

ЗАПИСЬ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА МАГНИТНОМ БАРАБАНЕ

А. Н. Мямлин, В. Ю. Вершубский, Э. И. Наумов

Приводятся результаты исследования записи цифровой информации на магнитном носителе барабана с плотностью 16 — 20 знаков на *мм*.

Плотность записи на магнитном барабане зависит от конструкции магнитной головки, величины зазора между носителем и магнитной головкой, скорости перемещения носителя относительно головки, длительности сигналов записи, качества и толщины магнитного носителя. Большинство перечисленных факторов связаны между собой. В настоящее время основными факторами, лимитирующими повышение плотности записи на магнитном барабане, являются конструкция магнитной головки и величина зазора между головкой и покрытием.

Разрешающая способность магнитной головки определяется размерами области, в которой существенно магнитное поле *H*, окаймляющее зазор головки при ее возбуждении малым током (например, $H \geq 0,05$ эрстед, см. приложение). Для повышения разрешающей способности головок последние должны иметь конструкцию, обеспечивающую резкое спадание окаймляющего поля в малой области. Для получения плотности записи 10 знаков на *мм* необходимо, чтобы поле головки было локализовано в области шириной менее 100 *мк*. Один из способов уменьшения окаймляющего поля заключается в уменьшении толщины полюсных наконечников и переднего зазора головки. Необходимо, однако, учитывать, что при малом зазоре его магнитное сопротивление и сопротивление магнитопровода головки становятся сравнимыми по величине. При воспроизведении создаваемый носителем магнитный поток разветвляется: часть потока замыкается через передний зазор головки, минуя магнитопровод. Естественно, что эффективность головки при воспроизведении тем ниже, чем большая часть потока замыкается через зазор.

Для получения удовлетворительного отпечатка на магнитном носителе при уменьшении размеров окаймляющего поля необходимо свести до минимума зазор между носителем и головкой. Эксцентризитет при изготовлении барабана трудно сделать меньше $3 \div 4$ *мк*. Обеспечить при этих условиях стабильный зазор величиной несколько микрон представляется возможным лишь при создании блока головок, автоматически следящего за поверхностью барабана [5].

1. МАГНИТНАЯ ГОЛОВКА

Конструкция магнитной головки, объединенной с трансформатором, изображена на рис. 1. Собственно магнитная головка представляет собой „подкову“ из материала с высокой магнитной проницаемостью (пермаллои и др.). Обмотка головки состоит из одного витка и одновременно является вторичной обмоткой трансформатора. Конструктивное объединение магнитной головки и трансформатора сделано для избежания потерь при передаче больших токов записи. Отношение $h/a = 15 \div 25$ в зависимости от толщины материала магнитопровода. Сердечник трансформатора изготовлен из оксифера диаметром 3 *мм*.

(магнитная проницаемость $\mu = 1000$). Первичная обмотка трансформатора состоит из 45 витков провода ПЭВ 0,1 м.м. Вторичная обмотка трансформатора представляет собой квадратный виток из медной фольги толщиной 15 мк. Нижняя часть этого витка охватывается „подковой“ из пермаллоя толщиной 10 \div 20 мк и зажимается в оправку. Ширина полюсных наконечников головки 1 м.м. Индуктивность такой головки в собранном виде составляет около 9 мкГн.

Головки испытывались на ферролаковом и никель-кобальтовом покрытиях. При использовании ферролакового покрытия отношение сигнал/шум несколько хуже, чем для никель-кобальтового. Линейная скорость носителя ~ 30 м.сек $^{-1}$. Схема записи позволяла выдавать пачку импульсов, синхронизированных с ранее записанным на другой дорожке маркерным импульсом. Период повторения импульсов в пачке изменялся от 1,5 до 20 мксек; длительность импульса тока записи от 0,4 до 1,5 мксек. Амплитуда тока записи от 0 до 4а.

При полюсных наконечниках магнитной головки из неотожженного пермаллоя 50НХС толщиной 20 мк и зазоре между носителем и головкой меньше 5 мк (о зазоре смотри ниже) была получена без искажения амплитуды плотность записи цифровой информации 10 знаков на м.м.

На рис. 2а и 2б приведены осциллограммы одиночного импульса и кода 1111011111 (частота следования импульсов 300 кгц, длительность тока записи 0,4 мксек, амплитуда 3а; выходной сигнал имеет амплитуду 1 мв).

