее, чем это в состоянии обеспечить обычные современные полупроводниковые схемы управления ими. Поэтому во всех практических расчетах пленки можно считать безинерционными. Другими словами, можно считать, что область работоспособности магнитной пленки постоянна на всех частотах.

Это означает, что проблема обеспечения надежности за счет

расширения области работоспособности у пленочных запоминающих устройств приобретает иную постановку, нежели у ферритовых устройств — она расчленяется на две независимые проблемы. С одной стороны, нужно обеспечить область работоспособности магнитной пленки в условиях, которые могут быть даже близкими к квазистатистике. С другой — нужно обеспечить область работоспособности системы управления накопителем на всех рабочих частотах, включая и максимальную.

Область работоспособности пленочного элемента памяти характеризуется тремя пороговыми величинами: минимальным адресным полем $H_{\text{аН}}$, минимальным разрядным полем записи $H_{\text{рз}}$ и максимальным разрядным полем разрушения $H_{\text{рр}}$. Адресное поле определяется в первом приближении величиной поля анализатора пленки H_k , но сильно зависит также от величины неоднородностей магнитных свойств пленки — дисперсии поля анизотропии по величине δH_k и по направлению δd . Этими же двумя последними характеристиками определяется и разрядное поле записи. Поле разрушения в первом приближении определяется величиной коэрцитивной силы H_c , отображающей процессы движения доменных стенок или зародышеобразования, но оно очень сильно зависит от характеристик сползания доменных границ (крипа). Эти вопросы рассмотрены в [3].

Область работоспособности системы управления накопителем определяется так же, как для обычных полупроводниковых систем. Основное требование при этом состоит в том, чтобы обеспечить соответствующее взаимное положение управляющих сигналов на шкале времени при любых возможных изменениях параметров схемы: характеристик деталей, питающих напряжений, окружающей температуры и т.д. В частности, нужно безусловно выполнять требования, упоминавшиеся при написании (3), (4) и (5). В конечном счете эта проблема сводится к взаимоотношению между быстродействием и надежностью. Анализ ее дал А.Д. Бех в [3].

Кроме того, определенные ограничения накладываются и на величины управляющих сигналов, и прежде всего на величину разрядного тока записи. Однако в целом ограничения менее строгие, чем в ферритовых запоминающих устройствах, так как при управлении пленочными элементами памяти управляющие токи действуют на пленку самостоятельно. Вследствие этого и область работоспособ-

ности пленочных запоминающих устройств получается шире, чем у ферритовых. Например, блок памяти на 1024 числа (вторая строка табл. I) при прямо-сдаточной и последующей эксплуатации сохраняет работоспособность при отклонении управляющих токов непосредственно в накопителе до $(-10 \pm +17)\%$ от номинального значения.

Пределные оценки по быстродействию, области работоспособности и информационной емкости в интегральном блоке, которыми оцениваются потенциальные возможности накопителей на тонких магнитных пленках, лучше, чем у ферритовых накопителей. Освоение этих возможностей только начато. Технологическая база для изготовления пленочных накопителей в основном совпадает с современной технологической базой микроэлектроники и хорошо приспособлена для автоматизации.

Поэтому магнитные пленочные элементы нельзя исключить из числа средств, пригодных для построения больших вычислительных систем.

Л и т е р а т у р а

1. FOMM, A., ZINGG R. IEEE Transact. on Magn., MAG-4, 3, 1968, 146-152.
2. STEIN K. Electron. Rechenanlag , 1969, II, № 65-73. (перевод: Экспресс-информация "Вычислительная техника", реф. I20, 1969, №34).
3. МИХАЙЛОВ Г.А., БЕХ А.Д., МАРКОВ Г.П., ОСТАПЕНКО Д. В. "Магнитные пленки в вычислительной технике", "Наукова думка", Киев, 1967.

Поступила в редакцию
19.XI.1969