На рис. 2в и 2г приведены осциллограммы сигналов при толщине полюсных наконечников головки 10 мк. Амплитуда и длительность тока записи такие же, как и в предыдущем случае. Плотность записи 16 импульсов на м.м.

На рис. 2д приведена осциллограмма сигналов, полученных с той же головки при плотности записи 20 знаков на миллиметр. Из осциллограммы видно, что имеет место искажение сигналов. Используя при формировании считанных сигналов дифференцирование [1], можно получить вполне надежное разделение нулей и единиц даже при частичном наложении считанных сигналов. На рис. 2е приведена осциллограмма сформированных сигналов для плотности 20 знаков на м.м.

Сравнительно малая амплитуда сигнала с головки не является серьезным недостатком. Головка обладает малым импедансом и позволяет использовать повышающий трансформатор, который используется при записи и воспроизведении.

Головка работает с большими плотностями тока. Однако обойма головок интенсивно обдувается воздухом, увлекаемым поверхностью барабана, и хорошо охлаждается.

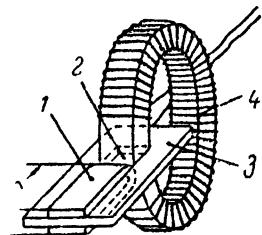


Рис. 1.

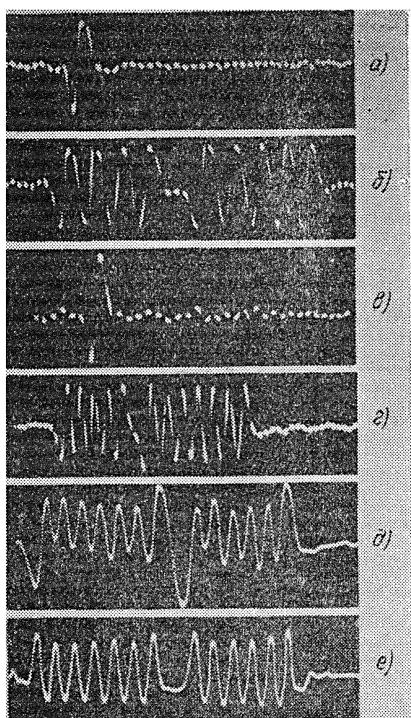


Рис. 2.

Для определения оптимальной амплитуды тока записи снималась зависимость считываемого сигнала от амплитуды тока записи. Сравнительно большой ток записи (около 3А) можно объяснить тем, что для приведения системы магнитная головка-носитель в определенное магнитное состояние за малый отрезок времени необходима намагничающая сила много больше коэрцитивной.

2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОДДЕРЖАНИЕ ЗАЗОРА

Уменьшение переднего зазора магнитных головок требует уменьшения зазора между головкой и носителем. Поддержание постоянного зазора при его величине в несколько микрон представляет собой нелегкую инженерную задачу. Применение термокомпенсации и весьма жесткие требования, предъявляемые к обработке барабана, не дают достаточно удовлетворительных результатов. В этой связи весьма перспективным представляется переход на плавающую подвеску головок.

Если бесконечная плоскость движется относительно наклонной пластинки в вязкой несжимаемой среде, то возникает усилие, отводящее пластинку от плоскости [2]. При заданном наклоне пластинки результирующее давление обратно пропорционально квадрату величины зазора между пластинкой и движущейся плоскостью. Если пластинка нагружена силой P , то установится некоторый равновесный зазор, при котором имеет место равновесие внешней силы и отжимающей силы, обусловленной вязкостью среды. Если вследствие каких-либо причин зазор изменится, то возникнет избыточная сила, стремящаяся вернуть пластинку в равновесное положение. В случае врачающегося цилиндра и пластинки процесс, по сути дела, аналогичен.

Макет, на котором проводилась работа, имеет два барабана диаметрами 600 мм и 200 мм с плавающей подвеской блоков магнитных головок. Подвеска плавающего блока состоит из вилки, рамки и собственно плавающего блока. Эта система образует „карданов подвес“, позволяющий блоку свободно устанавливаться параллельно образующей и следить за поверхностью барабана. Подвеска делается по возможности более легкой, чтобы ее инерция не влияла на стабильность зазора при наличии эксцентричества барабана. В установку входит система, позволяющая прижимать плавающий блок к поверхности барабана с заданной силой. Совместно с подвеской эта система представляет собою аэродинамические весы.

Попытки измерить величину зазора с помощью пучка света, проходящего через него, не привели к положительным результатам, так как в наиболее интересной области величин зазоров ($\sim 5 \text{ мк}$) количество проходящего света весьма мало по сравнению с рассеянным светом, отраженным от деталей конструкции. Поэтому оценка величины зазора производилась косвенным путем. Величина и стабильность зазора оценивались по амплитуде воспроизводимых сигналов (запись и чтение производились одной и той же головкой). С точки зрения магнитной записи воспроизводимый сигнал является окончательным „продуктом“, так что в данном случае подобный подход является оправданным.

Испытания плавающего блока магнитных головок производились на барабане диаметром 600 мм (ферролаковое покрытие) и барабане диаметром 200 мм (никель-кобальтовое покрытие). Линейная скорость поверхности барабана 30 м сек^{-1} . Площадь стороны блока, обращенная к магнитному барабану, составляла $10 \times 15 \text{ м.м.}$.

Максимальная прижимающая сила P_{\max} , при которой блок головок „ложится“ на барабан, сильно зависит от формы поверхности блока, обращенной к барабану. При плоской поверхности для барабана диа-

метром 600 м.м. P_{\max} равняется 190 г, для барабана диаметром 200 м.м. — 50 г. Уменьшение отжимающей силы объясняется возросшей кривизной поверхности барабана. Сравнительно большая кривизна барабанов приводит к тому, что явление существенно искажается по сравнению с пластинкой, движущейся относительно плоскости.

Максимальное гидродинамическое усилие возникает при вполне определенном соотношении входного и выходного сечений; поэтому выгоднее было бы сделать поверхность барабана и внутреннюю поверхность блока конгруентными. Опыты подтверждают это предположение: для плавающих блоков тех же габаритов, что и в первом случае, при тертых поверхностях „касания“ по барабанам, максимальная прижимающая сила возросла, соответственно, до 500 и 450 г.

На рис. 3 приведены осциллограммы серии импульсов, записанных и воспроизведенных головкой, неподвижно закрепленной относительно поверхности барабана, и аналогичной головкой, автоматически следящей за поверхностью барабана. Как видно из осциллограмм, плавающая подвеска блока головок совершенно исключает модуляцию сигналов, вызываемую биением барабана при неподвижно закрепленных головках.

Изложенные результаты показывают, что конструкция блока головок, автоматически следящего за поверхностью барабана, в сочетании с малогабаритными магнитными головками позволяет увеличить плотность записи цифровой информации на магнитном барабане до 16–20 знаков на м.м.

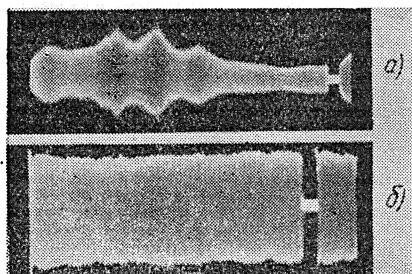


Рис. 3.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНКА РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАГНИТНОЙ ГОЛОВКИ

Для двух контуров, связанных общим магнитным потоком, из теоремы взаимности следует, что

$$\Phi_{1,2} = M_{1,2} i_2; \quad \Phi_{2,1} = M_{2,1} i_1, \quad (1)$$

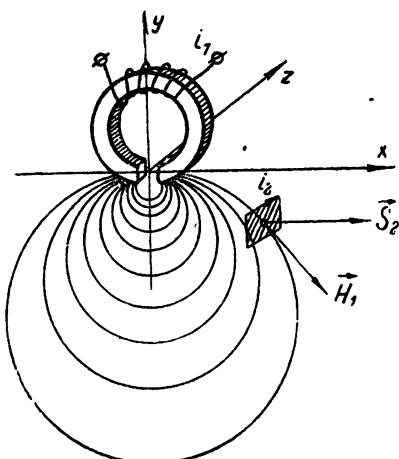


Рис. 4.

где $\Phi_{1,2}$ — поток через поверхность, стягиваемую первым контуром, и создаваемый током i_2 во втором контуре, $\Phi_{2,1}$ — поток сквозь второй контур, создаваемый током i_1 в первом контуре, $M_{1,2} = M_{2,1}$ — коэффициент взаимоиндукции.

Пусть одним контуром является обмотка магнитной головки, а вторым контуром — контур в поперечном сечении магнитного носителя (см. рис. 4). Допустим, что

1) в контуре головки протекает ток, достаточно малый, для того чтобы задачу считать линейной (этот ток создает в пространстве магнитное поле $H_1(x, y, z)$);

2) величина этого тока равна единице;

- 3) сечение S_2 контура 2 настолько мало, что H_1 в этом сечении можно считать неизменным в сечении;
 4) задача плоская ($\partial H / \partial z = 0$).

Для единичного тока в первом контуре поток $\Phi_{2,1}$ сквозь второй контур будет равен $\Phi_{2,1} = S_2 H_1$; аналогично для любого тока в первом контуре

$$\Phi_{2,1} = S_2 H_1 i_1. \quad (2)$$

Возьмем составляющие потока по координатным осям

$$\Phi_{2,1x} = S_{2x} H_{1x} (x, y) i_1;$$

$$\Phi_{2,1y} = S_{2y} H_{1y} (x, y) i_1.$$

Сравнивая выражения (1) и (2), легко видеть, что

$$M_{2,1x} = S_{2x} H_{1x} (x, y);$$

$$M_{2,1y} = S_{2y} H_{1y} (x, y).$$

Учитывая, что $M_{2,1} = M_{1,2}$, можно решить обратную задачу, т. е. вычислить поток сквозь контур 1 от тока в контуре 2:

$$\Phi_{1,2} = S_2 H_1 (x, y) i_2.$$

Известно, что $\oint S_2 i_2 = m_2$, где m_2 — магнитный момент контура 2. Поэтому

$$\Phi_{1,2} \propto m_2 H_1 (x, y) \quad (3)$$

или в составляющих по координатным осям

$$\Phi_{1,2x} \propto m_{2x} H_{1x} (x, y);$$

$$\Phi_{1,2y} \propto m_{2y} H_{1y} (x, y).$$

Из приведенных соотношений видно, что $H_1 (x, y)$ (напряженность поля, создаваемая первым контуром при протекании по нему единичного тока) выступает в данном случае как мера магнитной связи между источником магнитного потока (контур 2) и магнитной головкой (контур 1).

Рассмотрим конкретный магнитный отпечаток, т. е. некоторое распределение намагниченности J на магнитном носителе. Пусть J не меняется по глубине носителя и поперек дорожки; толщина носителя и ширина дорожки неизменные. Ограничимся рассмотрением линейной задачи, как наиболее типичной, т. е. будем считать, что $J = f(x)$.

Вырежем слой нормально оси x шириной dx так, чтобы в этой области можно было считать $J(x) = \text{const}$.

Учитывая, что намагниченность — это объемная плотность магнитных моментов, для малого объема рассматриваемого слоя можно написать:

$$\sum m = J dV \propto J dx,$$

где dV — объем рассматриваемого слоя, $\sum m$ — сумма элементарных магнитных моментов, заключенных в рассматриваемом объеме. Ввиду малости объема вектор m может рассматриваться как магнитный момент слоя. Тогда, учитывая (3) и предполагая, что отпечаток смешен относительно начала координат на величину x , заключаем, что поток, создаваемый всем отпечатком,

$$\begin{aligned}\Phi_{1,2x} &\sim \int_{-\infty}^{+\infty} J_x(x - \bar{x}) H_{1x}(x, y) dx; \\ \Phi_{1,2y} &\sim \int_{-\infty}^{+\infty} J_y(x - \bar{x}) H_{1y}(x, y) dy.\end{aligned}\quad (4)$$

Пределы интегрирования в (4) можно сократить до области, в которой подынтегральное выражение отлично от нуля.

Пусть отпечаток перемещается относительно головки со скоростью v . Это вызовет изменение потокосцепления в головке и появление на концах обмотки ЭДС

$$e_x(t) = \frac{d\Phi_{1,2x}(t)}{dt} N,$$

где N — число витков в обмотке. Замечая, что $\bar{x} = vt$, получим:

$$e_x(\bar{x}) = \frac{d\Phi_{1,2x}}{d\bar{x}} Nv.$$

Подставляя сюда значение $\Phi_{1,2x}$ из (7), имеем:

$$e_x(\bar{x}) = Nv \frac{d}{d\bar{x}} \int_{-\infty}^{+\infty} H_x(x, y) J_x(x - \bar{x}) dx; \quad (5)$$

аналогично

$$e_y(\bar{x}) = Nv \frac{d}{d\bar{x}} \int_{-\infty}^{+\infty} H_y(x, y) J_y(x - \bar{x}) dy.$$

Рассмотрим конкретный случай ступенчатого изменения намагнченности вдоль носителя

$$J_x(x) = J_0 1(x).$$

Этот случай весьма характерен для записи цифровой информации.

Подставив последнее выражение в (5), получим:

$$\begin{aligned}e_x(\bar{x}) &\sim J_{0x} Nv \frac{d}{d\bar{x}} \int_{-\infty}^{+\infty} H_x(x, y) 1(x - \bar{x}) dx = \\ &= J_{0x} Nv \int_{-\infty}^{+\infty} H_x(x, y) \delta(x - \bar{x}) dx.\end{aligned}$$

Производная от ступенчатой функции есть δ -функция Дирака:

$$\delta(x - \bar{x}) = 1 \text{ при } x = \bar{x};$$

$$\delta(x - \bar{x}) = 0 \text{ при } x \neq \bar{x}.$$

Следовательно,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x - \bar{x}) H_x(x, y) dx = H_x(\bar{x}, \bar{y});$$

$$e_x(\bar{x}) \sim J_{0x} Nv H_x(\bar{x}, \bar{y}),$$

т. е.

$$e_x(\bar{x}) \sim H_x(\bar{x}, \bar{y}).$$

Аналогично

$$e_y(\bar{x}) \sim J_{0y} NvH_y(x, y),$$

т. е.

$$e_y(\bar{x}) \sim H_y(\bar{x}, \bar{y}).$$

Таким образом, если на носителе отпечаток имеет форму перепада и если намагниченность ориентирована строго вдоль носителя, то сигнал повторит по форме зависимость $H_x(x, y)$. Ширина воспроизведенного отпечатка $l = \Delta t v$ в этом случае зависит *только от конфигурации поля, окаймляющего зазор магнитной головки*. (Под шириной отпечатка l понимается область, внутри которой $|H_x| \geq \epsilon$.) Эти соображения иллюстрируются на рис. 5.

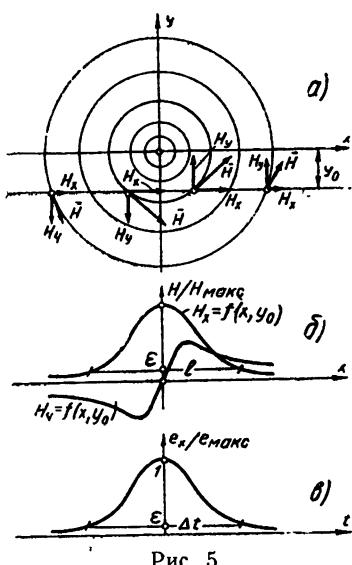


Рис. 5.

Из изложенного ясно, что окаймляющее поле должно быть локализовано в возможно более узкой области. В действительности намагниченность имеет составляющие и вдоль оси x , и вдоль оси y так же, как реальное поле головки

$$H_x = |\mathbf{H}| \cos \alpha; \quad H_y = |\mathbf{H}| \sin \alpha,$$

где α — угол между направлением вектора \mathbf{H} и осью x .

Результирующий сигнал e с магнитной головки будет равен алгебраической сумме двух составляющих $e = e_x + e_y$. С удалением от оси симметрии головки вдоль направления x составляющая поля H_x быстро убывает, так как убывает и $|\mathbf{H}|$ и $\cos \alpha$; составляющая H_y убывает медленнее, так как $\sin \alpha$ в этом случае растет (см. рис. 5).

Для улучшения разрешающей способности магнитной головки при чтении целесообразно было бы использовать H_x . Подобные рекомендации имеются

только составляющую поля в литературе [3, 4], однако практическое использование только одной составляющей поля крайне затруднительно. Поэтому более реальным представляется локализация обеих составляющих поля головки в возможно более узкой области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Г. Оффенгейден, Радиотехника, 13, 7, 71 (1958).
2. Н. А. Слезкин, Динамика вязкой несжимаемой жидкости, ГИТТЛ, М., 203, 1955.
3. A. S. Hoagland, Communication and Electronics, 6, 506 (1956).
4. A. S. Hoagland, Research and Development, 2, 2, 90 (1958).
5. H. F. Welsh, V. J. Porter, A. Large, Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, New York, 136, 1956.